

ВЕКТОР НАУКИ

Тольяттинского государственного университета

Основан в 2008 г.

№ 4 (42)
2017

16+

Ежеквартальный
научный журнал

Учредитель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет»

Главный редактор:

Криштал Михаил Михайлович, д.ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора по общим вопросам:

Коростелев Александр Алексеевич, д.п.н.

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Машиностроение и машиноведение»:

Шайкин Александр Петрович, д.т.н., профессор

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Металлургия и материаловедение»:

Мерсон Дмитрий Львович, д.ф.-м.н., профессор

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Химическая технология»:

Остапенко Геннадий Иванович, д.х.н., профессор

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Социологические науки»:

Иванова Татьяна Николаевна, д.соц.н., доцент

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Языкознание»:

Тараносова Галина Николаевна, д.п.н., профессор

Муранова Екатерина Валентиновна – ответственный секретарь

Входит в систему «Российский индекс научного цитирования» и перечень российских рецензируемых научных журналов.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-36741 от 1 июля 2009 г.).

Компьютерная верстка:

Н.А. Никитенко

Ответственный/технический редактор:

Н.А. Никитенко

Адрес редакции: 445020, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
Тел./факс: (8482) 54-63-64
vektornaukitgu@yandex.ru
<http://www.tltsu.ru>

Подписано в печать 29.12.2017.

Выход в свет 28.02.2018.

Формат 60×84 1/8.

Печать оперативная.

Усл. п. л. 23,7.

Тираж 50 экз. Заказ 3-301-17.

Цена свободная.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти,
ул. Белорусская, 14

СВЕДЕНИЯ О ЧЛЕНАХ РЕДКОЛЛЕГИИ

Главный редактор

Кристал Михаил Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, ректор Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по общим вопросам

Коростелев Александр Алексеевич, доктор педагогических наук, профессор кафедры «Педагогика и методики преподавания» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Машиностроение и машиноведение»

Шайкин Александр Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Энергетические машины и системы управления» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Металлургия и материаловедение»

Мерсон Дмитрий Львович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института перспективных технологий Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по техническому направлению, секция «Химическая технология»

Остапенко Геннадий Иванович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химия, химические процессы и технологии» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Социологические науки»

Иванова Татьяна Николаевна, доктор социологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Социология» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Заместитель главного редактора по гуманитарному направлению, секция «Языкознание»

Тараносова Галина Николаевна, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры «Русский язык и литература» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Редколлегия:

Андреюшкина Татьяна Николаевна, доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры «Теория и практика перевода» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Бакалова Зинаида Николаевна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры «Русский язык, культура речи и методика их преподавания» Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Борисова Елена Борисовна, доктор филологических наук, профессор кафедры английской филологии и межкультурной коммуникации Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Бочкарев Петр Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Саратов, Россия).

Бржозовский Борис Максович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Проектирование технических и технологических комплексов» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Саратов, Россия).

Буранок Олег Михайлович, доктор филологических наук, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой русской, зарубежной литературы и методики преподавания литературы Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Верещака Анатолий Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» (Москва, Россия).

Виноградов Алексей Юрьевич, доктор технических наук, замдиректора по научной работе Научно-исследовательского института перспективных технологий Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Гаврюшин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Москва, Россия).

Глезер Александр Маркович, доктор физико-математических наук, профессор, директор института металловедения и физики металлов имени Г.В. Курдюмова ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт имени И.П. Бардина» (Москва, Россия).

Горбунов Юрий Иванович, доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры «Теория и практика перевода» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Готлиб Анна Семеновна, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Методология социологических и маркетинговых исследований» Самарского государственного университета (Самара, Россия).

Денисенко Александр Федорович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированные станочные и инструментальные системы» Самарского государственного технического университета (Самара, Россия).

Звоновский Владимир Борисович, доктор социологических наук, директор Самарской региональной общественной организации «Фонд социальных исследований» (Самара, Россия).

Иванян Елена Павловна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры «Русский язык, культура речи и методика их преподавания» Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Казakov Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургические технологии» института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (Санкт-Петербург, Россия).

Карпов Михаил Иванович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией Института физики твердого тела Российской академии наук (Черноголовка, Россия).

Кострова Ольга Андреевна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры немецкого языка Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Кудря Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры металловедения и физики прочности Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (Москва, Россия).

Кузьминский Анатолий Иванович, член-корреспондент НАПН Украины, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры педагогики высшей школы и образовательного менеджмента Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого (Черкассы, Украина).

Кулинич Марина Александровна, доктор культурологии, профессор кафедры английской филологии и межкультурной коммуникации Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Ларшин Василий Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Одесского национального политехнического университета (Одесса, Украина).

Лодатко Евгений Александрович, доктор педагогических наук, доцент, профессор кафедры педагогики высшей школы и образовательного менеджмента Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого (Черкассы, Украина).

Макаров Алексей Викторович, доктор технических наук, заведующий отделом материаловедения и лабораторией механических свойств Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (Екатеринбург, Россия).

Морозова Алевтина Николаевна, доктор филологических наук, заведующий кафедрой английского языка и методики преподавания иностранных языков Поволжской государственной социально-гуманитарной академии (Самара, Россия).

Морозова Ирина Станиславовна, доктор психологических наук, профессор, заведующий кафедрой общей психологии и психологии развития Кемеровского государственного университета (Кемерово, Россия).

Наймарк Олег Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией «Физические основы прочности» Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук (Пермь, Россия).

Носов Николай Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», декан факультета машиностроения и автомобильного транспорта Самарского государственного технического университета (Самара, Россия).

Орлова Людмила Викторовна, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление персоналом» Самарской академии государственного и муниципального управления (Самара, Россия).

Пилинский Александр Вениаминович, кандидат технических наук, доцент, MSME (Master of Science in Mechanical Engineering), менеджер компании «Реймер Металс Корпорейшн» (Лос-Анджелес, США).

Плахова Ольга Александровна, доктор филологических наук, доцент, профессор кафедры «Теория и методика преподавания иностранных языков и культур» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Романов Алексей Евгеньевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник сектора теории твердого тела Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, заведующий кафедрой светодиодных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург, Россия).

Рубаник Василий Васильевич, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, доцент Института технической акустики Национальной академии наук Беларуси (Витебск, Беларусь).

