



**ИЗДАНИЕ
ИПРИМ РАН**

МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ, СЛОЖНЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД

**Всероссийская конференция,
приуроченная к 90-летию со дня рождения
академика И.Ф.Образцова**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

23 ноября – 25 ноября 2010 года

**Москва, Ленинский проспект, 32а
Москва, Ленинградский проспект, 7**

**МОСКВА
2010**

**Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов
управления Российской академии наук
Российский фонд фундаментальных исследований
Научный совет РАН по комплексной проблеме «Механика»
Научный совет РАН по механике конструкций из композиционных
материалов
Учреждение Российской академии наук Институт прикладной
механики РАН
Московский авиационный институт (Государственный технический
университет)**

МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ, СЛОЖНЫХ И ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕД

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
Всероссийской конференции,
приуроченной к 90-летию со дня рождения академика
И.Ф.Образцова**

**МОСКВА
2010**

«Механика композиционных материалов и конструкций, сложных и гетерогенных сред». Материалы Всероссийской конференции, приуроченной к 90-летию со дня рождения академика И.Ф.Образцова. Москва, 23 ноября – 25 ноября 2010 г. – Москва, ИПРИМ РАН, 2010 – 126 с.

В сборник материалов конференции включены тезисы докладов ученых из ряда институтов РАН, научных и образовательных учреждений. Представлены различные направления механики деформируемого твердого тела, механики жидкости, газа и плазмы, вычислительной механики, биомеханики и др.

Составители:

Беркова М.Д., Карнет Ю.Н., Левин Ю.К., Яновский Ю.Г.

© Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Содержание	4
академик Иван Филиппович Образцов (28.07.1920 - 28.02.2005)	9
Пленарные доклады	10
О резонансах в полугораниченных блочных структурах В.А.Бабешко, О.В.Евдокимова, О.М.Бабешко (КГУ, НИЦ ПГК, г. Краснодар)	11
Геометрическая механика деформируемого твердого тела и проблема оптимального проектирования конструкций В.В.Васильев (ЦНИИ СпецМаш, Моск. обл., г. Хотьково)	12
Механика наноструктурированных материалов. Приближение от нано- к макромасштабу Ю.Г.Яновский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	13
Расчет анизотропных цилиндрических и слабokonических оболочек с произвольным контуром поперечных сечений Ф.Н.Шклярчук (ИПРИМ РАН, г. Москва)	15
Структура и параметры течения воды в нанотрубках А.В.Вахрушев, А.М.Липанов, А.А.Вахрушев (ИПМ УрО РАН, г. Ижевск)	16
Формирование детонации при взаимодействии с твердыми границами области течения В.А.Левин, И.С.Мануйлович, В.В.Марков (НИИ Механики МГУ, г. Москва)	17
Управление процессом горения газовых топлив с помощью акустического излучения В.В.Голуб, В.В.Володин, Д.И.Бакланов, К.В.Иванов, А.П.Данилов, И.Н.Тарасенко (ОИВТ РАН, г. Москва)	18
Секция 1. Прочность гетерогенных материалов, композитов, адаптивных материалов и конструкций	19
Исследование проблемы деформирования упругих композитных пластин и оболочек С.К.Голушко (КТИ ВТ СО РАН, г. Новосибирск)	20
Термомеханическое упрочнение гетерогенных материалов с образованием наноструктурных компонентов на примере конструкционных сталей А.М.Липанов, В.Б.Дементьев (ИПМ УрО РАН, г. Ижевск)	21
О существенности градиентных эффектов в физико-механических процессах в однородных и структурированных средах С.А.Лурье (ИПРИМ РАН, г. Москва)	23
Реономные и склерономные свойства сплавов с эффектом памяти формы А.А.Мовчан, С.А.Казарина (ИПРИМ РАН, г. Москва)	24
Критерий роста трещин с развитой концевой областью М.Н.Перельмутер (ИПМех РАН, г. Москва)	26
Устойчивость элементов из сплавов с эффектом памяти формы Л.Г.Сильченко, Т.Л.Сильченко (ИПРИМ РАН, г. Москва)	28
Метод элементарной ячейки в задачах механического действия ионизирующего излучения на защитные гетерогенные покрытия нового поколения В.Н.Бакулин, А.В.Острик (ИПРИМ РАН, г. Москва, ИПХФ РАН, Черноголовка)	30
Микро- и наноструктура поверхности лекарственных форм с управляемым концентрационно-временным режимом работы Х.Х. Валиев, Ю.Н. Карнет, Г.Н. Ковалев, К.П. Косичкина, Ю.Г. Яновский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	32
Математическое моделирование высокоинтенсивного термомодеформирования конструкций из композитов с углеродным наполнителем Н.Н.Головин, Г.Н.Кувыркин (МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва)	34

Уточненный прочностной анализ контейнеров для длительного хранения и транспортировки высокоагрессивных и реакционноспособных сред А.В.Зайцев, А.В.Кислицын, А.В.Кутергин, Ю.В.Соколкин, А.А.Фукалов (ПГТУ, г. Пермь)	35
Исследование структуры и свойств эластомерных композитов по данным атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования Ю.В.Корнев, С.В.Николаева, Ю.Г.Яновский, Х.Х.Валиев, О.В.Бойко, Н.А.Семёнов, К.П.Косичкина (ИПРИМ РАН, г. Москва)	37
Определение эффективных упругих характеристик 4Д-Л углерод-углеродного композиционного материала А.Л.Медведский, А.С.Курбатов (МАИ, г. Москва)	39
Секция 2. Аэро- и гидромеханика гетерогенных сред	40
Физика сверхзвуковых гетерогенных потоков и технология резки и напыления материалов Ю.В.Полежаев, Д.С.Михатулин, Г.А.Фролов (ОИВТ РАН, г. Москва, ИПМ НАНУ, г. Киев, Украина)	41
Обобщение метода Родионова для расчета движений идеальной сжимаемой жидкости В.В.Решетняк, А.Н.Семко (ВГУ, г. Владимир, ДНУ, г. Донецк, Украина)	42
Гидродинамика пластины в неоднородной жидкости: математическое и физическое моделирование Р.Н.Бардаков, Я.В.Загуменный (ИПМех РАН, г. Москва, ИГ НАНУ, Украина)	44
Структура высыхающей капли с наночастицами Р.Н.Бардаков, Ю.Д.Чашечкин (ИПМех РАН, г. Москва)	45
Перенос растворимого красителя в составном вихре Е.В.Степанова, Ю.Д.Чашечкин (ИПМех РАН, г. Москва)	46
Моделирование разливов нефти в вихревых течениях Е.В.Степанова, Т.О.Чаплина (ИПМех РАН, г. Москва)	47
Моделирование волн цунами на большом гидродинамическом лотке ИПРИМ РАН Б.В.Бошнятов, В.В.Попов, Ю.К.Левин, Ю.Г.Яновский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	48
О проблеме определения присоединенной массы частицы в суспензии О.Б.Гуськов (ИПРИМ РАН, г. Москва)	49
Одномерная модель течения газа по микрокапилляру с проницаемой стенкой Б.В.Бошнятов, В.В.Попов (ИПРИМ РАН, г. Москва)	51
Секция 3. Фундаментальные проблемы горения и детонации	52
Плазменно-кинетический механизм возникновения многостадийного воспламенения в пропано-воздушной смеси В.А.Битюрин, Е.А.Филимонова (ОИВТ РАН, г. Москва)	53
Экспериментальное исследование свободных концентрированных вихрей с целью интенсификации процессов гетерогенного горения А.Ю.Вараксин, М.Э.Ромаш, М.А.Горбачев, В.Н.Копейцев (ОИВТ РАН, г. Москва)	54
Моделирование рабочего цикла пульсирующего детонационного двигателя В.А. Левин, И.С. Мануйлович, В.В. Марков (ИМ МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва)	55
Изучение закономерностей электротеплового взрыва в условиях квазиизостатического сжатия В.А.Щербаков, А.Н.Грядун, В.Т.Телепа, А.В.Щербаков (ИСМАН, Черногловка)	56
Исследование горения и возможности детонационного синтеза экзотермической смеси Zn-S в процессе изостатического сжатия В.Ю.Барин, А.В.Полетаев, В.А.Щербаков (ИСМАН, Черногловка)	57
Влияние сносящего потока на траекторию газового факела Ю.В.Полежаев, Д.И.Ламден, О.Г.Стоник, Р.Л.Шигин (ОИВТ РАН, г. Москва)	58
Горение турбулентных газовых струй с учетом эффектов излучения В.П.Воротилин (ИПРИМ РАН, г. Москва)	59

Секция 4. Вычислительная и физическая механика	60
Об особенностях применения теорий пластин и оболочек для расчета слоистых структур	
С.К.Голушко, А.В.Юрченко (КТИ ВТ СО РАН, ИВТ СО РАН, г. Новосибирск)	61
Обратные задачи компьютерного конструирования полимерных композиционных покрытий триботехнического назначения	
С.А.Бочкарева, Н.Ю.Гришаева, Б.А.Люкшин, П.А.Люкшин, Н.Ю.Матолыгина, С.В.Панин, Ю.С.Струков (ИФПМ СО РАН, г. Томск)	62
Континуальные и дискретные модели в механике сетчатых композитных оболочек	
А.В.Азаров (МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва)	63
Исследование задач тепломассопереноса с нестационарно подвижными границами фазовых превращений в композиционных материалах	
Е.Л.Кузнецова, В.Ф.Формалев (МАИ, г. Москва)	64
Ударное воздействие шара и ортотропной пластинки, предварительно напряженной продольной силой, изгибающим и крутящим моментами	
А.А.Локтев (МФЮА, г. Москва)	65
Метод поверхностных функций влияния в задачах нестационарного взаимодействия в механике деформируемого твердого тела	
Медведский А. Л. (МАИ, г. Москва)	67
Многомасштабное усреднение уравнений фильтрации Бринкмана	
А.Н.Власов, Д.Б.Волков-Богородский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	68
Решение краевых задач механики структурно-неоднородных сред с помощью систем специальных функций, удовлетворяющих уравнению Гельмгольца	
Д.Б.Волков-Богородский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	69
О приложении метода квазидинамического установления к исследованию нелинейного деформирования композиционных оболочек	
В.Г.Дмитриев, С.И.Жаворонок (МГОУ, ИПРИМ РАН, г. Москва)	71
Графен. Моделирование наномеханических свойств.	
Е.А.Никитина, Ю.Г.Яновский, С.М.Никитин, Ю.Н.Карнет (ИПРИМ РАН, НИИЯФ МГУ, г. Москва)	72
Стендовые доклады	73
Нанодисперсный минерал шунгит как новый усиливающий наполнитель для эластомерных композитов	
О.В.Бойко, Ю.Г.Яновский, Ю.В.Корнев, О.Б.Юмашев, С.В.Николаева (ИПРИМ РАН, г. Москва)	74
Исследование влияния газосодержания на поглощение звука в микродисперсной пузырьковой среде	
Б.В.Бошенятов, В.В.Попов, (ИПРИМ РАН, г. Москва)	76
Экспериментальное исследование процессов сверхзвукового горения эмульсии воды и керосина	
А.А.Быков, В.Ю.Великодный, В.Г.Гришин, В.В.Попов, Б.Н.Толкунов. (МФТИ, ОИВТ РАН, ИПРИМ РАН, г. Москва)	77
Теоретическое и экспериментальное исследование неравновесных эффектов в ударных волнах в пузырьковых жидкостях при высоких газосодержаниях	
А.А.Быков, В.Ю.Великодный (МФТИ, ОИВТ РАН, г. Москва)	78
Экспериментальное исследование электрического разряда в пузырьковой жидкости и его влияние на растворенные в жидкости вещества	
А.А.Быков, В.Ю.Великодный, В.Г.Гришин, А.И.Крикунова, В.В.Попов, Б.Н.Толкунов (МФТИ, ОИВТ РАН, ИПРИМ РАН, г. Москва)	79
Исследование характеристик модели ГПВРД с внешним горением на импульсной аэродинамической гиперзвуковой трубе	
И.Ю.Васильев, Ю.К.Левин, И.В.Берлов, Е.С.Прядко (ИПРИМ РАН, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва)	81