Старобинский Рудольф Натанович, доктор технических наук, профессор, научный консультант инженерного бюро «Prof. Starobinski. Silencers. Consulting and Engineering» (Гамбург, Германия).

Табаков Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Ульяновского государственного технического университета (Ульяновск, Россия).

Тарский Юрий Иванович, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Социология и социальная политика» Поволжского института управления имени П.А. Столыпина (Саратов, Россия).

Тарская Ольга Юрьевна, доктор социологических наук, доцент, профессор кафедры «Социология и социальная политика» Поволжского института управления имени П.А. Столыпина (Саратов, Россия).

Худобин Леонид Викторович, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Ульяновского государственного технического университета (Ульяновск, Россия).

Шиняева Ольга Викторовна, доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Политология, социология и связь с общественностью» Ульяновского государственного технического университета (Ульяновск, Россия).

Шишков Владимир Александрович, доктор технических наук, начальник технического отдела ООО «Рекар» (Тольятти, Россия).

Щербакова Галина Ивановна, доктор филологических наук, профессор, профессор кафедры «Журналистика» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

Эстрин Юрий Захарович, кандидат физико-математических наук, доктор естественных наук (Германия), почетный доктор РАН, профессор кафедры материаловедения Университета имени Монаша (Мельбурн, Австралия).

Явон Снежана Владимировна, доктор социологических наук, доцент, доцент кафедры «Социальные технологии» Поволжского государственного университета сервиса (Тольятти, Россия).

Ярыгин Анатолий Николаевич, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника» Тольяттинского государственного университета (Тольятти, Россия).

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕДНЫХ ПОРОШКОВ РАЗЛИЧНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМ В ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЯХ

Т.А. Боргардт, Н.Н. Грызунова.....13

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРУГОГО ТЕЛА С ПОЧТИ КРУГОВЫМ ВКЛЮЧЕНИЕМ ПРИ УЧЕТЕ МЕЖФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

А.Б. Вакаева.....20

О ВЫБОРЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

А.Е. Волков, М.Е. Евард, Е.Н. Япарова.....26

ФРАГМЕНТИРОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ МЕДИ В ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЯХ

А.М. Грызунов, А.А. Викарчук.....32

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕМЕНИ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ ТИТАНОВОГО СПЛАВА СО СПЛАВОМ Х2Н98

И.И. Ибрагимова, М.Ф. Имаев, Р.Г. Хазгалиев, Р.Р. Мулюков.....40

ВЛИЯНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА САМООРГАНИЗАЦИЮ ПОВЕРХНОСТИ МНОГОСЛОЙНОГО ПЛЕНОЧНОГО ПОКРЫТИЯ

С.А. Костырко, Г.М. Шувалов.....46

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШТАМПОВ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

С.Е. Крылова, Е.В. Ромашков, Г.П. Пилипчук.....52

СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СТАРЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ СДВИГОМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

А.В. Макаров, С.Н. Лучко, Е.Г. Волкова,
А.Л. Осинцева, А.В. Литвинов.....59

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА УПРОЧНЕНИЕ И КАЧЕСТВО АЗОТИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

А.В. Макаров, Г.В. Самойлова, А.С. Мамаев,
А.Л. Осинцева, Р.А. Саврай.....67

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ВЫСОКОАЗОТИСТОЙ СТАЛИ

В.А. Москвина, Е.Г. Астафурова, Г.Г. Майер,
Е.В. Мельников, Н.К. Гальченко.....75

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГАЛОБУТИЛКАУЧУКОВ. ЧАСТЬ 1. ТЕХНОЛОГИЯ ГАЛОГЕНИРОВАНИЯ БУТИЛКАУЧУКА, РЕАЛИЗОВАННАЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ Ю.Н. Орлов.....	83
ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГАЛОБУТИЛКАУЧУКОВ. ЧАСТЬ 2. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГАЛОГЕНИРОВАНИЯ БУТИЛКАУЧУКА Ю.Н. Орлов.....	92
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ПОСЛЕСВАРОЧНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРНУЮ И МЕХАНИЧЕСКУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СРЕДНЕЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ РОТАЦИОННОЙ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ Е.Ю. Приймак, А.В. Степанчукова, Н.Ю. Трякина, А.П. Фот, А.С. Атамашкин.....	99
АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ TiC-Ni НА ШТАМПОВОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ Д.А. Романов, Е.В. Протопопов, В.А. Батаев, Е.М. Кузив, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов.....	108
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ НАПЛАВКИ, ОБЛУЧЕННОЙ ИНТЕНСИВНЫМ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ Ю.А. Рубанникова, В.Е. Громов, Д.А. Косинов, В.Е.Кормышев.....	119
БЫСТРОЗАКАЛЕННЫЕ АМОРФНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ЛЕНТЫ С ЭФФЕКТОМ ОБРАТИМОЙ ПАМЯТИ ФОРМЫ ИЗ СПЛАВА $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ ДЛЯ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ Н.Н. Ситников, И.А. Хабибуллина, А.В. Шеляков.....	125
ВЛИЯНИЕ ФРИКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА NiCrBSi ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКОЙ Н.Н. Соболева, А.В. Макаров, И.Ю. Малыгина.....	135
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ КАРБОНИТРАЦИИ НА ПОЛОЖЕНИЕ ПОРОГА ХЛАДНОЛОМКОСТИ В СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЯХ А.В. Степанчукова, Е.Ю. Приймак, И.Л. Яковлева, Н.А. Терещенко, Е.Ю. Чирков.....	141
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ X17H13M3 А.С. Фортуна, В.А. Москвина, Г.Г. Майер, Е.В. Мельников, Е.Г. Астафурова.....	149
ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ А.В. Яковлев, В.А. Федоров, Т.Н. Плужникова, Д.Ю. Федотов, А.Д. Березнер.....	156

ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

ПЕРЕВОД КАК «ДИАЛЕКТ ВСЕОБЩЕГО ЯЗЫКА ПОЭЗИИ»:

РУССКАЯ ПОЭЗИЯ

В «МУЗЕЕ СОВРЕМЕННОЙ ПОЭЗИИ» (1960/2002) Г.М. ЭНЦЕНСБЕРГЕРА

Т.Н. Андреюшкина.....165

АНТИАЛКОГОЛЬНАЯ ПОЛИТИКА В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ:

ПРЕВЕНЦИЯ ИЛИ РЕСТРИКЦИЯ?

Ю.Ю. Белова.....171

«НОВОЕ РЕЛИГИОЗНОЕ СОЗНАНИЕ» КАК СОЦИАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

А.А. Воеводина.....177

**ОСОБЕННОСТИ САМОСОХРАНИТЕЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЛИЦ,
ДОСТИГШИХ ПОЖИЛОГО ВОЗРАСТА: РЕГИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ**

Л.А. Лещенко.....181

ГОЛОФРАСТИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

В АМЕРИКАНСКОМ ПРЕДВЫБОРНОМ ДИСКУРСЕ

А.А. Сорокина.....187

НАШИ АВТОРЫ.....192

CONTENT

TECHNICAL SCIENCES

THE STUDY OF COPPER POWDERS OF VARIOUS MORPHOLOGICAL FORMS IN TEMPERATURE FIELDS

T.A. Borgardt, N.N. Gryzunova..... 13

STRESS-STRAIN STATE OF AN ELASTIC BODY WITH A NEARLY CIRCULAR INCLUSION INCORPORATING INTERFACIAL STRESS

A.B. Vakaeva..... 20

CONCERNING THE SELECTION OF BOUNDARY CONDITIONS DURING THE COMPUTER MODELLING OF FUNCTIONAL-MECHANICAL BEHAVIOR OF POROUS SHAPE MEMORY ALLOY SAMPLES

A.E. Volkov, M.E. Evard, E.N. Yaparova..... 26

THE FRAGMENTED STRUCTURE OF COPPER IN TEMPERATURE FIELDS

A.M. Gryzunov, A.A. Vikarchuk..... 32

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TIME OF PRESSURE WELDING ON THE FORMATION OF A JOINT BETWEEN THE TITANIUM ALLOY AND Ni-2 %Cr ALLOY

I.I. Ibragimova, R.G. Khazgaliev, M.F. Imayev, R.R. Mulyukov..... 40

THE INFLUENCE OF DIFFUSION PROCESSES ON THE SURFACE SELF-ORGANIZATION IN THE MULTILAYER FILM COATING

S.A. Kostyrko, G.M. Shuvalov..... 46

SPECIAL ASPECTS OF HEAT TREATMENT OF STEELS FOR THE PRODUCTION OF HOT DEFORMATION STAMPS

S.E. Krylova, E.V. Romashkov, G.P. Pilipchuk..... 52

THE STRUCTURE, PHASE COMPOSITION AND MICROMECHANICAL CHARACTERISTICS OF HIGH-NITROGEN AUSTENITIC STEEL AFTER HIGH-TEMPERATURE AGEING AND DEFORMATION BY SHEAR UNDER PRESSURE

A.V. Makarov, S.N. Luchko, E.G. Volkova,
A.L. Osintseva, A.V. Litvinov..... 59

THE INFLUENCE OF PRELIMINARY DEFORMATION TREATMENT ON THE HARDENING AND QUALITY OF THE NITRIDED SURFACE OF AUSTENITE STAINLESS STEEL

A.V. Makarov, G.V. Samoylova, A.S. Mamaev,
A.L. Osintseva, R.A. Savray..... 67

THE INFLUENCE OF HYDROGEN-CHARGING REGIME ON THE STRAIN HARDENING AND FRACTURE MECHANISM OF HIGH-NITROGEN STEEL

V.A. Moskvina, E.G. Astafurova, G.G. Maier,
E.V. Melnikov, N.K. Galchenko..... 75

THE TECHNOLOGIES OF HALOBUTYL RUBBERS PRODUCTION. PART 1. THE TECHNOLOGY OF BUTYL RUBBER HALOGENATION IMPLEMENTED IN THE MANUFACTURING INDUSTRY Yu.N. Orlov.....	83
THE TECHNOLOGIES OF HALOBUTYL RUBBER PRODUCTION. PART 2. ALTERNATIVE TECHNOLOGIES OF BUTYL RUBBER HALOGENATION Yu.N. Orlov.....	92
THE INFLUENCE OF VARIOUS MODES OF POST-WELD HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL HETEROGENEITY OF WELDED JOINTS OF MEDIUM ALLOY STEELS PRODUCED BY ROTATIONAL FRICTION WELDING E.Yu. Priymak, A.V. Stepanchukova, N.Yu. Tryakina, A.P. Fot, A.S. Atamashkin.....	99
THE ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF ELECTROEXPLOSIVE COATINGS OF THE TiC-Ni SYSTEM ON THE DIE STEEL AFTER THE ELECTRON-BEAM TREATMENT D.A. Romanov, E.V. Protopopov, V.A. Bataev, E.M. Kuziv, V.E. Gromov, Yu.F. Ivanov.....	108
THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF SURFACING SURFACE IRRADIATED BY THE INTENSIVE LOW-ENERGY PULSED ELECTRON BEAM Yu.A. Rubannikova, V.E. Gromov, D.A. Kosinov, V.E. Kormyshev.....	119
RAPIDLY QUENCHED AMORPHOUS-CRYSTALLINE Ti₅₀Ni₂₅Cu₂₅ ALLOY RIBBONS WITH THE TWO-WAY SHAPE MEMORY EFFECT FOR THE MICROMECHANICAL DEVICES N.N. Sitnikov, I.A. Khabibullina, A.V. Shelyakov.....	125
THE INFLUENCE OF FRICTIONAL TREATMENT ON THE MICROMECHANICAL PROPERTIES OF NiCrBSi COATING PRODUCED BY LASER CLADDING N.N. Soboleva, A.V. Makarov, I.Yu. Malygina.....	135
THE ASSESSMENT OF IMPACT OF CARBONITRIDING ON THE LOCATION OF COLD-BRITTLENESS THRESHOLD IN THE MEDIUM-CARBON ALLOY STEELS A.V. Stepanchukova, E.Yu. Priymak, I.L. Yakovleva, N.A. Tereshchenko, E.Yu. Chirkov.....	141
THE INFLUENCE OF HYDROGEN CHARGING ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND FRACTURE MODE OF Cr17Ni13Mo3 AUSTENITIC STAINLESS STEEL A.S. Fortuna, V.A. Moskvina, G.G. Mayer, E.V. Melnikov, E.G. Astafurova.....	149
THE INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT ON THE MAGNETIC PROPERTIES OF AMORPHOUS METALLIC ALLOYS A.V. Yakovlev, V.A. Fedorov, T.N. Pluzhnikova, D.Yu. Fedotov, A.D. Berezner.....	156