Снижение лобового сопротивления головных частей сверхзвуковых летательных аппаратов И.Ю.Васильев, Н.Н.Захаров, А.Н.Кутузова (ИПРИМ РАН, ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва)	82
Гидродинамическая деструкция водных наноассоциатов и плазмозлектрохимическая рекомбинация ионов водорода В.Ю.Великодный, В.Г.Гришин, В.В.Попов (ИПРИМ РАН, г. Москва)	83
Моделирование концентрации сероводорода - возобновляемого энергоресурса черного моря В.П.Воротилин, С.И.Кошоридзе, Ю.К.Левин, О.Я.Полотнюк (ИПРИМ РАН, г. Москва)	85
Анализ поведения многослойного комбинированного сосуда давления К.С.Голушко (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск)	86
Сравнительный анализ реологических свойств биологических жидкостей человека в норме и патологии А.Н.Данилин, Н.А.Семенов, А.Д.Шалашилин, Ю.Г.Яновский, О.Б.Юмашев В.И.Карандин, А.Г.Рожков (ИПРИМ РАН, 3-й ЦВКГ им. А.А. Вишневого)	87
Волны деформации в нелинейных двухкомпонентных твердых средах В.И.Ерофеев (Нижегородский филиал ИМАШ им. А.А.Благодирова РАН, г. Нижний Новгород)	88
Исследование поведения композиционных оболочек с герметичными внутренними слоями при динамическом нагружении В.Н.Зайцев (МАИ, г. Москва)	89
Статистическое описание структуры, случайных полей напряжений и деформаций в двухфазных волокнистых и дисперсно-упрочненных композитах матричного типа А.В.Зайцев, В.С.Кокшаров, Ю.В.Соколкин (ПГТУ, г. Пермь)	90
Уплотнительные элементы из терморасширенного графита: моделирование механического поведения, оценка влияния условий эксплуатации, уточненный прочностной анализ А.В.Зайцев, Н.Г.Злобин, О.Ю.Исаев, Д.В.Смирнов, А.М.Ханов (ПГТУ, ООО «Новомет – Силур», г. Пермь)	92
Агрегация частиц нанонаполнителя и предел текучести дисперсно-наполненных полимерных нанокомпозитов Г.В.Козлов, Н.Ж.Султонов, Ю.Г.Яновский, А.К.Микитаев (К-БГУ им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик, НИФХИ им. Л.Я. Карпова, ИПРИМ РАН, ЗАО "МАКПОЛИМЕР", г. Москва)	94
Исследование влияния углеродных нанотрубок на комплекс свойств эластомерных материалов Ю.В.Корнев, Ю.Г.Яновский, С.М.Никитин, О.В.Бойко, М.А.Гусева, С.В.Николаева (ИПРИМ РАН, г. Москва)	96
Методика автоматического анализа временных процессов в частотной области К.Ю.Левин (ИПРИМ РАН, г. Москва)	98
Расчет напряженного состояния элементов столбчатого керамического покрытия лопатки турбины ГТД с учетом воздействия центробежных сил А.Р.Лепешкин, П.А.Ваганов (ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва)	100
Расчет смещений в стержне из сплава с памятью формы при фазовых переходах, контролируемых изменением величины электрического напряжения И.В.Мишустин (ИПРИМ РАН, г. Москва)	101
Исследование зависимости эффективных упругих характеристик плоскости, ослабленной бесконечной решёткой отверстий, от параметров решётки В.В.Мокряков (ИПМех РАН, г. Москва)	103
Моделирование теплового удара по термопокрытию В.Е.Панин, П.А.Люкшин, Б.А.Люкшин, Н.Ю.Матолыгина, С.В.Панин (ИФПМ СО РАН, г. Томск)	104

Точные оценки решения нелинейного интегрального уравнения в диффузионной задаче	
Э.М.Подгаецкий (ИПРИМ РАН, г. Москва)	105
О турбулентных струях и физике струйно-факельного горения газов	
Ю.В.Полежаев, О.Г.Стоник, Р.Т.Салахадинов (ОИВТ РАН, г. Москва)	106
Методика расчета скорости детонационного горения	
Ю.В.Полежаев, О.Г.Стоник (ОИВТ РАН, г. Москва)	107
О моделировании поверхностных эффектов в теории межфазного слоя	
Ю.О.Соляев, С.А.Лурье (ИПРИМ РАН, г. Москва)	108
Экспериментальное исследование горения газообразного топлива в воздухе	
Э.Е.Сон, Д.Е.Белов (МФТИ, г. Долгопрудный, ОИВТ РАН, г. Москва)	109
Синтез и СВС-компактирование композитов композитов на основе системы (Ti+C)–(Cr+V)	
А.А.Чобко, В.А.Щербаков (ИСМАН РАН, Черноголовка)	110
Синтез и СВС-компактирование композитов на основе системы (Ti+2V)–(3Cr+2C)	
А.А.Чобко, В.А.Щербаков, Н.В.Сачкова (ИСМАН РАН, Черноголовка)	112
Изучение структуры волны горения гетерогенной смеси Ti+C в условиях квазиизостатического сжатия	
В.А.Щербаков, В.Ю.Баринов (ИСМАН РАН, Черноголовка)	114
Скорость горения гетерогенной смеси Ti+C в условиях квазиизостатического сжатия	
В.А.Щербаков, В.Ю.Баринов (ИСМАН РАН, Черноголовка)	115
Физические причины масштабного эффекта при наноиндентировании полимерных нанокompозитов	
Ю.Г.Яновский, Г.В.Козлов, Ю.В.Корнев, О.В.Бойко, Ю.Н.Карнет (ИПРИМ РАН, г. Москва)	116
Особенности структуры эластомерных материалов с нанонаполнителями: межфазный слой	
Ю.Г.Яновский, Х.Х.Валиев, Ю.В.Корнев, Ю.Н.Карнет, О.В.Бойко, К.П.Косичкина, С.В.Николаева, О.Б.Юмашев (ИПРИМ РАН, г. Москва)	118
Новые функциональные магнитоуправляемые наносорбенты для экстракорпоральной детоксикации биологических жидкостей	
Н.А.Семёнов, О.Б.Юмашев, Ю.Г.Яновский, А.Н.Данилин, С.М.Никитин (ИПРИМ РАН, г. Москва)	120
Моделирование устойчивости трехслойных оболочек вращения	
В.Н.Бакулин, В.В.Репинский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	121
Определение напряженно-деформированного состояния соплового насадка из УУКМ на макро- и микроуровне	
Медведский А. Л., Курбатов А. С., Жаворонок С. И. (МАИ, ИПРИМ РАН, г. Москва)	122
Расчетно - экспериментальное исследование остаточных напряжений в перспективном композиционном материале	
А.В.Афанасьев, Л.Н.Рабинский (МАИ, г. Москва)	123
Экспериментальные исследования керамических лакокрасочных покрытий	
Д.Г.Гаврилов, О.В.Егорова, С.В.Мамонов, М.И.Мартиросов, Л.Н.Рабинский (МАИ, г. Москва)	124
Численное моделирование воспламенения водородно-воздушной смеси поверхностным разрядом	
В.А.Левин, В.Г.Громов, Н.Е.Афоница (ИМех МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва)	125
Моделирование устойчивости трехслойных оболочек вращения	
В.Н.Бакулин, В.В.Репинский (ИПРИМ РАН, г. Москва)	



Иван Филиппович Образцов

(28.07.1920 - 28.02.2005)

Образцов Иван Филиппович родился 28 июля 1920 года.

После окончания средней школы в 1938 г. он поступил в Ленинградский авиационный институт. Трудовую деятельность начал в 1939 г. на Первом ленинградском авторемонтном заводе.

В начале Великой Отечественной войны Образцов ушел добровольцем на фронт. Участвовал в боях под Ленинградом. В октябре 1941 г. как студент 4-го курса он был отозван из армии и направлен для продолжения учебы в МАИ. В 1944 г. после окончания МАИ Образцова оставили работать в институте.

В 1949 г. И.Ф.Образцов защитил кандидатскую диссертацию, а в 1957 г. - докторскую. Звание профессора ему присвоено в том же 1957 г.

В 1956 г. И.Ф.Образцова назначили деканом факультета самолетостроения, а в 1958 г. - ректором МАИ. Будучи ректором (до 1972 г.) он внес неоценимый вклад в развитие МАИ и совершенствование подготовки специалистов аэрокосмического профиля.

С 1972 по 1990 г. И.Ф.Образцов - Министр высшего и среднего специального образования РСФСР, а с 1990 г. - директор Института прикладной механики РАН.

Итогом разносторонней творческой деятельности И.Ф.Образцова являются его научные труды и два открытия. Среди его публикаций 23 книги и свыше 250 статей. Им подготовлено 15 докторов наук и свыше 25 кандидатов наук.

Активная научно-педагогическая деятельность И.Ф.Образцова получила всеобщее признание.

В 1966 г. И.Ф.Образцова избрали членом-корреспондентом АН СССР, а в 1974 г. - действительным членом АН СССР.

С 1989 г. И.Ф.Образцов более 10 лет возглавлял Национальный комитет по теоретической и прикладной механике СССР, с 1967 по 1999 г. был Председателем правления и Президентом общества «Знание» России, с 1999 г. - почетный Президент этого общества, а с 1995 г. - Президент Общенациональной Академии «Знание». И.Ф.Образцов был главным редактором академических научных журналов «Механика твердого тела» и «Механика композиционных материалов и конструкций».

Выдающиеся научные достижения И.Ф.Образцова отмечены Ленинской (1988 г.) и Государственной (1976 г.) премиями, премией Совета Министров СССР (1976 г.), премией Правительства РФ (1998 г.).

За большие заслуги перед Родиной И.Ф.Образцов награжден орденом «Заслуги перед Отечеством III степени», тремя орденами Ленина, орденами Октябрьской революции, Отечественной войны II степени, Трудового Красного Знамени, орденом «Знак почета», а также 23 медалями.

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

О РЕЗОНАНСАХ В ПОЛУОГРАНИЧЕННЫХ БЛОЧНЫХ СТРУКТУРАХ

В.А.Бабешко, О.В.Евдокимова, О.М.Бабешко

Кубанский Государственный университет, НИЦ ПГК, г. Краснодар

В работе И.Ф.Образцов, И.И.Ворович, В.А.Бабешко (Явление высокочастотного резонанса в полуограниченных телах с неоднородностями / Известия АН СССР. Механика твердого тела. 1990. №3. С.74–83.) было доказано существование высокочастотного резонанса в полуограниченных, в частности, в слоистых средах с неоднородностями. В качестве неоднородностей рассматривались либо жесткие включения, в том числе поверхностные штампы, либо полости - трещины, плоскости которых параллельны границе слоя. Под высокочастотной понимается гармоническая вибрация, при которой в упругом слое возникают волны, уводящие энергию на бесконечность. Это явление характеризуется тем, что несмотря на диссипацию энергии, казалось бы препятствующую неограниченным резонансам, при определенных параметрах неоднородностей, они могут возникнуть. До появления этой, работы считалось, что неограниченные резонансы, называемые низкочастотными, возможны в полуограниченных областях лишь на частотах запираения, когда волноводные свойства слоя отсутствовали. Математически низкочастотный резонанс возникает в условиях наличия лишь дискретного спектра у граничной задачи теории упругости. В случае высокочастотного резонанса, имеет место пересечение точек сплошного и дискретного спектров.

В настоящем сообщении исследуется существование низкочастотных и высокочастотных резонансов в более сложных структурах – полуограниченных блочных для некоторых краевых задач теории упругости.

Исследование основано на применении недавно развитых факторизационных методов – дифференциального и интегрального методов факторизации и блочного элемента.

В блочной структуре, состоящей из неограниченного слоя, контактирующего с упругим блоком в форме прямоугольного параллелепипеда, для ранее установленного существования низкочастотного резонанса построены асимптотические формулы, описывающие его параметры. При исследовании высокочастотного резонанса выявлены условия, обеспечивающие его существование в указанной блочной структуре.

Отдельные фрагменты работы выполнены при поддержке грантов НШ-3765.2010.1, ФЦП 2010-1.2.1.-102-017-008, Гранта Президента МД-1554.2009.1.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА И ПРОБЛЕМА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

В.В.Васильев

*Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения,
Моск. обл., г. Хотьково*

Геометрическая механика деформируемого твердого тела, рассматриваемая в докладе, основана на соотношениях общей теории относительности, т.е. тензоре Эйнштейна, позволяющим выразить тензор энергии-импульса среды через кривизну риманова пространства. Применительно к твердому телу, эти соотношения позволяют формально выразить тензор напряжений через тензор кривизны так, что уравнения равновесия теории упругости удовлетворяются тождественно и задача сводится к уравнениям совместности деформаций, в качестве которых предлагается использовать условия инвариантности тензора Эйнштейна относительно деформаций. В евклидовом пространстве получаемые уравнения совместности деформаций вырождаются в уравнения Сен-Венана теории упругости.

В линеаризованной постановке, т.е. в случае малого отличия метрики получаемого риманова пространства от метрики евклидова пространства и для малых деформаций, уравнения геометрической механики с точностью до малых членов совпадают с уравнениями теории упругости, описывающими задачу, сформулированную в напряжениях. При этом вместо функций напряжений фигурируют метрические коэффициенты риманова пространства, порождаемого напряжениями среды.

Основная идея геометрической механики основана на представлении риманова пространства как неоднородного евклидова пространства и заключается в том, чтобы использовать получаемую геометрию пространства для определения формы упругого тела, соответствующей его напряженному состоянию, т.е. для решения задачи оптимального проектирования конструкций.

В качестве приложений рассматриваются плоские задачи для пластин с круглыми отверстиями и для вращающихся дисков. Для таких задач, риманово пространство, следующее из геометрической теории, интерпретируется как пластина или диск переменной толщины, закон изменения которой по радиусу получается в результате решения. Для пластин и дисков с полученными законами изменения толщины методом конечных элементов строятся численные решения прямых задач теории упругости, которые сравниваются с известными решениями задач оптимизации пластин и дисков. Установлено, что получаемая в результате решения задачи геометрической теории толщина пластин с отверстиями обеспечивает минимальный объем материала и отсутствие концентрации напряжений в окрестности отверстия, а получаемая толщина вращающегося диска – его максимальную удельную (по отношению к массе) энергоемкость.

Обсуждается соответствие между решениями задач геометрической механики и структурой природных материалов.

МЕХАНИКА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ. ПРИБЛИЖЕНИЕ ОТ НАНО- К МАКРОМАСШТАБУ

Ю.Г. Яновский

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Экспериментальное изучение наноскопических характеристик материалов с наноструктурными наполнителями – важнейшая научная проблема. Традиционные методы исследования макромеханических свойств подобных объектов на разрывных машинах слабо отражают особенности их наноструктуры в силу, так называемого, масштабного эффекта. (Сравнение нанопрочностных и макропрочностных характеристик показывает их различие в сотни раз [1]).

В докладе взаимосвязь между нано- и макропрочностными свойствами композитов рассматривается на примере наполненных наноразмерными частицами эластомеров (прототипы шинных резин). Отдельное внимание уделяется эффекту усиления среды (улучшению тех или иных механических свойств) при ее наполнении наноразмерными частицами. Такие материалы имеют периодическую структуру на наноуровне, которая может быть охарактеризована, в частности, в рамках фрактального описания [2].