HUMANITIES**TRANSLATING AS “DIALECT OF WORLD-WIDE LANGUAGE OF POETRY”:
RUSSIAN POETRY IN H.M. ENZENSBERGER’S
“MUSEUM DER MODERNEN POESIE” (1960/2002)**

T.N. Andreiushkina.....165

**ANTI-ALCOHOL POLICY IN CONTEMPORARY RUSSIA:
PREVENTION OR RESTRICTION?**

Yu.Yu. Belova.....171

“NEW RELIGIOUS CONSCIOUSNESS” AS A SOCIAL PROJECT

A.A. Voevodina.....177

**SPECIAL CHARACTERISTICS OF SELF-PRESERVATION BEHAVIOR
OF ELDERLY PEOPLE: REGIONAL ASPECT**

L.A. Leshchenko.....181

HOLOPHRASIS IN THE AMERICAN ELECTION DISCOURSE

A.A. Sorokina.....187

OUR AUTHORS.....192

О ВЫБОРЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПОРИСТЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

© 2017

А.Е. Волков, доктор физико-математических наук, профессор*М.Е. Евард*, кандидат физико-математических наук, доцент*Е.Н. Япарова*, аспирант*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург (Россия)*

Ключевые слова: сплавы с памятью формы; моделирование; пористые материалы.

Аннотация: Предложена модель для описания функционально-механического поведения образца из пористого сплава с памятью формы, структурные элементы которого аппроксимированы плоскими прорезными пружинами. Такие пружины, в свою очередь, состоят из балок. В процессе деформирования балки, ориентированные перпендикулярно по отношению к направлению нагружения, вносят основной вклад в макроскопическую деформацию образца.

Исследовано влияние условий закрепления балки на результаты моделирования. Рассмотрены два типа граничных условий: шарнирное опирание и жесткое защемление. В рамках методов сопротивления материалов для указанных видов опор решены задачи статики, найдены напряжения в наиболее напряженном участке и прогибы балок. Для расчета неупругой деформации, возникающей в процессе мартенситного превращения в сплавах с памятью формы, использована микроструктурная модель, позволяющая описывать функциональные свойства этих материалов. Геометрические параметры балок выбраны на основании анализа микрофотографий пористого сплава TiNi.

Выполнено моделирование поведения пористого образца из сплава с памятью формы при изотермическом сжатии при различных температурах, когда сплав с памятью формы находится в аустенитном и мартенситном состояниях. Проведен расчет деформации образца при охлаждении и нагреве под постоянным напряжением, при этом реализуются эффекты пластичности превращения и памяти формы. Показано, что выбор граничных условий имеет существенное значение при расчете поведения пористого сплава с памятью формы. Использование структурных элементов с жесткой заделкой приводит к меньшим напряжениям в моделируемом объекте и позволяет получить лучшее соответствие результатов расчета с экспериментальными данными.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря своим уникальным свойствам сплавы с памятью формы (далее – СПФ) уже много лет привлекают к себе внимание исследователей в инженерных областях науки [1; 2] и в медицине [3]. Важное место среди этих материалов занимают СПФ с пористой структурой, чьи свойства очень близки к свойствам человеческой костной ткани [4].

Для эффективного использования пористых СПФ необходимо иметь модель, адекватно описывающую их механическое поведение. Практически все имеющиеся в настоящее время работы, посвященные моделированию механического поведения пористых СПФ, ограничены описанием изотермического деформирования и используют макроскопические феноменологические модели деформации СПФ. Д. Лагодас и П. Енчев в работе [5] рассматривали пористый материал как композиционный и использовали методы механики композитов [6–8]. Эти методы ранее использовались Д. Лагодасом и соавторами при описании композитов с неупругим поведением составляющих в работе [9]. В работах [5; 10] пористый СПФ представлен как композит с включениями нулевой жесткости, выполнен расчет деформации цилиндрического образца при изотермическом сжатии и сжатии с одновременным кручением.

Теория эффективного поля Мори-Танаки [11] была использована Чжао и Тайя [12] при расчете поведения пористого образца из СПФ в режиме изотермического сжатия, а также в работе Сю и Дуй [13] при моделировании сжатия образца с пористостью, переменной вдоль радиуса. В работе [14] рассчитаны диаграммы дефор-

мирования пористой ячейки с использованием феноменологической модели, имплементированной в пакет ABAQUS. Благодаря вводу в феноменологическую модель разных значений максимальной обратимой деформации при одноосном растяжении и сжатии М. Равари, М. Кадходаеи удалось описать асимметрию растяжения и сжатия пористых СПФ [15]. В работе А. Ашрафи и Дж. Аргавани [16] феноменологический подход впервые использовался для расчета деформации при нагреве после деформирования в мартенситном состоянии.

Среди подходов к описанию функционально-механических свойств СПФ стоит выделить микроструктурное моделирование, позволяющее учитывать физические механизмы деформирования отдельных структурных элементов. В основе такого подхода лежит гипотеза о многоуровневости развития деформации: макродеформация рассчитывается путем усреднения микродеформаций. Такой метод позволяет рассчитывать деформацию образцов из СПФ при различных термомеханических нагрузках. По-видимому, единственная попытка использования микроструктурной модели для описания поведения пористого СПФ сделана в работе М. Панико и Л.К. Бринсон [17], в которой был выполнен расчет деформации образца при изотермическом циклическом воздействии.

Структура пористых СПФ, как правило, очень сложна и является одним из важнейших факторов, определяющих механическое поведение образцов [18–20]. Таким образом, при моделировании этих материалов необходимо учитывать не только присущие им сложные механизмы неупругой фазовой деформации,

но и особенности пористой структуры. Существующие модели пористых СПФ учитывают это лишь косвенно.

В работах [21–23] предложена модель механического поведения образца из пористого СПФ, позволяющая, основываясь на знании о структуре конкретного образца и используя микроструктурную модель для расчета фазовой деформации СПФ [24], предсказать его поведение в условиях изотермического нагружения. При расчете такой сложной структуры приходится прибегать к определенным упрощениям. Так, в работе [22] структуру пористого образца из сплава TiNi (см. рис. 1), полученного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, было предложено аппроксимировать плоскими прорезными пружинами (см. рис. 2). При этом неупругую деформацию, связанную с протеканием в СПФ обратимого мартенситного превращения, рассчитывали с помощью микроструктурной модели [24], позволяющей описывать различные функциональные свойства СПФ. Для того чтобы избежать решения сложной краевой задачи с граничными условиями на свободной поверхности пор, было сделано предположение, что функционально-механическое поведение каждого сегмента перегородок, составляющего структуру пористого тела, определяется поведением его наиболее напряженного участка.

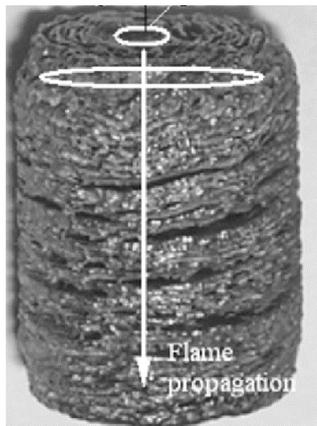


Рис. 1. Продольное сечение образца из сплава TiNi, полученного методом СВС [19]

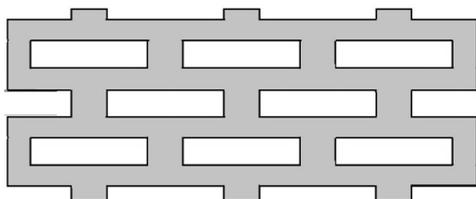


Рис. 2. Плоская прорезная пружина – математический объект, предлагаемый для моделирования пористой структуры

При применении к элементам плоской прорезной пружины элементарной теории балок возникает вопрос

о граничных условиях. В работе [22] считали, что горизонтальные балки, составляющие плоскую прорезную пружину, закреплены шарнирно, что привело к постановке статически определимой задачи. Вместе с тем понятно, что в реальном пористом материале шарниров нет, и излишнее упрощение может привести к существенной погрешности при определении напряжений и деформаций.

Цель настоящей работы – исследование влияния условий закрепления балки на результаты моделирования деформационного поведения образцов из пористого СПФ. Рассмотрены два типа граничных условий: шарнирная опора и жесткая заделка.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРАЗЦА ИЗ ПОРИСТОГО СПФ В СЛУЧАЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МЕЖПОРОВЫХ ПЕРЕГОРОДОК КАК «ШАРНИРНО-ОПЕРТЫХ» БАЛОК

Горизонтальная переемычка – основной структурный элемент плоской прорезной пружины, несущий нагрузку, – была аппроксимирована балкой, в центральной части нагруженной распределенной на небольшом участке длины a нагрузкой интенсивности q . Балка закреплена шарнирно, для расчета ее напряженно-деформированного состояния была решена статически определимая задача (см. рис. 3).

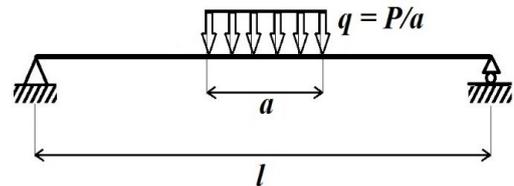


Рис. 3. Схема деформирования балки на шарнирной опоре

Вычисления выполняли пошагово. Предполагали, что в представительном объеме имеются несколько характерных типов балок i -го типа, размеры которых считали дискретно распределенными величинами со значениями, соответствующими модам реального распределения.

Наибольшее нормальное напряжение в каждой такой балке достигалось в ее центральном сечении и рассчитывалось по формуле сопротивления материалов:

$$\sigma_{\max_i} = \frac{3P \left(l_i - \frac{a_i}{2} \right)}{2b_i h_i^2}, \quad (1)$$

где σ_{\max} – максимальное напряжение в балке;

l_i , b_i и h_i – соответственно, длина, ширина и толщина балки;

a_i – длина участка, на котором распределена нагрузка; $P=qa_i$ – результирующая сила, действующая на балку.

По заданному приращению силы ΔP с помощью формулы (1) вычисляли приращение значения максимального

напряжения $\Delta\sigma_{\max}$. Далее при помощи микроструктурной модели [24] определяли приращение деформации балки $\Delta\varepsilon_i$. Приращение максимального прогиба Δw_i балки выражали через приращение деформации по формуле, полученной методами сопротивления материалов:

$$\Delta w_i = \frac{\Delta\varepsilon_i(-8l_i^3 + 4l_i a_i^2 - a_i^3)}{24h_i(2l_i - a_i)} \quad (2)$$

Деформацию представительного объема определяли отношением суммарного прогиба к исходной длине образца:

$$E = \frac{\sum_i (w_i)}{\sum_i (h_i + H_i)} \quad (3)$$

где H_i – размер прорези пружины.

Деформацией сжатия вертикальных элементов пренебрегали, а после касания горизонтальными элементами друг друга приращение деформации образца рассчитывали как приращение деформации в вертикальном стержне при одноосном сжатии.

Эффективное макроскопическое напряжение S с учетом пористости образца p определяли следующим образом:

$$S = \frac{P(n-1)^2}{b_{av} h_{av} (n-1+p)^2} \quad (4)$$

где n – количество перемычек, попадающих на поперечный срез,

b_{av} и h_{av} – средние значения поперечных размеров балок.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОБРАЗЦА ИЗ ПОРИСТОГО СПФ ПРИ УСЛОВИИ «ЖЕСТКОЙ ЗАДЕЛКИ» ДЛЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В данном разделе считали, что горизонтальные перемычки, составлявшие плоскую прорезную пружину, закреплены жестко (см. рис. 4). Остальные предположения сохранялись.