Полученные в последнее время автором с сотрудниками оригинальные результаты экспериментальных исследований комплексом современных методов [1] (зондовая микроскопия, наноиндентирование, исследование макропрочности и т.п.) позволили детально охарактеризовать наноструктуру, нано-, микро- и макромеханические и прочностные свойства нано- и микронаполненных объектов. Проведена оценка влияния агрегации наночастиц в полимерной матрице на наномеханические и прочностные свойства композита. Впервые получены прямые экспериментальные данные о параметрах межфазного слоя в нанонаполненных объектах. Проведенный анализ показал, что молекулярная подвижность в межфазных областях практически заморожена, что приводит к высоким абсолютным значениям их температуры стеклования (типичным для стеклообразного состояния полимера) и высоким значениям их модуля упругости. Это позволяет рассматривать межфазные слои как армирующий элемент нанокомпозита, наряду с собственно наполнителем.

Установлена роль масштабного фактора при деформировании наноструктурированных объектов. Показано, что в зависимости от схемы деформирования (нано-, микроиндентирование или разрывные испытания при растяжении макрообразцов) регистрируемые механические характеристики подобных композитов могут различаться в сотни раз.

Экспериментальные данные, полученные на конкретных объектах, наполненных хорошо охарактеризованными дисперсными наноразмерными наполнителями различной природы с узкой полидисперсностью, позволили сформулировать обобщенную теоретико-экспериментальную концепцию механизма усиления полимерных композитов наноразмерными наполнителями и установить управляющие этим механизмом нанопараметры. Можно считать доказанным тот факт, что эффект усиления гиперупругих композитов является истинным наноэффектом, который определяется только размером частиц исходного нанонаполнителя. Агрегация наночастиц, всегда наблюдаемая в реальных материалах, лишь несколько ослабляет этот эффект, однако не препятствует его проявлению в целом. Теоретическое описание этого эффекта, также как и пути управления определяющими его величину

параметрами, с хорошей степенью адекватности можно получить в рамках фрактального подхода.

Литература

1. Structure and Properties of Particulate – Filled Polymer Composites. The Fractal Analysis; G.V. Kozlov, Yu.G. Yanovsky, G.E. Zaikov, Nova Science Pblsh., Inc. NY 2010, 288p.
2. Yanovsky Yu.G., Valiev H.H. Kornev Yu.V., Karnet Yu.N. etc., Scale Factor by Investigations of Mechanical Properties of Composite Materials Filled with Nanosized Particles, International Journal of Nanomechanics, Science and Technology, 2010, V1 N3 pp.195-210.

РАСЧЕТ АНИЗОТРОПНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И СЛАБОКОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОНТУРОМ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

Ф.Н.Шклярчук

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Обсуждаются работы И.Ф.Образцова и его учеников по расчету подкрепленных тонкостенных конструкций крыльев вариационным методом В.З.Власова в перемещениях. В развитие этих работ рассматривается деформирование анизотропных цилиндрических и слабоконических оболочек с произвольным контуром поперечных сечений. За счет анизотропии композиционного материала оболочки крыла возникает упругое взаимодействие между его изгибом и кручением, которое может быть использовано для управления аэроупругими и аэродинамическими характеристиками крыла.

Для отсеков подкрепленных продольными элементами безмоментных, анизотропных цилиндрических и слабоконических оболочек с произвольным одно- или многозамкнутым контуром поперечного сечения получены путем численного решения полные системы ортогональных на контуре функций и их производных. При использовании этих контурных функций в разложениях перемещений оболочки уравнения метода В.З.Власова распадаются на несвязанные дифференциальные уравнения по продольной координате, которые решаются аналитически точно.

Наряду с этими решениями получено приближенное решение для той же модели анизотропных оболочек с использованием гипотезы плоского распределения в поперечных сечениях продольных деформаций, которое соответствует теории изгиба, сдвига и кручения тонкостенных балок при свободных деформациях и деформациях контура.

Приведены примеры расчета со сравнениями приближенного и точного решений. Решена статическая задача аэроупругости крыла большого удлинения с анализом влияния анизотропии обшивки на аэродинамические характеристики упругого крыла и критическую скорость дивергенции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 09-01-0381; 09-08-00602).

СТРУКТУРА И ПАРАМЕТРЫ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В НАНОТРУБКАХ

А.В.Вахрушев, А.М.Липанов, А.А.Вахрушев,

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики УрО РАН,
г. Ижевск*

Нанотечения имеют широкую сферу применения в таких научных дисциплинах, как биология, химия, физика и инженерные науки. Важную роль в характере изучаемых процессов играют силы, проявляющиеся в жидкостях на наноуровне. Благодаря необычной молекулярной структуре среды возможно появление различных феноменов, ненаблюдаемых на макроуровне. В частности, обнаружено, что образование слоистой структуры жидких потоков определяется, главным образом, формой молекул. Так симметричные молекулы самоорганизуются в псевдо-твердую структуру с четкими слоями, в то время как ассиметричные молекулы остаются в неупорядоченном жидком состоянии. Другой особенностью нанотечений является проскальзывание вдоль поверхности канала, что существенно снижает гидравлическое сопротивление потока.

Представленное исследование посвящено моделированию структуризации воды в наноканалах, а так же затрагивает явление проскальзывания вязкого потока вдоль твердой поверхности. Взаимодействие системы жидкость - канал моделируется методом молекулярной динамики. Твердые поверхности канала образуются многослойными углеродными нанотрубками, что позволяет пренебрегать шероховатостью поверхности. Для моделирования потока жидкой среды в канале использовался подход, применяемый при расчете потока жидкости через нанопоры и мембраны. Он основан на моделировании перепада давления в расчетной области. Для этого задается сила, прилагаемая вдоль вектора, параллельного задаваемому направлению течения жидкости. Действию указанной (внешней для системы) силы подвергаются не все молекулы жидкости, а только находящиеся на входе в наноканал. Таким образом, указанные области молекулярной системы, подвергаемые воздействию внешних сил, становятся источником движения жидкости.

В ходе проведенного исследования было выяснено, что вязкие свойства жидкости меняются в связи с перестроением кластерной структуры воды, основанной на особом виде взаимодействий – водородных связях между молекулами воды.

Получено, что в свободном состоянии в исследуемой молекулярной жидкости идут процессы образования кластерной структуры. Начало движения вязкого потока по наноканалу характеризуется разрушением указанных структур.

Размер максимального кластера, общее число кластеров и доля структурированной жидкости зависит от числа Рейнольдса и имеет фиксированное среднее значение в стационарном потоке. Выявлено, что вблизи стенки наноканала образуется «обедненный» слой, определяющий явление проскальзывание жидкости вдоль твердой поверхности.

В канале с гидрофобной поверхностью в процессе установления течения также наблюдается однородная ориентация молекул воды, как вдоль оси канала, так и в радиальном направлении. При нарушении гладкости поверхности канала и возникновении явления прилипания происходит перемешивание слоев жидкости, постоянно меняется ориентация молекул, и расходные характеристики потока снижаются на несколько порядков.

Полученные результаты подчеркивают тот факт, что структурные особенности вязкой среды и механизмы ее взаимодействия с твердой поверхностью являются определяющими факторами, влияющим на свойства молекулярных потоков.

ФОРМИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ТВЕРДЫМИ ГРАНИЦАМИ ОБЛАСТИ ТЕЧЕНИЯ

В.А.Левин, И.С.Мануйлович, В.В.Марков

*Научно-учебное учреждение Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, levin@imec.msu.ru*

В настоящее время в связи с попытками использования детонационного горения в энергетических установках бурно исследуются фундаментальные проблемы детонации в многомерных постановках и нестационарных условиях. Основные задачи, которые необходимо решить для практических целей, — инициирование детонации и ее стабилизация в движущейся горючей смеси. В настоящей работе рассматриваются проблемные задачи, которые, в основном, связаны с разработкой современных двигательных систем, реализующих высокоскоростное сжигание топлива. В этой связи несомненный интерес представляют вопросы новых способов инициирования и стабилизации детонации в условиях ограниченного пространства камеры сгорания без подвода энергии извне в горючую смесь. Идея нового подхода к инициированию детонации состоит в использовании кинетической энергии многокомпонентной смеси или энергии непроницаемых границ области течения в их движении относительно газа.

В докладе представлены результаты расчетов двумерных течений в рамках одностадийной кинетики горения пропановоздушной смеси в каналах с препятствиями, во вращающихся цилиндрах и в замкнутых объемах с деформируемыми стенками, которые демонстрируют возможность инициирования детонации и дают информацию об критических условиях ее формирования.

На основании гипотезы плоских сечений предлагается использовать полученные данные для оценки трехмерных нестационарных процессов в сверхзвуковых реагирующих потоках в каналах специальной формы, получаемой при перемещении вращающейся или деформирующейся границы области течения в направлении, перпендикулярном плоскости, в которой она находится. В случае вращения камеры сгорания соответствующий трехмерный канал имеет винтовую форму. Гипотеза плоских сечений применима, если шаг винта канала много больше размеров его поперечного сечения, т.е. размеров соответствующей плоской камеры.

Работа выполнена в рамках реализации Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН «Фундаментальные проблемы горения и детонации в энергоустановках».

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ГОРЕНИЯ ГАЗОВЫХ ТОПЛИВ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В.В. Голуб, В.В. Володин, Д.И. Бакланов, К.В. Иванов, А.П. Данилов, И.Н. Тарасенко

¹ Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва, golub@ihed.ras.ru

Работа посвящена влиянию акустических волн на воспламенение, горение и формирование детонации в газовых смесях. В работе приводятся результаты экспериментального и численного моделирования воздействия звуковых волн на фронт горения и диффузионное пламя в газах. Численное моделирование позволило наблюдать эволюцию очага воспламенения при наличии акустического поля, а также влияние акустического поля на динамику температуры газа в очаге воспламенения.

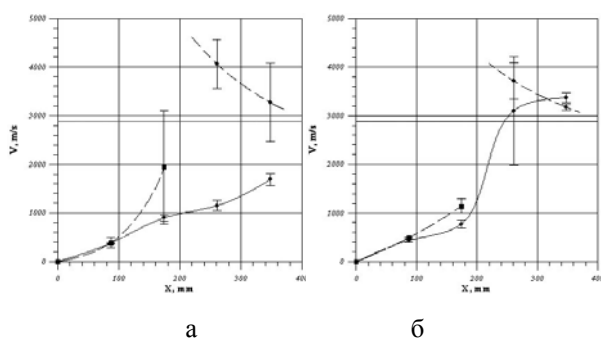


Рис.1. Скорости ударных и детонационных волн в присутствии звукового поля (сплошная линия) и без него (пунктирная линия) при давлении $P_{dcs} = 1.4$ атм (а) и $P_{dcs} = 1.9$ атм (б) $ER = 1.1$. Горизонтальная линия – скорость Чепмена – Жуге.

воздействие увеличивает длину формирования детонации.

Результаты численного моделирования показали, что на начальной стадии процесса воспламенения звуковые волны ускоряют процесс остывания очага горения, а затем приводят к более быстрому нарастанию температуры и развитию неустойчивости фронта. Картина падения и роста максимальной температуры в очаге возгорания, слабо зависит от частоты волн.

Исследование воздействия акустического излучения на пламя (рис. 2.) показало, что:

1. при частотах 1-20 кГц акустическое воздействие приводит к отсоединению присоединенного диффузионного ламинарного метанового пламени;
2. при частотах 3-6 кГц обнаружены режимы бифуркации диффузионного ламинарного метанового пламени.

Эксперимент показал, что в отсутствие акустического воздействия при двух значениях давления в камере сгорания детонация возникает на расстоянии около 2.5 диаметра камеры сгорания от источника зажигания (рис. 1.). При наличии акустического поля картина развития горения отличается: при давлении 1.4 атм ударная волна к концу четвертого калибра камеры сгорания разгоняется до скорости около половины детонационной; при давлении 1.9 атм скорость волны на том же расстоянии превышает стационарную детонационную, но тем не менее заметно, что акустическое

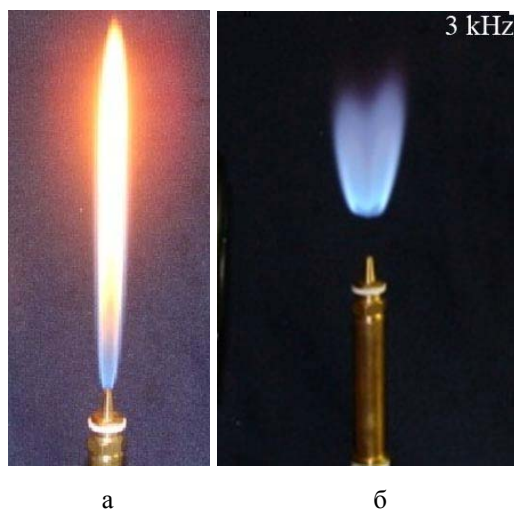


Рис. 2. Форма пламени в отсутствие (а) и при наличии (б) акустического воздействия.

Секция 1

Прочность гетерогенных материалов, композитов, адаптивных материалов и конструкций

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ УПРУГИХ КОМПОЗИТНЫХ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК

С.К.Голушко

*Учреждение Российской Академии наук Конструкторско-технологический институт
вычислительной техники СО РАН, г. Новосибирск*

В работе приведены постановки и представлены аналитические и численные решения краевых задач расчета напряженно–деформированного состояния упругих полиармированных круглых и кольцевых пластин, оболочек вращения различных геометрических форм, а также комбинированных оболочечных конструкций. Проведен сравнительный анализ их поведения при использовании классической и ряда уточненных теорий пластин и оболочек в геометрически линейной и нелинейной постановках. Выполнено комплексное исследование влияния структурных и механических параметров композиционных материалов, порядка расположения армированных слоев, геометрии оболочек и вида нагружения на поведение таких конструкций. При анализе прочности слоистых композитных пластин и оболочек использован послойный структурный критерий прочности композиционного материала, что позволило вычислить нагрузки, определить зоны и механизмы начального разрушения, оценить эффективность работы каждого элемента композита.