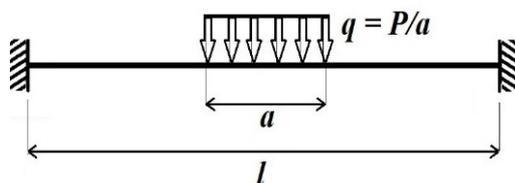


Рис. 4. Схема деформирования балки с жесткой заделкой

Для расчета напряжения была решена статически неопределимая задача. Наибольшее нормальное напряжение, которое достигалось в центральном сечении балки, рассчитывалось аналогично формуле (1) по методам сопротивления материалов

$$\sigma_{\max_i} = \frac{3P \left(l_i - a_i + \frac{a_i^2}{3l_i} \right)}{4b_i h_i^2} \quad (5)$$

При решении задачи была получена формула (6) для вычисления приращения максимального прогиба балки. Она подобна выражению (2):

$$\Delta w_i = \frac{\Delta\varepsilon_i \left(-2l_i^3 + 2l_i a_i^2 - a_i^3 \right)}{24h_i \left(l_i - a_i + \frac{a_i^2}{3l_i} \right)} \quad (6)$$

Расчет деформации i -ой балки, а также остальные вычисления выполнялись, как и в случае шарнирно-опертой балки: деформация образца была вычислена по формуле (3), напряжение всего образца рассчитывалось по формуле (4).

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Из сравнения формул (1) и (5) для напряжений, и (2) и (6) для перемещений математически можно сделать вывод о том, что напряжения и деформации при моделировании структуры образца при помощи балок с жесткой заделкой будут ниже, чем при использовании для расчета балок на шарнирной опоре.

На основании предложенных схем расчета выполнено моделирование сжатия пористого образца из сплава TiNi со следующими константами материала: $M_s=341$ К, $M_f=321$ К, $A_s=355$ К, $A_f=375$ К, скрытая теплота превращения $q_o=-190$ МДж/м³. Геометрические размеры балок, представленные в таблице 1, были выбраны в качестве элементов плоской прорезной пружины на основании анализа микрофотографии образца пористого TiNi, приведенной в работе [19]. Пористость моделируемого образца p составляла 54 %.

Таблица 1. Геометрические параметры балок

l , мм	a , мм	b , мм	h , мм	H , мм
4,7	0,8	1,2	0,4	0,5
6,7	1,1	1,5	1	1,3
9,4	1,7	1,2	1,5	1,6

На рисунке 5 приведены диаграммы деформирования модельных образцов в мартенситном и аустенитном состояниях (см. рис. 5 а и 5 б соответственно), а также результаты эксперимента [19]. Расчеты выполнены для моделей, состоящих из элементов с шарнирной опорой и жесткой заделкой. Сравнение кривых позволяет заключить, что при одинаковом напряжении условие жесткой заделки приводит к меньшей деформации, чем при расчетах, основанных на условии шарнирно опертой балки, а результат лучше согласуется с имеющимися экспериментальными данными. Рисунок 6 иллюстрирует поведение модельных конструкций с разными типами закрепления при охлаждении и нагреве под постоянным напряжением 50 и 100 МПа. При охлаждении за счет эффекта пластичности

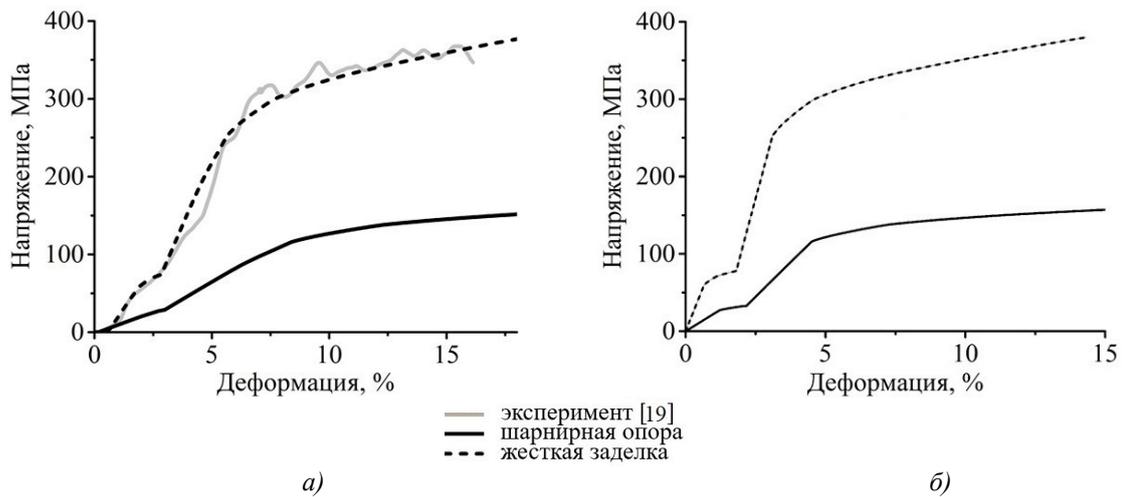


Рис. 5. Диаграммы деформирования образца из пористого TiNi в мартенситном (а) и аустенитном (б) состояниях

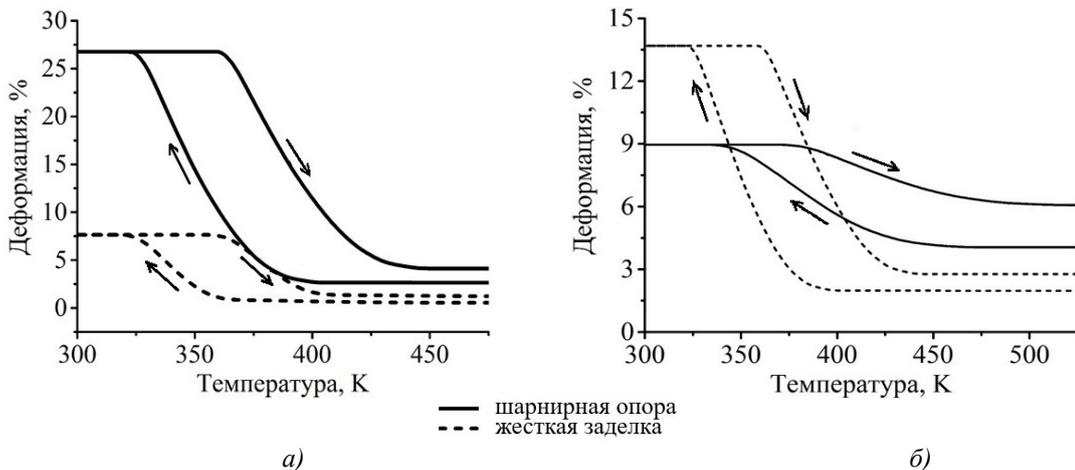


Рис. 6. Расчет поведения образца из пористого TiNi при охлаждении и нагреве под постоянной нагрузкой 50 МПа (а) и 100 МПа (б)

превращения деформация накапливается, а при нагреве частично возвращается благодаря эффекту памяти формы в СПФ.