Следует отметить, что переход от классической теории пластин и оболочек к тем или иным уточненным теориям сопровождается не только увеличением порядка систем дифференциальных уравнений, но и качественным изменением структуры их решений, появлением новых быстро возрастающих и быстро убывающих решений, имеющих ярко выраженный характер погранслоев. Традиционные схемы и алгоритмы численного интегрирования краевых задач на таких классах жестких систем нелинейных дифференциальных уравнений оказываются малоприменимыми.

Рассмотрены различные аспекты применения методов дискретной ортогонализации и сплайн-коллокации для решения задач классической и уточненных теорий пластин и оболочек. Аналитические решения, полученные для ряда задач многослойных конструкций (длинных прямоугольных пластин и цилиндрических панелей, сопряженной арочной конструкции, цилиндрической оболочки) [1] позволили провести сравнения с численными решениями, полученными с помощью методов сплайн-коллокации и дискретной ортогонализации, а также с численными решениями, полученными методом инвариантного погружения [2], показавшими высокую степень совпадения результатов.

Литература

1. Голушко С.К., Немировский Ю.В. Прямые и обратные задачи механики упругих композитных пластин и оболочек вращения. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 432 с.
2. Андреев А.Н., Немировский Ю.В. Многослойные анизотропные оболочки и пластины: Изгиб, устойчивость, колебания. Новосибирск: Наука, 2001. – 288 с.

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ОБРАЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

А.М. Липанов, В.Б. Дементьев

Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики УрО РАН,
г. Ижевск, ipm@udman.ru

Термомеханическая обработка, основанная на последовательном воздействии на материал: нагрев → деформация → охлаждение, в одном технологическом цикле, является одним из эффективных процессов повышения прочностных свойств, за счет формирования гетерогенных структур различного типа.

Исследования проводили на конструкционных сталях 30ХГСН2А и 30ХН2МФА. Термомеханическое упрочнение (ТМУ) осуществляли по следующим режимам (скоростной нагрев ТВЧ до $t = A_{c3} + (50 \sim 100^\circ\text{C})$, деформация $\varepsilon = 20 \sim 25\%$, закалка водовоздушной средой, средний и высокий отпуск). Для изучения упрочняющего эффекта термические режимы были выбраны оптимальными для данных сталей, а деформацию осуществляли в неприводной трехроликовой клетки позволяющей за счет изменения осевой подачи заготовки и разворота деформирующих роликов создать различное напряженное состояние при ТМУ и получать разнонаправленные виды деформации.

Результаты исследований показали, что после ТМУ по данной схеме материал имеет мартенситную фазу, которая состоит из двух морфологических составляющих – пакетной и пластинчатой. Пакетный мартенсит – структурное образование из отдельных параллельных кристаллов удлиненной формы со средней толщиной ~ 700 нм. Пластинчатый мартенсит – это отдельно расположенные в зоне кристаллы линзовидной формы. Рейки в пакетах имеют до шести ориентировок с общей плоскостью. Последующий после закалки нагрев при отпуске вызывает перераспределение атомов углерода: распад самого аустенита с образованием карбида при температуре ($100 \sim 150^\circ\text{C}$); распад остаточного аустенита при температуре ($250 \sim 300^\circ\text{C}$) и дальнейший распад мартенсита с образованием цементита и специальных карбидов M_2C , M_6C , $M_{23}C_6$ образованными легирующими элементами молибденом, хромом, ванадием имеющие сферическую удлиненную форму, располагающихся на внутрифазных границах – в виде прослоек. С увеличением температуры отпуска происходит смена мест их зарождения, рост и переход в энергетически выгодные места – на границы кристаллов и в стыки зерен. Цементит выделился в матрице зерен на внутрифазных границах пакетов и кристаллов мартенсита. Внутри пластин его больше ($1,13\%$), а по их границам ($0,9\%$). Средние размеры зерен, пакетов и кристаллов при данной обработке в среднем в 2 раза меньше, а длина контура в зоне составляет около 1 мкм, что на порядок меньше, чем при закалке ТВЧ.

Количественный анализ дислокационных сеток показал их рост в 1,2 раза, а хаотичное расположение образует области с высокой избыточной плотностью, что подтверждается наличием интенсивных деформационных процессов с изменяющимся направлением течения материала. При этом аустенитное зерно измельчается, а размеры и тонкая структура наследуется при мартенситном превращении. Сложное же строение дислокаций в виде стенок и образующейся из них сетки с избыточной плотностью на наш взгляд лежит в основе механизма упрочнения гетерогенных материалов и получения высоких прочностных свойств.

На основании проведенных исследований доказано, что основной механизм упрочнения заключается в измельчении аустенитного зерна при деформировании и

наследование его в процессе закалки, величины которых приближаются к размерам наноструктур и равномерно распределенным карбидам создают гетерогенную структуру обеспечивающую высокие прочностные свойства.

О СУЩЕСТВЕННОСТИ ГРАДИЕНТНЫХ ЭФФЕКТОВ В ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ В ОДНОРОДНЫХ И СТРУКТУРИРОВАННЫХ СРЕДАХ

С.А.Лурье

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва, lurie@ccas.ru*

Дается анализ влияния масштабных факторов на поведение как однородных изотропных сред, так и неоднородных сред с развитой внутренней структурой. Анализ проводится путем сравнения аналитического решения одномерной краевой задачи, построенного с использованием градиентной теории межфазного слоя [1], с результатами соответствующего численного эксперимента. Численный эксперимент проводится для дискретного одномерного материала Ленарда-Джонса. Из сравнения решения найденного по континуальной модели с решением результатами численного эксперимента дается оценка масштабного размерного параметра.

Установлено, что фактически для всех однородных материалов значение масштабного параметра, имеющего размерность длины, не превышает половины межмолекулярного расстояния, т.е. исчезающе мало. Соответствующие поправки к эффективным физико-механическим классическим характеристикам, за счет учета этих масштабных факторов оказывается меньше чем 0.01 %. Таким образом, дается объяснение неудачным в целом попыткам уточнения механических свойств материалов за счет градиентных эффектов, а также попыткам экспериментального определения градиентных параметров. Сделанные выводы подтверждаются аналогичными результатами, полученными при определении масштабных параметров на основе дисперсионных соотношений для широкого класса материалов.

С другой стороны, сравнение континуальных решений и результатов численных экспериментов для неоднородных структур показывает, что здесь роль масштабных факторов многократно возрастает, т.е. учет масштабных (градиентных) эффектов оказывается весьма существенным. Более того, показано, что всегда выделяется один градиентный параметр, характеризующий именно границу контакта фаз. Поправки же при вычислении эффективных физико-механических характеристик (эффективных модулей упругости, эффективной теплопроводности и др.) могут превышать 40%.

Дается новая физическая трактовка градиентных эффектов, как, в некотором смысле, эквивалентность введения градиентности в моделях деформирования неоднородных сред, проблеме учета переменности свойств в зоне контакта различных фаз, если считать, что в реальных материалах свойства меняются непрерывно. Такое соответствие градиентных пограничных эффектов и переменности свойств в окрестности границы, позволяет в принципе обеспечить замену краевых задач с переменными коэффициентами (для переменных свойств) краевыми задачами более высокого порядка, но с постоянными коэффициентами.

Рассматриваются примеры учета градиентности при моделировании физико-механических процессов в различных неоднородных структурах (наполненные композиты, керамики).

Работа поддерживается грантами РФФИ 09-01-00060, 09-01-13533 офиц, проектом Президиума РАН -П21.

Литература

1. S. A. Lurie, et al., *Comp. Mat. Sc.*, 45:3 (2009), 709-71

РЕОНОМНЫЕ И СКЛЕРОНОМНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

А.А.Мовчан, С.А.Казарина

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Причиной уникальных термомеханических свойств сплавов с памятью формы (СПФ) являются происходящие в этих материалах термоупругие фазовые и структурные превращения. Согласно общепринятым представлениям, термоупругие превращения являются атермическими, бездиффузионными процессами. Поэтому свойства СПФ должны быть склерономными.

Однако согласно результатам проведенных экспериментальных исследований, свойства СПФ нельзя считать полностью склерономными. Установлено, что при жестком монотонном нагружении образцов из никелида титана в режиме мартенситной неупругости форма диаграммы растяжения зависит от скорости движения активного захвата. Чем выше скорость деформаций, тем меньшее значение деформаций соответствуют одним и тем же значениям напряжений. При мягком ступенчатом нагружении в режиме мартенситной неупругости наблюдается рост деформаций при постоянных значениях температуры и напряжений, после скачкообразного увеличения последних. Скорость изменения деформаций со временем велика сразу после скачка напряжений, но монотонно убывает, демонстрируя поведение, характерное для явления ограниченной ползучести. Отсюда следует, что реономными свойствами обладают процессы, связанные со структурными превращениями в СПФ.

Аналогичные свойства проявляют образцы из никелида титана при их ступенчатом мягком нагружении в режиме сверхупругости, т.е. в изотермическом процессе при температуре начально аустенитного состояния, когда одновременно наблюдаются два процесса – вызванное ростом напряжений прямое мартенситное превращение и структурный переход в ранее образовавшемся мартенсите. Более того, при ступенчатой разгрузке тех же образцов наблюдается уменьшение деформаций со временем при постоянной температуре и напряжении, после ступенчатого изменения последнего. Здесь уже структурный переход отсутствует и имеет место лишь обратное фазовое превращение. Согласно сказанному выше, никелид титана демонстрирует реономные свойства, как при фазовых, так и при структурных превращениях.

Для описания как реономных, так и склерономных свойств СПФ предлагается ряд моделей. В простейшей из них считается, что в СПФ существует класс бесконечно медленных процессов, которые по определению являются склерономными. Для этих процессов справедлива предложенная недавно модель нелинейного деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях [1-2] и ее термодинамическое замыкание [3]. Для процессов, происходящих с конечной скоростью, предполагается, что скорость деформаций пропорциональна разности величины деформации и значения деформации в аналогичном, но бесконечно медленном процессе. Рассмотрен вариант модели, в рамках которой существует как класс бесконечно медленных, так и класс предельно быстрых процессов. В этом случае скорость деформации пропорциональна дробно-линейной функцией текущего значения деформации.

Литература

1. Мовчан А.А., Мовчан И.А. Модель нелинейного деформирования сплавов с памятью формы в активных процессах прямого превращения и структурного перехода. Механика композиционных материалов и конструкций. 2008. Т.14. № 1. С. 75-87.
2. Мовчан А.А., Мовчан И.А., Сильченко Л.Г. Микромеханическая модель нелинейного деформирования сплавов с памятью формы при фазовых и структурных превращениях. Известия РАН. Механика твердого тела. 2010. № 3. С. 118-130.
3. Мовчан А.А., Казарина С.А., Мишустин И.В., Мовчан И.А. Термодинамическое обоснование модели нелинейного деформирования сплавов с памятью формы при фазовых и структурных превращениях. Деформация и разрушение материалов. 2009. №8. С. 2-9.

КРИТЕРИЙ РОСТА ТРЕЩИН С РАЗВИТОЙ КОНЦЕВОЙ ОБЛАСТЬЮ

М.Н.Перельмутер

*Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, perelm@ipmnet.ru*

Значительное увеличение трещиностойкости композитов и нанокompозитов обусловлено упрочняющим влиянием подкрепляющих волокон. Связи между берегами трещины, образованные подкрепляющими волокнами, препятствуют развитию разрушения. Причем, в большинстве случаев размер части трещины занятой связями (далее - концевой области трещины) сравним с размером всей трещины. Приближенные методы оценки трещиностойкости, основанные на рассмотрении трещины с малой концевой областью, при этом неприменимы. В работе модель трещины с концевой областью используется для описания прочности и трещиностойкости композитов и нанокompозитов. Участок ослабленных или нарушенных связей в материале моделируется трещиной, между берегами которой действуют силы сцепления, обусловленные присутствием подкрепляющих волокон. Размер зоны взаимодействия берегов трещины (концевая область) может меняться в процессе роста трещины и не является малым по сравнению с размером всей трещины.

Математическое описание модели трещины со связями в концевой области состоит из двух основных этапов: а) определения закона деформирования связей в концевой области; б) анализа предельного равновесия трещины с учетом внешних нагрузок и усилий, возникающих в связях. Система сингулярных интегро-дифференциальных уравнений для определения напряжений в связях и перемещений берегов трещины получена исходя из принципа суперпозиции для общего случая трещины, расположенной на границе между различными материалами. [1]. Анализ предельного равновесия трещины при действии внешних нагрузок и усилий в связях выполняется на основе нелокального критерия разрушения [1-2]. Для формулировки критерия разрушения используются энергетические характеристики трещины – скорость высвобождения энергии деформации (СВЭД) и скорость потребления энергии деформации связями (СПЭД). В модели трещины с концевой областью обе эти величины зависят от свойств связей и размера концевой области трещины. Условием предельного равновесия вершины трещины является равенство величин СВЭД и СПЭД (первое условие разрушения). Это условие является достаточным условием разрушения, а в качестве необходимого условия разрушения используется критерий предельного удлинения связи на краю концевой области. Исходя из этих двух условий разрушения, рассмотрены режимы докритического и квазистатического роста трещины: 1) вершина трещины продвигается, и размер концевой области нарастает без разрыва связей; 2) размер концевой области сокращается без продвижения вершины трещины; 3) вершина трещины продвигается с одновременным разрывом связей на краю концевой области. Последний режим соответствует квазистатическому росту трещины с выполнением обоих условий разрушения, из которых определяются размер концевой области трещины в состоянии предельного равновесия и критическая внешняя нагрузка.

В качестве примера использования нелокального критерия разрушения рассмотрена задача о прямолинейной трещине при действии внешней нагрузки нормальной плоскости трещины и постоянными напряжениями в концевой области. Получены аналитические выражения для величин СВЭД и СПЭД, а также для критических разрушающих напряжений и размера концевой области трещины в состоянии предельного равновесия. В случае размера концевой области малого по

сравнению с размером трещины получены выражения, согласующиеся с известными макроскопическими моделями разрушения. В случае напряжений в связях, зависящих от раскрытия трещины, расчет усилий в связях и раскрытия трещины, а также все этапы использования критерия разрушения, выполняются численно. Приведены расчетные зависимости трещиностойкости, адгезионной энергии разрушения и критической внешней нагрузки от длины трещины для различных сочетаний свойств материалов и характеристик связей. Выполнен анализ влияния параметров связей на трещиностойкость материалов.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты №08-01-00696 и №08-08-00798).

Литература

1. Гольдштейн Р.В. Перельмутер М.Н. Трещина на границе соединения материалов со связями между берегами. МТТ, №1, 2001, с. 94-112
2. Перельмутер М.Н. Критерий роста трещин со связями в концевой области, ПММ, том 71, вып.1, 2007, с. 152-171

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Л.Г.Сильченко, Т.Л.Сильченко

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Тонкостенные элементы из сплавов с памятью формы (СПФ) склонны к потере устойчивости. Об этом свидетельствуют как данные экспериментов, так и результаты теоретических работ.

К числу основных особенностей потери устойчивости элементов из СПФ следует отнести следующие:

1. Потеря устойчивости может быть вызвана не только прямым и обратным мартенситными фазовыми превращениями, но также структурным превращением, обусловленным переориентацией мартенсита при увеличении уровня действующих напряжений. Учёт структурного превращения при анализе устойчивости при мартенситных превращениях является усугубляющим фактором. Однако оно может рассматриваться и независимо, что необходимо при анализе устойчивости в условиях так называемой мартенситной неупругости. Интересно отметить, что при совместном учёте термоупругих и структурных превращений последнее вносит основной вклад в потерю устойчивости очень гибких элементов, в случае же менее гибких элементов основное влияние на потерю устойчивости оказывают фазовые переходы.

2. Критические нагрузки могут иметь в несколько раз меньшие значения, чем соответствующие критические нагрузки упругой потери устойчивости при мартенситных значениях модулей СПФ.

3. Области устойчивости в пространстве внешних нагрузок часто оказываются невыпуклыми.

Для нахождения критических характеристик потери устойчивости тонкостенных элементов из СПФ предложен ряд упрощённых подходов. Смысл указанных подходов заключён в некоторой системе концепций (гипотез). Для анализа устойчивости при термоупругих мартенситных и структурных превращениях предложены два основных подхода. В соответствии с первым из них, составившим смысл концепции «фиксированного фазового и структурного состава», при выпучивании элемента из СПФ фазовый и структурный состав полагается неизменным. Данный подход, наиболее прост и всегда приводит к наибольшим величинам критических нагрузок. При альтернативном подходе фазовый и структурный состав не считается неизменным. Он назван концепцией «дополнительного фазового и структурного превращения». В рамках этого подхода может быть рассмотрено несколько направлений, обусловленных дополнительными предположениями. К их числу относится концепция «фиксированной нагрузки», предполагающая внешнюю нагрузку при выпучивании неизменной, а также концепция «варьируемой нагрузки», где такое ограничение не ставится. В рамках последней наиболее интересен упрощённый подход, названный гипотезой «повсеместного дополнительного фазового и структурного перехода», приводящий к минимальным значениям критических нагрузок. В соответствии с ним, за счёт выбора соответствующих вариаций внешней нагрузки, в каждой точке теряющего устойчивость элемента имеет место дополнительное фазовое и (или) структурное превращение.

При анализе устойчивости помимо указанных выше общих закономерностей могут наблюдаться любопытные особенности. В представленном докладе подробно рассмотрена одна из них. При анализе потери устойчивости сжатой в двух

направлениях прямоугольной пластины из СПФ были получены области устойчивости на основе двух моделей. Первая на основе собственно уравнений пластины из СПФ, другая на основе уравнений полой оболочки из СПФ, вырождаемой в пластину. Оказывается, что указанные области устойчивости не полностью совпадают, но, конечно, близки между собой. Особенно интересен тот факт, что критические нагрузки потери устойчивости пластины, полученные на основе предельного перехода решений уравнений полой оболочки, в ряде случаев оказываются меньшими по величине.

МЕТОД ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ В ЗАДАЧАХ МЕХАНИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЗАЩИТНЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.Н.Бакулин, ¹А.В.Острик

Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН, г. Москва,
vbak@yandex.ru

¹*Учреждение Российской академии наук Институт проблем химической физики РАН,
Черноголовка*

В настоящее время сферопластики рассматриваются в качестве перспективных гетерогенных покрытий (ГП) нового поколения для защиты конструкций различного назначения от интенсивных потоков излучений и частиц [1]. Эти материалы, с одной стороны, ослабляют воздействующие потоки посредством напыленных на наполнитель тяжелых металлов, а, с другой, демпфируют формирующийся в них механический импульс в результате необратимого схлопывания многослойных микросфер (МС).

Уже первые опыты по облучению гетерогенных образцов защитных ГП показали существенное влияние гетерогенности на параметры механического действия излучения (МДИ). При этом гетерогенность проявляется как при определении распределений энерговыделения в компонентах материала, так и при формировании начального профиля давления в облучаемой преграде. На стадии энерговыделения гетерогенность проявляется в перераспределении энергии между компонентами ГП вторичными излучениями (электронным и флуоресцентным). При расчете профиля давления учет обусловленной гетерогенностью температурной неравновесности распределения поглощенной энергии в компонентах ГП приводит к существенному изменению параметров МДИ. В обоих случаях учет гетерогенности и описание структуры наполнителя ГП удастся провести, используя метод элементарной ячейки. Реализации этого метода применительно к расчету параметров МДИ и посвящена настоящая работа.

Расчет энерговыделения в компонентах ГП. При численном моделировании перераспределения энергии вторичным электронным излучением используется гибридный подход, при котором перенос фотонов моделируется методом Монте-Карло (методом плотностей столкновений) в гомогенном многокомпонентном материале с усредненными характеристиками, а перераспределение энергии между компонентами ГП вторичными электронами рассчитывается аналитически. При этом используется метод «врезок» [1] и предполагается, что в пределах элементарной ячейки ГП поток излучения меняется незначительно (длина пробега фотонов существенно больше размеров МС).

Расчет параметров МДИ. Для описания формирования МДИ предлагается двумерная неравновесная модель широкодиапазонной элементарной ячейки ГП. Расчет квазистатического выравнивания напряжений в пределах элементарной ячейки основывается на решении уравнений равновесия упругопластической среды, дополненных широкодиапазонными уравнениями состояния. Предлагаемая модель позволяет получить начальный профиль напряжений во всем диапазоне плотностей подводимой энергии (как малых энергокладов, когда оказывается важным упругопластическое течение, так и больших, при которых имеют место фазовые переходы). При построении модели принимаются во внимание структурные особенности многослойных МС, используемых в ГП для защиты от ионизирующих излучений. Учитываются потеря устойчивости, разрушение и необратимое схлопывание МС.

Приводятся результаты расчетов начальных профилей напряжений в ГП с дисперсными наполнителями из стеклянных и углеродных МС с напылением тяжелых металлов (вольфрама и никеля).

Литература

1. Острик А.В. Термомеханическое действие рентгеновского излучения на многослойные гетерогенные преграды в воздухе.–М.: «Информтехника», 2003. 160с.

МИКРО И НАНОСТРУКТУРА ПОВЕРХНОСТИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ С УПРАВЛЯЕМЫМ КОНЦЕНТРАЦИОННО — ВРЕМЕННЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

Х.Х. Валиев, Ю.Н. Карнет, Г.Н. Ковалев, К.П. Косичкина, Ю.Г. Яновский

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва,*

В современной медицине значительное место занимает одно из направлений нанобиотехнологии - разработка новых композиционных лекарственных препаратов для лечения различных заболеваний человека. Непосредственное использование фармакологически активных лекарственных средств часто вызывает трудности в обеспечении оптимальных терапевтических доз ввиду быстрого растворения этих веществ и значительным токсическим воздействием на здоровые органы.

В связи с этим широко применяются в терапевтической практике пролонгированные формы лекарств, обеспечивающие замедленное высвобождение активного компонента в жидкую фазу среды организма. Носителями биоактивных фармакологических веществ в таких структурах часто являются композиционные интерполимерные комплексы (ИПК), реализующие дозированное высвобождение лекарственной субстанции в определенном режиме. Ввиду важности таких препаратов при лечении тяжелых заболеваний большой интерес представляет изучение на микро и наноуровнях особенностей топографии поверхности этих пролонгированных форм, возникающих под воздействием факторов, близких к условиям, действующим “in vivo” в средах человеческого организма.

В данной работе исследована структура таких поверхностей с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) на примере общепризнанных оральных антиастматических таблеток ТЭОПЭК (ЗАО «Фармапэк», Москва). Активным веществом этих препаратов является теофиллин, содержащийся в количестве 100 мг в таблетках массой 140 мг. ИПК представляет собой композиционный полимерный носитель из полиметакриловой кислоты и полиэтиленгликоля со вспомогательным веществом стеаратом кальция.

Использовали АСМ easyScan (Nanosurf, Швейцария), работавший в контактной моде при комнатной температуре с нагрузкой на кантилевер 25,6 наноньютон. При работе в дополнительной моде модуляции нагрузки (Force Modulation Mode) амплитуда модуляции устанавливалась 0.200 В., частота модуляции 130 кГц. Число точек сканирования в каждом опыте составляло 128 X 128. Использовали дополнительную защиту АСМ от внешних возмущений с помощью динамического антивибрационного столика TS - 150 (Fabrik am Weiher, Швейцария).

Получены АСМ снимки топографии и материального контраста поверхности таблеток ТЭОПЭК до, и после выдерживания в воде при комнатной температуре в течение 2, 4, 6 часов. Установлены изменения характерных особенностей поверхности исследуемых объектов, возникающих в процессе растворения ИПК и задаваемого освобождения теофиллина. Эти данные позволили впервые визуализировать на микро и наноуровнях процесс преобразования структуры поверхности пролонгированных фармацевтических форм этих препаратов, обеспечивающих плавное во времени выделение биоактивного компонента в среде, имитирующей основную растворитель в организме человека.

Полученные результаты представляются актуальными для фундаментальных научных подходов к конструированию [1, 2] бионаноконструкций, используемых в современной медицине для лечения различных заболеваний.

Литература

1. Снегирева Н.С., Воронин А.В., Карнет Ю.Н., Яновский Ю.Г. Численный анализ структуры композиционных материалов типа полимер-биополимер. Механика композиционных материалов и конструкций, 1995, т.1, № 2, с. 144-151.
2. Controlled Release of Drugs, NY, 1989; 308 P. Chapter 2. Biodegradable polymers for controlled releases of drug (I.R.J. Linhard). - p. 53-96.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ТЕРМОДЕФОРМИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ С УГЛЕРОДНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Н.Н.Головин, Г.Н.Кувыркин

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва

Для деталей и узлов современных машин, выполненных из углерод-углеродных композитов (УУК) и углепластиков (УП), характерны высокая степень анизотропии и температурная зависимость характеристик, способность к неупругому деформированию, разносопротивляемость растяжению и сжатию. Внешнее высокотемпературное воздействие вызывает изменение геометрической формы деталей, терморазложение связующего УП и заставляет учитывать различие характеристик компонентов УУК.

Предлагается математическая модель композитных материалов на основе углерода, представляющая их в виде смеси двух компонентов. Основная система уравнений УУК, рассматриваемого как совокупность упругой разносопротивляющейся растяжению и сжатию арматуры и изотропной упругопластической матрицы, включает в себя связанные уравнения нестационарной теплопроводности матрицы и наполнителя, уравнения равновесия, выражения для компонентов тензора напряжений и вектора усилий межкомпонентного взаимодействия. Идентификация параметров модели производится на основании информации, получаемой из испытаний макрообразцов композита. Для терморезистивных УП, представляемых в виде анизотропного каркаса с расположенной в его порах газовой фазой, разрешаемая система уравнений включает в себя связанные уравнения нестационарной теплопроводности пористой насыщенной среды и нестационарной фильтрации продуктов терморазложения связующего, уравнения равновесия и выражения для компонентов тензора напряжений. Замыкание системы уравнений, в этом случае, достигается введением описывающего производство массы продуктов терморазложения связующего выражения аррениусовского типа и установлением на основании химического состава продуктов теплового эффекта этой реакции. Такой подход позволяет учесть влияние темпа нагрева на распределение термонапряжений при высокоинтенсивном нагружении.

Приводятся результаты численных исследований термонапряженного состояния термонагруженных составных конструкций, одновременно включающих в себя детали из УУК, УП и традиционных гомогенных материалов, с помощью программных комплексов MAPAT/Composite и ORTOPLASCON/Composite.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты №№ 08-08-00615а, 09-08-00699а и гранта Президента РФ о поддержке ведущих научных школ НШ-4046.2010.8.

УТОЧНЕННЫЙ ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЫСОКОАГРЕССИВНЫХ И РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ СРЕД

А.В.Зайцев, А.В.Кислицын, А.В.Кутергин, Ю.В.Соколкин, А.А.Фукалов

Пермский государственный технический университет, г. Пермь

Контейнеры для длительного хранения и транспортировки высокоагрессивных жидкостей (изготавливаются из стеклопластика и полимербетона — дисперсно-упрочненного композита на основе полиэфирных смол, наполненных молотым известняком, кварцевым песком, мраморной, диабазовой мукой или цементом и армированных дибазовым, мраморным или гранитным щебнем), имеющие форму соосных составных толстостенных тяжелых цилиндров, являются конструкциями ответственного назначения, которые работают в экстремальных условиях силового воздействия продолжительный период.