ВЫВОДЫ

Таким образом, показано, что выбор граничных условий в балочной модели пористого сплава с памятью формы существенно влияет на результаты моделирования его деформации. При одинаковых нагрузках условия жесткой заделки приводят к меньшим локальным напряжениям в структурном элементе, чем при его моделировании шарнирно опертой балкой, а результат лучше согласуется с имеющимися экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, гранты № 15-01-07657 и № 15-08-05021.

Статья подготовлена по материалам докладов участников VIII Международной школы «Физическое материаловедение» с элементами научной школы для молодежи, Тольятти, 3–12 сентября 2017 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liang C., Davidson F., Sejtky L.M., Straub F.K. Applications of torsional shape memory alloy actuators for active rotor blade control: opportunities and limitations // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. 1996. Vol. 2717. P. 91–100.
2. Garner L.J., Wilson L.N., Lagoudas D.C., Rediniotis O.K. Development of a shape memory alloys actuated bio-mimetic vehicle // Smart Materials and Structures. 2000. Vol. 9. № 5. P. 673–683.
3. Gunther V.E., Dambaev G.Ts., Sysolyatin P.G. Delay law and new class of materials and implants in medicine. Northampton: STT, 2000. 432 p.
4. Bansiddhi A., Sargeant T.D., Stupp S.I., Dunand D.C. Porous NiTi for bone implants: A review // Acta Biomaterialia. 2008. Vol. 4. № 4. P. 773–782.
5. Entchev P., Lagoudas D. Modeling porous shape memory alloys using micromechanical averaging techniques // Mechanics of Materials. 2002. Vol. 34. № 1. P. 1–24.

6. Benveniste Y. A new approach to the application of Mori-Tanaka's theory in composite material // *Mechanics of Materials*. 1987. Vol. 6. P. 147–157.
7. Budiansky B. On the elastic moduli of some heterogeneous materials // *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. 1965. Vol. 13. № 4. P. 223–227.
8. Nemat-Nasser S., Hori M. *Micromechanics: Overall Properties of Heterogeneous Materials*. North-Holland: Elsevier, 1993. 113 p.
9. Qidwai M.A., Entchev P.B., Lagoudas D.C., DeGiorgi V.G. Modeling of the thermomechanical behavior of porous shape memory alloys // *International journal of solids and structures*. 2001. Vol 38. № 48-49. P. 8653–8671.
10. Entchev P.B., Lagoudas D.C. Modeling of transformation-induced plasticity and its effect on the behavior of porous shape memory alloys. Part I, II // *Mechanics of Materials*. 2004. Vol. 36. № 9. P. 865–913.
11. Tanaka K. Thermomechanical sketch of shape memory effect: One-dimensional tensile behavior // *Res Mechanica: International journal of structural mechanics and materials science*. 1986. Vol. 18. № 3. P. 251–263.
12. Zhao Y., Taya M., Kang Y.S., Kawasaki A. Compression behavior of porous NiTi shape memory alloy // *Acta Materialia*. 2005. Vol. 53. P. 337–343.
13. Xue L., Dui G., Liu B., Xin L. A phenomenological constitutive model for functionally graded porous shape memory alloy // *International journal of engineering science*. 2014. Vol. 78. P. 103–113.
14. Sayed T., Gurses E., Siddiq A. A phenomenological two-phase constitutive model for porous shape memory alloys // *Computational Materials Science*. 2012. Vol. 60. P. 44–52.
15. Ravari M., Kadkhodaei M., Ghaei A. Effects of asymmetric material response on the mechanical behavior of porous shape memory alloys // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2016. Vol. 27. № 12. P. 1687–1701.
16. Ashrafi A., Argavani J., Naghdabadi R., Sohrabpour S. A 3-D constitutive model for pressure dependent phase transformation of porous shape memory alloys // *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2016. Vol. 42. P. 292–310.
17. Panico M., Brinson L.C. Computational modeling of porous shape memory alloys // *International Journal of Solids Structures*. 2008. Vol. 45. № 21. P. 5613–5626.
18. Li B.Y., Rong L.J., Li Y.Y., Gjunter V.E. Synthesis of porous NiTi shape memory alloys by self-propagating high-temperature synthesis: reaction mechanism and anisotropy in pore structure // *Acta Materialia*. 2000. Vol. 48. P. 3895–3904.
19. Kaya M., Orhan N., Tosun G. The effect of the combustion channels on the compressive strength of porous NiTi shape memory alloy fabricated by SHS as implant material // *Current Opinion in Solid State and Materials Science*. 2010. Vol. 14. P. 21–25.
20. Zanotti C., Giuliani P., Bassani P., Passaretti F., Tuissi A. Characterization of porous NiTi alloys produced by SHS // *Proceedings of the International Conference on Shape Memories and Superelastic Technologies*. 2006. P. 373–380.
21. Volkov A.E., Evard M.E., Iaparova E.N. Modeling of functional properties of porous shape memory alloy // *MATEC Web of Conferences*. 2015. Vol. 33. P. 02006.
22. Волков А.Е., Евард М.Е., Япарова Е.Н. Деформация пористого образца из сплава с памятью формы с поперечной ориентацией пор относительно оси нагружения // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2016. Т. 21. № 3. С. 913–916.
23. Volkov A.E., Evard M.E., Iaparova E.N. A beam model of porous shape memory alloy deformation // *Materials Today: Proceedings*. 2017. Vol. 4. P. 4631–4636.
24. Evard M.E., Volkov A.E. Modeling of martensite accommodation effect on mechanical behavior of shape memory alloys // *Journal of Engineering Materials and Technology*. 1999. Vol. 121. № 1. P. 102–104.

REFERENCES

1. Liang C., Davidson F., Scjetky L.M., Straub F.K. Applications of torsional shape memory alloy actuators for active rotor blade control: opportunities and limitations. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 1996, vol. 2717, pp. 91–100.
2. Garner L.J., Wilson L.N., Lagoudas D.C., Rediniotis O.K. Development of a shape memory alloys actuated biomimetic vehicle. *Smart Materials and Structures*, 2000, vol. 9, no. 5, pp. 673–683.
3. Gunther V.E., Dambaev G.Ts., Sysolyatin P.G. *Delay law and new class of materials and implants in medicine*. Northampton, STT, 2000. 432 p.
4. Bansiddhi A., Sargeant T.D., Stupp S.I., Dunand D.C. Porous NiTi for bone implants: A review. *Acta Biomaterialia*, 2008, vol. 4, no. 4, pp. 773–782.
5. Entchev P., Lagoudas D. Modeling porous shape memory alloys using micromechanical averaging techniques. *Mechanics of Materials*, 2002, vol. 34, no. 1, pp. 1–24.
6. Benveniste Y. A new approach to the application of Mori-Tanaka's theory in composite material. *Mechanics of Materials*, 1987, vol. 6, pp. 147–157.
7. Budiansky B. On the elastic moduli of some heterogeneous materials. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1965, vol. 13, no. 4, pp. 223–227.
8. Nemat-Nasser S., Hori M. *Micromechanics: Overall Properties of Heterogeneous Materials*. North-Holland, Elsevier, 1993. 113 p.
9. Qidwai M.A., Entchev P.B., Lagoudas D.C., DeGiorgi V.G. Modeling of the thermomechanical behavior of porous shape memory alloys. *International journal of solids and structures*, 2001, vol 38, no. 48-49, pp. 8653–8671.
10. Entchev P.B., Lagoudas D.C. Modeling of transformation-induced plasticity and its effect on the behavior of porous shape memory alloys. Part I, II. *Mechanics of Materials*, 2004, vol. 36, no. 9, pp. 865–913.
11. Tanaka K. Thermomechanical sketch of shape memory effect: One-dimensional tensile behavior. *Res Mechanica: International journal of structural mechanics and materials science*, 1986, vol. 18, no. 3, pp. 251–263.
12. Zhao Y., Taya M., Kang Y.S., Kawasaki A. Compression behavior of porous NiTi shape memory alloy. *Acta Materialia*, 2005, vol. 53, pp. 337–343.
13. Xue L., Dui G., Liu B., Xin L. A phenomenological constitutive model for functionally graded porous shape memory alloy. *International journal of engineering science*, 2014, vol. 78, pp. 103–113.
14. Sayed T., Gurses E., Siddiq A. A phenomenological two-phase constitutive model for porous shape memory

- alloys. *Computational Materials Science*, 2012, vol. 60, pp. 44–52.
15. Ravari M., Kadkhodaei M., Ghaei A. Effects of asymmetric material response on the mechanical behavior of porous shape memory alloys. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2016, vol. 27, no. 12, pp. 1687–1701.
 16. Ashrafi A., Argavani J., Naghdabadi R., Sohrabpour S. A 3-D constitutive model for pressure dependent phase transformation of porous shape memory alloys. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 2016, vol. 42, pp. 292–310.
 17. Panico M., Brinson L.C. Computational modeling of porous shape memory alloys. *International Journal of Solids Structures*, 2008, vol. 45, no. 21, pp. 5613–5626.
 18. Li B.Y., Rong L.J., Li Y.Y., Gjunter V.E. Synthesis of porous NiTi shape memory alloys by self-propagating high-temperature synthesis: reaction mechanism and anisotropy in pore structure. *Acta Materialia*, 2000, vol. 48, pp. 3895–3904.
 19. Kaya M., Orhan N., Tosun G. The effect of the combustion channels on the compressive strength of porous NiTi shape memory alloy fabricated by SHS as implant material. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 2010, vol. 14, pp. 21–25.
 20. Zanotti C., Giuliani P., Bassani P., Passaretti F., Tuissi A. Characterization of porous NiTi alloys produced by SHS. *Proceedings of the International Conference on Shape Memories and Superelastic Technologies*, 2006, pp. 373–380.
 21. Volkov A.E., Evard M.E., Iaparova E.N. Modeling of functional properties of porous shape memory alloy. *MATEC Web of Conferences*, 2015, vol. 33, pp. 02006.
 22. Volkov A.E., Evard M.E., Yaparova E.N. Deformation of porous shape memory alloy sample with pores transversally oriented relative to the load direction. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2016, vol. 21, no. 3, pp. 913–916.
 23. Volkov A.E., Evard M.E., Iaparova E.N. A beam model of porous shape memory alloy deformation. *Materials Today: Proceedings*, 2017, vol. 4, pp. 4631–4636.
 24. Evard M.E., Volkov A.E. Modeling of martensite accommodation effect on mechanical behavior of shape memory alloys. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 1999, vol. 121, no. 1, pp. 102–104.

**CONCERNING THE SELECTION OF BOUNDARY CONDITIONS
DURING THE COMPUTER MODELLING OF FUNCTIONAL-MECHANICAL BEHAVIOR
OF POROUS SHAPE MEMORY ALLOY SAMPLES**

© 2017

A.E. Volkov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor
M.E. Evard, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor
E.N. Yaparova, postgraduate student
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg (Russia)

Keywords: shape memory alloys; modelling; porous materials.

Abstract: The authors proposed a model for the description of the functional and mechanical behavior of a sample of the porous shape memory alloy, the structural elements of which were approximated by flat slotted springs. These springs, in their turn, consist of beams. During the deformation process, beams oriented perpendicular to the loading direction contribute significantly to the sample macroscopic strain.

The authors investigated the influence of beam supporting conditions on the modeling results. Two types of boundary conditions are considered – hinge support and rigid fixing. Within the methods of the strength of materials for the specified types of supports, the authors solved the static problems; found the stresses in the most strained area and beam deflections. To calculate the anelastic deformation arising from the martensitic transformation in the shape memory alloys, the microstructural model allowing describing the functional properties of these materials was used. Basing on the analysis of microphotography of porous TiNi alloy, the geometrical parameters of beams were chosen. The authors carried out the simulation of the behavior of the porous shape memory alloy sample during the isothermal compression at various temperatures when the shape memory alloy is in austenitic and martensitic states. The deformation of a sample during the cooling and heating under the constant stress was calculated, in this case, the transformation plasticity and shape memory effects occur. It is shown, that the selection of boundary conditions has the important significance when modeling porous shape memory alloy behavior. The application of fixed-ended structural elements leads to the lower stresses in the modeled object and allows obtaining better correspondence between the calculation results and experimental data.