Отличительными особенностями полимербетонных являются высокая степень наполнения минеральными частицами (размер, форма и взаимное расположение которых случайны), а также ярко выраженная анизотропия свойств. Последнее является следствием технологических режимов получения этих материалов. Поэтому для прогнозирования эффективных модулей полимербетона была разработана многомасштабная модель, в которой было выделено три уровня, определяемых характерными размерами: неоднородностей случайных полей напряжений и деформаций в частицах наполнителя матрицы, представительных объемов матрицы, наполненной минеральной мукой и, наконец, пространственной гексагональной ячейки периодичности полимербетона, содержащей минеральные включения в наполненной матрице. На основе численного решения краевых задач на различных масштабных уровнях методом конечных элементов были определены эффективные свойства квазиизотропной полиэфирной смолы Виналкид 550, наполненной мраморной мукой (представительный объем содержал случайно размещенные трансверсально-изотропные минеральные сферические частицы, концентрация которых составляла 0,26, а разброс диаметров описывался нормальным и логнормальным законами распределения), и трансверсально-изотропного полимербетона на ее основе, имеющего периодическую пространственно гексагональную структуру с объемным наполнением 0,60 и содержащего сферические включения диабаз.

Сравнение спрогнозированных эффективных упругих модулей с экспериментальными данными показало хорошее соответствие полученных результатов и позволило использовать эти характеристики для уточненного прочностного анализа оптимально соответствующих требованиям безопасной эксплуатации конструкций цилиндрических контейнеров, в основу которого было положено новое точное аналитическое решение задачи об упругом равновесии тяжелых составных толстостенных анизотропных тел с осевой симметрией, полученное с использованием разложения компонент вектора перемещений по окружной и радиальной координате в тригонометрические и обобщенные степенные ряды, и позволяющее оценить влияние собственного веса и неоднородной реакции основания на характер распределения напряжений в поперечных сечениях контейнера с учетом изменения упругих свойств полимербетона при длительном контакте с агрессивными жидкостями. На основе анализа полученного точного аналитического решения и многокритериального подхода, который позволяет описать различные реальные механизмы разрушения анизотропных внутренних и внешних толстостенных соосных цилиндров (от растяжения или сжатия в окружном и радиальном направлении, от

сдвигов по поверхности или в плоскости изотропии, а также в диаметральной плоскости), проведена оценка начальной прочности. Было обнаружено, что разрушение от растяжения или сжатия в окружном и радиальном направлении происходит в вертикальных сечениях, а потеря несущей способности от сдвига — в диаметральных горизонтальных плоскостях. На основе полученных результатов обоснованы рекомендации по внесению изменений в существующие конструкции контейнеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ–Урал № 07–01–96056).

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ПО ДАННЫМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ И НАНОИНДЕНТИРОВАНИЯ

Ю.В.Корнев, С.В.Николаева, Ю.Г.Яновский, Х.Х.Валиев, О.В.Бойко, Н.А.Семёнов,
К.П.Косичкина

*Учреждение Российской академии наук Институт Прикладной Механики РАН,
г. Москва, yurikornev@iam-ras.ru*

Свойства эластомерных композитов во многом определяются характером взаимодействия частиц активных наполнителей с эластомерной матрицей, размером частиц активного наполнителя и однородностью их распределения в эластомерной матрице. В связи с этим, получение сведений о структуре наполненного эластомерного композита, межфазных взаимодействиях и механических свойствах на наноуровне является важной научной задачей [1], конечная цель которой — создание новой теоретической базы для прогнозирования свойств композитов на основе эластомерных матриц.

Основным методом получения сведений о структуре наполненного эластомерного композита и межфазных взаимодействиях является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ). Для определения механических свойств на наноуровне при сверхмалых деформациях в настоящее время применяется метод наноиндентирования, с помощью которого, в случае с эластомерными материалами, могут быть изучены явление усиления и межфазные взаимодействия, а также получена информация о влиянии размерного (масштабного) фактора [2] на механические свойства эластомерных композитов.

В данной работе исследовались образцы эластомерных композитов наполненных как техническим углеродом, так и минералом шунгит микро- и нано-размеров с целью исследования топографии поверхности, фазовой структуры материала и количественной оценки качества диспергирования наполнителя в эластомерной матрице.

Полученные данные на АСМ в режиме модуляции силы говорят о больших средних размерах частиц наполнителя для всех образцов в сравнении с методом фазового контраста. После обработки полученных изображений в программе SPIP отмечается уменьшение средних размеров частиц и агломератов и расстояний между ними с ростом активности наполнителей.

Методом наноиндентирования при очень малых значениях деформации (до 500 нм) были получены аномально высокие значения модулей (до 300 МПа) для эластомерных материалов различного состава. При увеличении деформации модуль материала постепенно снижается. Данный эффект, скорее всего, характеризует степень взаимодействия между матрицей и частицами наполнителя и несколько схож с известным эффектом Пэйна (Payne) для сырых резиновых смесей [2].

Установлено, что для оценки активности поверхности наполнителя в эластомерных композитах может быть применён метод наноиндентирования. Высокие значения модулей при малых деформациях (до 500 нм) эластомерных композитов согласуются с меньшим размером частиц наполнителя в матрице и меньшими расстояниями между ними (из данных АСМ), и могут характеризовать степень взаимодействия наполнитель-наполнитель. В то же время, при деформациях более 1000 нм значения модуля характеризуют взаимодействие наполнитель-эластомерная матрица.

Полученные результаты важны при создании эластомерных композитов с заданным комплексом свойств.

Литература

1. Wang C.C., Wu S, Donnet J, Wang T “Microdispersion of carbon black in rubber, part 1: quantitative aspects of AFM image analysis”, Rubber Chem. Technol., 2006, V.79., pp. 783 - 790.
2. Корнев Ю. В., Яновский Ю. Г., Бoko О. В. “Особенности наноиндентирования эластомерных композитов: размерный фактор”, Сборник тезисов докладов участников Второго международного конкурса научных работ молодых учёных в области нанотехнологий в рамках Международного форума по нанотехнологиям Rusnanotech 09, 6 – 8 октября, Москва, 2009 г, стр. 146 – 148.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК 4Д-Л УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

А.Л.Медведский, А.С.Курбатов

Московский авиационный институт (государственный технический университет)

В докладе предложена методика определения эффективных упругих характеристик пространственно-армированного углерод-углеродного композиционного материала, основанная на конечно-элементном моделировании напряженно-деформированного состояния (НДС) представительного объема материала.

Рассматривается ячейка периодичности УУКМ, для которой методом конечного элемента определяются напряженно-деформированные состояния, соответствующие жесткому нагружению образца материала. На границе волокон и матрицы реализуются условия идеального контакта. Материал связующего предполагается линейно-упругим однородным и изотропным, а волокна обладают свойствами трансверсальной изотропии.

Рассмотренные напряженно-деформированные состояния соответствуют растяжению ячейки вдоль трех ортогональных направлений, а также трех сдвигов в координатных плоскостях. Средствами системы геометрического моделирования Autodesk Inventor 2010 создана параметрическая модель представительного объема УУКМ. Для определения НДС используются четырехузловые пространственные конечные элементы тетраэдрального типа и программный комплекс MSC.PATRAN/NASTRAN 2007. Для определения усредненных значений компонент тензоров напряжений и деформаций средствами программного комплекса MATLAB R2010a разработан модуль численного интегрирования на основе кубатур Гаусса.

С использованием разработанной методики получены эффективные упругие характеристики УУКМ в зависимости от соотношений жесткостных параметров связующего и волокон, а также геометрических параметров представительного объема. Найдены значения жесткостных параметров компонент материала, при которых УУКМ обладает равными модулями упругости первого рода в координатных направлениях.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по лоту «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области нанотехнологий и наноматериалов», гос. контракт № 02.740.11.0790 от 17.05.2010 г, и при финансовой поддержке гранта президента РФ для поддержки молодых российских ученых - кандидатов и докторов наук при государственной поддержке ведущих научных школ, код проекта №НШ-64683.2010.8.

Литература

1. Композиционные материалы: Справочник / Васильев В.В., Протасов В.Д., В.В. Болотин и др.; Под общ. Ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского.– М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
2. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Ю.В. Соколкин, А.М. Вотинов, А.А. Ташкинов, А.М. Постных, А.А. Чекалкин. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 240 с.

Секция 2

Аэро- и гидромеханика гетерогенных сред

ФИЗИКА СВЕРХЗВУКОВЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ ПОТОКОВ И ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ И НАПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

¹Ю.В.Полежаев, ¹Д.С.Михатулин, ²Г.А.Фролов

¹*Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва*

²*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича Национальной академии наук Украины (ИПМ НАНУ), г. Киев, Украина*

При подмешивании твердых микрочастиц в газовый поток удается разогнать их до сверхзвуковых скоростей. В процессе обтекания различных тел гетерогенными потоками обнаружены эффекты значительной интенсификации как теплопередачи на поверхности, так и линейной скорости её разрушения (в том числе и при малой концентрации частиц). Эти факты стимулировали многочисленные попытки использования гетерогенных сверхзвуковых потоков в технологиях резки и напыления материалов. При начальном давлении газа порядка нескольких атмосфер и температуре, близкой к комнатной, созданы энергосберегающие технологии с высокой производительностью.

В отличие от плазменных и лазерных методов резки материалов здесь отсутствует термическое воздействие на изделие, что позволяет исключить такие нежелательные эффекты, как окисление, удается наносить покрытия на подложки из нетермостойких материалов (например, полимерные).

Возможность использования для напыления порошков с размером частиц порядка 30-50 мкм приводит к улучшению качества покрытия – увеличивается его плотность за счет снижения объема микропустот. При введении в поток одних частиц, например, частиц бронзы с $d_p = 100$ мкм, наблюдается эрозия подложки. Замена частиц на более лёгкие и мелкодисперсные (алюминий с $d_p = 10$ мкм) оставляет на мишени плотное покрытие, т.е. эрозия сменяется на режим холодного напыления.

Принципиальную роль в формировании покрытия играет скорость осаждения частиц (порядка 500 м/с) и коллективные эффекты, связанные с межчастичными соударениями. В частности, нами были использованы бинарные смеси разноразмерных частиц.

Накоплен большой экспериментальный опыт, что позволяет четко сформулировать как параметры, определяющие процессы эрозионного разрушения, так и «пороговые» критерии, при которых эрозия сменяется на обратный процесс – поверхностного напыления. Критическая скорость начала эрозионного разрушения u_{cr} зависит от удельной энергии $u_{cr}(1)/u_{cr} = \sqrt{H_{er}(1)/H_{er}}$, где $d_p(1) < d_p^*$ при установившемся режиме $u_{cr}(1) = (u_{cr})^{0,5} \left[3^* / \rho_p d_p(1) \right]^{-0,25}$.

С уменьшением диаметра частиц $d_p(1)^{-0,25}$ всё значительнее проявляется «масштабный эффект», что удовлетворительно соответствует экспериментальным данным.

ОБОБЩЕНИЕ МЕТОДА РОДИОНОВА ДЛЯ РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЙ ИДЕАЛЬНОЙ СЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ

¹В.В. Решетняк, ²А.Н. Семко

¹Владимирский государственный университет, г. Владимир

²Донецкий национальный университет, г. Донецк, Украина

Для расчета гидроимпульсных процессов хорошо себя зарекомендовала модель изэнтропического движения идеальной сжимаемой жидкости. В рамках этой модели, движение жидкости описывается системой уравнений Эйлера и уравнением состояния в форме Тэта.

$$\frac{\partial \mathbf{a}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{b}}{\partial x} = \mathbf{c}; \quad p = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right]. \quad (1)$$

Здесь x, t - координата и время; p, ρ - давление и плотность жидкости; $B = 304,5$ МПа, $n = 7,15$, $\rho_0 = 1000$ кг/м³ – константы уравнения состояния; $\mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{c}$ - векторы-столбцы. Для одномерного движения с разной симметрией в случае отсутствия источников массы и импульса, $\mathbf{a}^T = \{\rho, \rho u\}$, $\mathbf{b}^T = \{\rho u, \rho u^2/2 + p\}$, $\mathbf{c}^T = \{-N \rho u/x, -N \rho u^2/x\}$, здесь u - скорость движения жидкости. В случае квазиодномерного движения в канале переменного сечения $\mathbf{c}^T = \{-\rho u d[\ln(F(x))]/dx, -\rho u^2 d[\ln(F(x))]/dx\}$, $F(x)$ - зависимость площади сечения канала от координаты. Уравнения (1) в общем случае не могут быть решены аналитически, поэтому базовым методом расчета параметров гидроимпульсных процессов является численный метод.

При расчете реальных гидроимпульсных процессов наиболее часто встречаются граничные условия следующих типов:

Стенка, движущаяся с заданной скоростью (частный случай – неподвижная стенка).

Свободная поверхность, давление на которой задано и равно атмосферному.

Поршень, движущийся под действием сил давления со стороны жидкости согласно обыкновенному дифференциальному уравнению $du_p/dt = -p_p F_p/m_p$.

Контактная поверхность на границе жидкость-газ при квазистационарном расширении паро-газовой полости в жидкости. Давление и объем газа в полости связаны уравнением баланса энергии $p_g dV_g/dt + d(p_g V_g)/(\gamma - 1)dt = N(t)$, где γ - показатель адиабаты газа, N - подводимая мощность.

Из-за нелинейности уравнений (1) в решении могут возникать разрывы даже при гладких начальных и граничных условиях, поэтому для решения обычно используются специально разработанные для задач газовой динамики численные методы. Так же расчет гидроимпульсных процессов затруднен присутствием волновой кавитации и необходимостью определять положение границ расчетной области в ходе решения.

Для расчета разных гидроимпульсных процессов хорошо себя зарекомендовал метод С.К. Годунова, имеющий, кроме ряда неоспоримых достоинств, один существенный недостаток – первый порядок аппроксимации. Многочисленные работы по модернизации метода Годунова и повышению его точности дали начало классу численных методов “типа Годунова”. Удачным оказался метод второго порядка аппроксимации А.В. Родионова, который в оригинальных работах использовался для расчета движений газа, а в настоящей работе был развит для расчета движений жидкости. Волновая кавитация учитывалась по упрощенной модели. При расчете распадов разрывов использовались характеристические соотношения для воды.

Аппроксимация описанных выше граничных условий была выполнена со вторым порядком точности. Верификация метода Родионова при решении стандартных тестовых задач, а так же сравнение с другими численными методами показали его высокую точность, надежность и эффективность.

ГИДРОДИНАМИКА ПЛАСТИНЫ В НЕОДНОРОДНОЙ ЖИДКОСТИ: МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Р.Н.Бардаков, Я.В.Загуменный

*Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва*

Интерес к описанию картины течения вязкой жидкости около препятствия распространенного вида (полосы или полуплоскости) сохраняется длительное время. Несмотря на простоту такой постановки, задача обтекания полосы не решена точно даже в линеаризованной постановке. Одно из первых приближенных решений для продольного обтекания полуплоскости было получено Блазиусом в приближении пограничного слоя, в котором затруднен расчет течений в окрестности кромок, где нарушаются условия применимости использованного приближения. Наблюдаемые в эксперименте отрыв течения и формирование продольных полосчатых структур указывают, что картина обтекания пластины при больших числах Рейнольдса более сложная, чем принимается при анализе задачи. В данной работе построена картина течений при равномерном горизонтальном движении пластины в вязкой экспоненциально стратифицированной жидкости. Рассчитаны и проанализированы свойства картины полей в широком диапазоне всех параметров задачи – длины и скорости движения пластины, величин стратификации и вязкости среды. В картине течения выделены две группы волн и компактные неволновые особенности вблизи краев источника. Полученные результаты сравниваются экспериментом и расчетами по линейной модели.

СТРУКТУРА ВЫСЫХАЮЩЕЙ КАПЛИ С НАНОЧАСТИЦАМИ

Р.Н.Бардаков, Ю.Д.Чашечкин

*Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва*

Изучение динамики и структуры течений в высыхающей капле чистой жидкости, истинного или коллоидного раствора, суспензии – одна из традиционных задач механики жидкостей. Интерес к данной тематике вырос в последние годы в связи с разработкой нано- и микротехнологий, развитием производства химически и биологически активных веществ, внедрением новых интегральных методов медицинской диагностики. Систематическое изучение структурных элементов высыхающих капель суспензий стимулировал поиск механизмов формирования краевого валика. В качестве механизма сегрегации вещества рассматривались процессы молекулярной диффузии или поверхностной конвекции Марангони, обусловленной неоднородностями концентрации и температуры. В ходе экспериментов было показано влияние тепловой и концентрационной конвекции на формирование структуры течений и перенос вещества, определены условия формирования пространственно упорядоченных структур в высыхающих каплях истинных и коллоидных растворов и суспензий. Особый интерес представляет изучение картины течения в капле суспензии с наночастицами, поскольку характер взаимодействия частиц в жидкости, обусловленный действием молекулярных сил заметно меняется при уменьшении размера частиц. В данной работе впервые экспериментально прослеживается формирование регулярной сверхтонкой структуры в высыхающей капле суспензии наночастиц кварца. Изучалась картина течения в высыхающих каплях суспензии наночастиц кварца размером 5 – 20 мкм в 40% растворе этанола в воде.

ПЕРЕНОС РАСТВОРИМОГО КРАСИТЕЛЯ В СОСТАВНОМ ВИХРЕ

Е.В.Степанова, Ю.Д.Чашечкин

*Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва*

Эксперименты по регистрации картины распределения растворимой примеси в составном вихре проводились при различных комбинациях влияющих параметров.

Равномерно вращающийся диск, установленный на дне цилиндрического контейнера, закручивает жидкость со свободной поверхностью вокруг вертикальной оси и отбрасывает к стенке контейнера. Ускоренная жидкость поднимается вдоль стенок контейнера, смещается к центру вдоль свободной поверхности и погружается в окрестности оси вращения, формируя подтекающее течение, которое компенсирует постоянный перенос вещества вдоль поверхности диска. В результате в контейнере формируется составной вихрь с неравномерным распределением угловой скорости, создающий поверхностную каверну.

Для визуализации структуры потока применялись различные красители, которые вводились на свободную поверхность составного вихря в виде капель. На свободной поверхности краситель образует спиральные рукава, удлиняющиеся в двух противоположных направлениях – вдоль основного движения поверхности и навстречу ему. В экспериментах, где свободная поверхность мало отличается от плоской, параметры спиралей, растущих из капли, упавшей на одном и том же расстоянии от оси вращения, слабо зависят от частоты вращения активатора. В экспериментах с выраженной поверхностной каверной параметры поверхностного распространения красителя не измерялись.

Совершенно независимо от переноса красителя вдоль свободной поверхности происходит перенос красителя в толщу составного вихря. Проведенные эксперименты показывают, что внутрь жидкости проникает не только стена краски, но и отдельные нитевидные структуры, собранные в компактный пучок (“окрашенный столб”) или образующие цилиндрическую поверхность.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В ВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЯХ

Е.В.Степанова, Т.О.Чаплина

*Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва*

Эксперименты по регистрации картины распределения нерастворимой примеси в составном вихре проводились с добавлением различного количества несмешивающейся примеси (касторового и подсолнечного масел) на поверхность.

На поверхности вращающейся рабочей жидкости – воды – образуется каверна, глубина которой достигает максимального значения в центре. Каверна возникает благодаря диску, вращающемуся на дне цилиндрического контейнера. Диск создает сложное течение, которое можно свести к комбинации двух вихрей: тороидального и вихря с вертикальной осью, совпадающей с осью вращения активатора. Если на поверхность воды помещен компактный объем нерастворимой примеси (подсолнечное или касторовое масло), то форма свободной поверхности составного вихря существенно зависит от количества примеси, а глубина поверхностной каверны нелинейно зависит от частоты вращения активатора. Основная часть масла собирается в окрестности центральной вертикальной оси в компактный объем, имеющий форму тела вращения, примыкающего ко дну каверны.

При умеренных частотах вращения диска ($\Omega \approx 300$ об/мин) на поверхности воды с добавлением различного количества масла образуется заполненная маслом каверна, глубина которой зависит как от объема масла, так и от глубины слоя воды. Для таких небольших частот вращения уже существенно влияние количества примеси.

Глубина жидкости существенно влияет на распределение легкой примеси в составном вихре. Небольшая порция масла почти целиком собирается в окрестности оси вращения, а поверхность раздела воздух-жидкость остается почти плоской. Периферия поверхности занята масляными каплями. Большое количество масла создает масляное тело, по форме напоминающее шляпу, края которой образованы спиральными рукавами, вытягивающимися в направлении, противоположном вращению активатора. Поверхность раздела воздух-жидкость практически вся состоит из масла и очень близка к плоской. Добавление среднего количества масла приводит к прогибу свободной поверхности и затягиванию масла вглубь составного вихря.

С ростом частоты вращения активатора влияние количества масла на его распределение в составном вихре и на форму свободной поверхности возрастает и приобретает более выраженную нелинейность.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛН ЦУНАМИ НА БОЛЬШОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ И ПРИМ РАН

Б.В.Бошнятов, В.В.Попов, Ю.К.Левин, Ю.Г.Яновский

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Моделирование волн цунами в лабораторных условиях представляет собой сложную научно-техническую проблему [1]. Дело в том, что соблюдение геометрического подобия натурной волны цунами требует поддерживать соотношение амплитуды волны и глубины бассейна $A/H \sim 10^{-3}$, а отношение глубины бассейна и длины волны $H/\lambda \sim 10^{-2} - 10^{-1}$. Чтобы приблизить подобие волн в натуральных условиях и в наземных установках приходится строить бассейны (лотки) огромных размеров 250 м – 500 м в длину. В работе показано, что вследствие стабилизации расчетных зависимостей параметров волны от перечисленных выше (и других) безразмерных критериев подобия, требования к геометрическому подобию могут быть снижены, по крайней мере, на один порядок. Кроме того, использование прецизионных методов измерения амплитуды волны [2,3] позволяет достичь приемлемого подобия при размерах установки 10-20 м. Приведены технические характеристики, созданного в ИПРИМ РАН большого гидродинамического лотка (длина 15 м), даны моделируемые параметры волн типа цунами и результаты испытаний установки, подтверждающие её технические характеристики.

Литература

1. Левин Б.В., Носов М.А. Физика цунами и родственных явлений в океане. – М.: «Янус-К», 2005. С. 78.
2. Бошнятов Б.В., Левин Ю.К., Попов В.В. Устройство измерения уровня воды, № 2010141060 от 07.10.2010.
3. Бошнятов Б.В., Левин Ю.К., Попов В.В., Семянистый А.В. Метод измерения волн малой амплитуды на водной поверхности // ПТЭ, 2010 (в печати).

О ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССЫ ЧАСТИЦЫ В СУСПЕНЗИИ

О.Б.Гуськов

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

В рамках проблемы гидродинамического взаимодействия частиц в потенциальных потоках идеальной жидкости возникает задача об определении присоединенной массы частицы при её движении в присутствии большого количества других частиц. Для случая одинаковых сфер в первом приближении по объемной концентрации частиц c задача сводится к определению коэффициента $k(\lambda)$ в выражении для присоединенной массы m^* :

$$m^* = \frac{\tau\rho}{2}(1 + k(\lambda) * c), \quad \lambda = \frac{\rho_p}{\rho} \quad (1)$$

где τ - объем сферической частицы, ρ - плотность жидкости, ρ_p - плотность частиц.

Рассмотрению данной задачи посвящен целый ряд работ, однако, до сих пор результаты получены только для конечного набора значений параметра λ . Так, в работе [1] коэффициент $k(\lambda)$ получен для частного случая газовых пузырьков в дисперсной фазе, т.е. при $\lambda = 0$. В работе [2] на основе аналогии с задачей об определении диэлектрической проницаемости неоднородной среды получен более общий результат. Однако, выражение для коэффициента $k(\lambda)$ получено в неявном виде и требует численных расчетов для каждого значения параметра λ . В связи с этим в указанной работе конкретные результаты приведены для нескольких значений данного параметра.

В настоящей работе на базе метода самосогласованных полей, основы которого изложены в работе [3], получена простая аналитическая зависимость коэффициента перед объёмной концентрацией от параметра λ во всем диапазоне его возможных значений.

В рамках указанного метода [3] вначале решается задача о движении большого, но конечного числа частиц в классической постановке. Ищется решение уравнения Лапласа для потенциала скоростей с граничными условиями непротекания на поверхности всех сфер в произвольном заданном потоке жидкости. Такое решение получено в виде суперпозиции полей возмущений, вносимых в поток каждой из частиц. Поля возмущений получены в виде функциональных рядов, коэффициенты которых взаимосогласованы через посредство определенной системы уравнений. Предположение о малости характерного параметра задачи $\alpha = a/l$ (a - радиус сфер, l - характерное расстояние между центрами сфер) позволяет «разделить» эту систему и свести её к рекуррентной алгебраической системе уравнений, в которой каждое следующее приближение по параметру α для коэффициентов рядов определяется предыдущими приближениями для этих же коэффициентов. Это дает возможность определить искомые коэффициенты, а соответственно потенциал скоростей жидкости и присоединенную массу пробной частицы, в любом приближении по малому параметру α .

Применяя далее к полученным результатам известную процедуру усреднения по ансамблю в предположении статистической равномерности распределения дисперсных частиц в пространстве, можно с любой точностью получить явное аналитическое выражение для коэффициента $k(\lambda)$ в формуле (1).

Как показывает сравнение, полученная в данной работе зависимость $k(\lambda)$ очень хорошо согласуется с известными частными случаями [1,2].

Литература

1. Wijngaarden van L. Hydrodynamic interaction between bubbles in liquid// J.Fluid Mech., 77 (1976), 27-44.
2. Felderhof U. Virtual mass and drag in two-phase flow// J.Fluid Mech., 225 (1991), 177-196.
3. Струминский В.В., Гуськов О.Б., Корольков Г.А. Гидродинамическое взаимодействие частиц в потенциальных потоках идеальной жидкости. // Докл. АН СССР (ДАН СССР). 1986. т. 290. № 4. с. 820-824.

ОДНОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ПО МИКРОКАПИЛЛЯРУ С ПРОНИЦАЕМОЙ СТЕНКОЙ

Б.В. Бошнятов, В.В. Попов

Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва, bosbosh@mail.ru, jPopov@inbox.ru

В наше время в процессах очистки газов, разделения газовых смесей, насыщения жидкостей газами и др. широкое применение находят полволоконные мембраны с проницаемыми стенками с диаметрами проходных сечений $d \leq 100$ мкм и толщиной стенок до десятков микрон. Это обусловлено тем, что использование таких волоконных мембран позволяет добиться высокой поверхности контакта компонентов в единице объема аппарата, сравнимой с тем, что реализуется в легких человека [1]. При разработке таких аппаратов, а также оптимизации их конструкции, необходимо иметь достаточно простые и, одновременно, надежные математические модели, основанные на описании течений газов и газовых смесей в полых микрокапиллярах с проницаемой стенкой. Задача о движении несжимаемой вязкой жидкости по трубе с проницаемой стенкой была впервые теоретически исследована Регирером методом разложения по малому параметру (число Рейнольдса) уравнений Навье-Стокса [2]. Движение сжимаемого газа по трубе с непроницаемыми стенками была рассмотрена Ландау, на основе одномерной гидродинамической модели, в которой предполагалось справедливость (локально) закона Гаагена – Пуазейля при учете изменения в нём кинематической вязкости газа от его плотности вдоль продольной оси трубы [3].

В данной работе исследуется изотермическое движение идеального вязкого газа по цилиндрическому микрокапилляру с проницаемой стенкой. Характерной особенностью таких микрокапилляров является то, что у них отношение общей длины волокна L_0 к его внутреннему диаметру d составляет десятки тысяч ($L_0 / d = 1\text{ м} / 100\text{ мкм} = 10^4 \gg 1$), а скорости движения газа - существенно дозвуковые ($M \leq 0,01$; $Re \leq 100$). В этом случае движение газа можно рассматривать как квазиодномерное.

Работа посвящена математическому моделированию течений вязкого газа по таким тонким проницаемым капиллярам на основе одномерной гидродинамической модели, основанной на предположении квазиодномерности потока газа внутри капилляра, т.е. выполнения в каждом его поперечном сечении закона Гаагена – Пуазейля и учета изменения плотности газа вдоль оси волокна от давления.

Использование таких физически обоснованных предположений позволяет получить замкнутую систему уравнений и аналитические выражения для практически важных соотношений, необходимых при проектировании полволоконных аппаратов, таких как отношение общего массового потока газа в стенку капилляра к массовому потоку газа на входе в зависимости от длины волокна и других параметров аппарата.

Литература

1. Бошнятов Б.В., Попов В.В. Устройство для насыщения жидкости газом, Авторское свидетельство СССР, №№ 1381784, 1383562, 1987.
2. Регирер С.А. О приближенной теории течения вязкой несжимаемой жидкости в трубах с проницаемыми стенками, Известия высших учебных заведений. Математика. №5 (30), 1962, с.65-74.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Гидродинамика: т.6: - М., Наука, 1986, 773с.

Секция 3

Фундаментальные проблемы горения и детонации

ПЛАЗМЕННО-КИНЕТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МНОГОСТАДИЙНОГО ВОСПЛАМЕНЕНИЯ В ПРОПАНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

В.А.Битюрин, Е.А.Филимонова

Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, helen@oivtran.ru

В настоящее время активно развивается новая область в горении, связанная с воздействием плазмы на горючую смесь. При определенных условиях, созданных внешним источником (разрядом или лазерной искрой) возможно возникновение многостадийного воспламенения. Результаты предварительных вычислений показали, что радикалы O, H, CH₃ – продукты диссоциации при соударении электронов с молекулами топливной смеси, - уменьшают время возникновения холодного пламени, не меняя длительность стадий голубого и горячего пламен. В результате полное время индукции становится меньше.

В данной работе выявлены причины значительного сокращения времени возникновения холодного пламени. Результаты расчетов приведены для пропано-воздушной смеси. Анализ ведущих реакций на стадии формирования холодного пламени показал, что преимущественным механизмом образования гидроперекисей в случае наработки алкилов в результате диссоциации углеводорода, становится путь через образование перокси-радикалов. Таким образом, действие разряда приводит к быстрому образованию гидроперекисей, и как следствие, к частичному высвобождению химической энергии через разложение гидроперекисей. Этот процесс приводит к ступенчатому нагреву газа на 50-200 градусов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНЫХ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ВИХРЕЙ С ЦЕЛЮ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГЕТЕРОГЕННОГО ГОРЕНИЯ

А.Ю.Вараксин, М.Э.Ромаш, М.А.Горбачев, В.Н.Копейцев

Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва

Генерация концентрированных вихрей оказывает значительное влияние на процессы теплообмена и горения, протекающие в тепловых двигателях и энергетических установках.

В работе изучена кинематика и динамика свободных концентрированных вихрей, генерируемых над нагреваемой снизу подстилающей поверхностью. Отметим, что для генерации вихревых структур не использовались механические закручивающие устройства.



Рис.1. Типичный кадр с изображением поперечного сечения воронки вихря (расстояние от лазерного ножа до поверхности равно 100 мм): 1 – внутренняя полость вихря («глаз вихря»); 2 – стенка вихря; 3 – край подстилающей поверхности. Размер изображения – 500x370 мм.

Показана эффективность различных способов визуализации свободных вихрей. Использование плоского светового ножа (лазерного ножа) совместно с визуализацией посредством частиц магнезии и дымовых частиц позволили изучить вопросы формирования и развития воронки вихрей (см. рис.1). Получены данные по полям мгновенных скоростей в концентрированных вихрях с использованием PIV-метода. Проведены оценки величин параметра закрутки и числа Россби для модельных вихревых структур.

Предложены различные методы управления поведением генерируемых модельных вихрей. Эффективность методов верифицирована экспериментальным путем.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН «Фундаментальные проблемы горения и детонации в энергоустановках» (координаторы – академик В.А.Левин, чл.-корр. РАН Ю.В.Полежаев).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ДЕТОНАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.А.Левин, И.С.Мануйлович, В.В.Марков

*Научно-учебное учреждение Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова, г.
Москва, levin@imec.msu.ru*

Постоянно возрастающий в последнее время интерес к расчету течений в каналах с детонационными волнами объясняется возможностью применения их результатов при разработке детонационных двигателей и других энергетических устройств, которые превосходят по эффективности агрегаты, использующие обычное сжигание топлива, имеют простую конструкцию с минимальным количеством движущихся частей и предназначены для летательных аппаратов в широком диапазоне скоростей – от дозвуковых до гиперзвуковых.

Численное моделирование течений с детонационными волнами требует большого объема вычислений и больших затрат машинного времени. Для сокращения времени расчета используются упрощенные модели детонации – модель бесконечно тонкой волны или одностадийная кинетика горения за головным скачком уплотнения. Модель бесконечно тонкой детонационной волны отличается простотой, необходимой для понимания происходящего процесса в целом, и поэтому имеет весьма широкую область применения. Вне возможности этой модели находятся процессы инициирования и затухания детонации, для описания которых необходимо учитывать конечную скорость химических превращений.

В докладе представлены результаты расчета цикла пульсирующего детонационного двигателя. Для определения тяговых характеристик использованы аналитические автотельные решения, описывающие течения за детонационными и взрывными волнами в конусе и клине с различными углами раствора. При детонации найдены углы, соответствующие максимуму среднего импульса. В случае конуса он составляет 60° , а для клина – 66.8° . В случае ударной волны оказалось, что средний удельный импульс достигает максимума при угле $\arccos(1/3)$ для конуса и 66.8° для клина.

Расчеты течений в осесимметричных каналах с различными формами боковой стенки позволили найти оптимальные формы, соответствующие максимуму среднего импульса и среднего удельного импульса. Расчеты с одностадийной кинетикой показали, что картина течения практически совпадает с той, которая получается в расчетах с бесконечно тонкой волной детонации.

Работа выполнена в рамках реализации Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН «Фундаментальные проблемы горения и детонации в энергоустановках».

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОТЕПЛООВОГО ВЗРЫВА В УСЛОВИЯХ КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

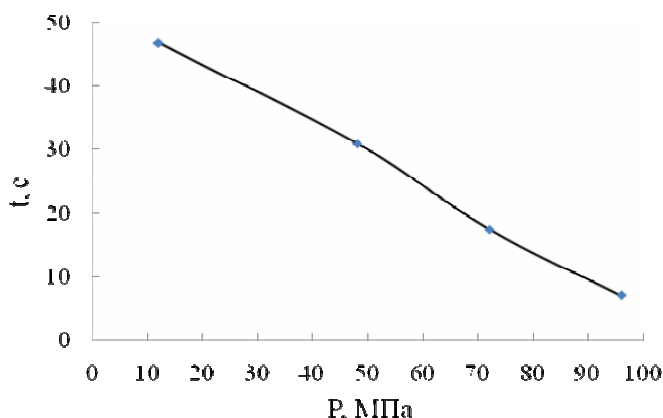
В.А.Щербаков, А.Н.Грядунов, В.Т.Телепа, А.В.Щербаков

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, Vladimir@ism.ac.ru

Электротепловой взрыв разработан для изучения кинетики быстропротекающих реакций в гетерогенных конденсированных системах. Он включает нагрев электрическим током заготовки, спрессованной из смеси порошков металлов и неметаллов до температуры воспламенения. Однако гетерогенная структура смеси затрудняет однородный нагрев исходного образца. Данный недостаток можно устранить, осуществляя всестороннее сжатие образца.

Настоящая работа посвящена изучению закономерностей электротеплового взрыва в условиях квазиизостатического сжатия. В качестве объекта исследования использовали гетерогенную смесь порошков титана (марки ПТМ) и сажи (марки П-804Т). Заготовку, спрессованную из реакционной смеси, помещали в пресс-форму, внутренняя поверхность которой футерована слоем оксида алюминия. Для удаления примесного газа, выделяющегося в ходе электротеплового взрыва, между заготовкой и стенками пресс-формы помещали пористый слой из карбида титана, одновременно служащий нагревательным элементом пресс-формы. Образец нагревали до температуры воспламенения электрическим током промышленной частоты. В ходе эксперимента регистрировали электрические параметры процесса (действующие значения электрического тока и напряжения) и усадку образца.

Экспериментально установлено, что воспламенение в режиме теплового взрыва зависит от давления сжатия и электрического тока. На рисунке представлена зависимость периода индукции воспламенения от давления сжатия. Видно, что увеличение давления до 100 МПа приводит к уменьшению периода индукции от 50 до 5 секунд.



Уменьшение периода индукции воспламенения обусловлено действием двух факторов. Первый связан с увеличением теплопроводности образца, что приводит к более однородному нагреву. Второй связан с увеличением мощности химического тепловыделения при взаимодействии титана с углеродом, что связано с увеличением поверхности гетерогенной реакции. Таким образом, сжатие образца является эффективным способом механического стимулирования взаимодействия в гетерогенных конденсированных системах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА ЭКЗОТЕРМИЧЕСКОЙ СМЕСИ Zn-S В ПРОЦЕССЕ ИЗОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

В.Ю. Баринов, А.В. Полетаев, В.А. Щербаков

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, г. Черноголовка, polav@ism.ac.ru

Получение новых материалов с уникальными свойствами в экстремальных условиях при высоких давлениях и температурах является одной из актуальных задач современной науки. Примерами процессов, в результате которых образуются такие материалы, являются самораспространяющийся высокотемпературный синтез и детонационный синтез (сверхзвуковое распространение волны реакции синтеза в экзотермических системах).

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению закономерностей горения и детонационного синтеза в условиях всестороннего изостатического сжатия при различных прилагаемых давлениях и возможности получения в процессе реакции синтеза нового материала. В качестве объекта исследования была выбрана экзотермическая гетерогенная система Zn-S, реагирующая с образованием преимущественно конденсированных продуктов реакции и удовлетворяющая достаточному и необходимому термодинамическому критерию детонационной способности. Изостатическое (а фактически гидростатическое) давление создавалось в предварительно спрессованном цилиндрическом образце диаметром 10мм и длиной 15мм через мелко дисперсный порошок SiO₂. Для проведения экспериментальных исследований применялась методика, позволяющая синхронно проводить измерения целого ряда физических параметров в процессе реакции, в частности электрического сопротивления образца в ходе горения, изостатического давления на образец, скорости горения и ЭДС, возникающей в процессе горения смеси Zn-S. Установка включает в себя реактор с токовводами, 8-канальный аналого-цифровой преобразователь А17У8 с программным обеспечением ZetLab, калиброванный датчик силы, позволяющий измерять нагрузку до 8кН, датчик перемещения, световоды, позволяющие измерять скорость прохождения волны горения. Все измеряемые электрические сигналы записывались на жесткий диск ПК, а последующая обработка и анализ проводилась с помощью ПО ZetLab.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс горения смеси Zn-S в условиях изостатического сжатия от 1 до 1000 атмосфер сопровождается изменением нагрузки на образец, которое фиксируется датчиком силы. Обнаружено, что в процессе горения происходит изменение сопротивления образца. Показано, что в процессе реакции синтеза ZnS возникает электрический сигнал (ЭДС), который имеет сложную форму (может быть импульсным или постоянным). Физический микро механизм этого процесса требует дальнейших исследований. В результате горения (или детонационного синтеза) стехиометрической смеси Zn-S получают кристаллы ZnS гексагональной или кубической модификаций, что подтверждается результатами рентгеноструктурного и химического анализа.

ВЛИЯНИЕ СНОСЯЩЕГО ПОТОКА НА ТРАЕКТОРИЮ ГАЗОВОГО ФАКЕЛА

Ю.В.Полежаев, Д.И.Ламден, О.Г.Стоник, Р.Л.Шигин

Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва

Существенной особенностью взаимодействия факела со сносящим потоком является и возникающая при большой разнице температур термодиффузия, а также турбулентный тепломассообмен на внешней границе факела, являющейся одновременно и фронтом горения. Известно, что если «холодная» струя расширяется с практически постоянным углом раскрытия, то горящий факел даже турбулентный, на значительной своей длине по форме ближе к цилиндрическому. Поэтому нельзя просто переносить закономерности, полученные для «холодных» струй, на горящие факелы. Это обстоятельство побудило провести специально поставленные опыты, в которых свободно горящие струи обдувались сносящим потоком воздуха. Основными объектами исследования, наряду со структурой и химсоставом собственно пламени, в разных сечениях факела, явились форма и траектория светящегося факела, определяющие глубину проникновения его в сносящий поток. Значение этих величин необходимы для проектирования камер сгорания, топков котлов и других газосжигающих устройств.

Проведенные опыты показали, что различие в траекториях холодных и горящих струй невелико $\sim 15\%$. Обработка экспериментальных данных осуществлялась в общепринятых безразмерных переменных с привлечением масштабных характеристик струи и сносящего потока. Как показали многочисленные эксперименты по определению глубины заброса струи, правильный выбор масштабных множителей может исключить необходимость детального рассмотрения изменения ее плотности. Было показано, что при малых величинах коэффициента вдува форма траектории от него не зависит.

ГОРЕНИЕ ТУРБУЛЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СТРУЙ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

В.П.Воротилин

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Теоретически без привлечения подгоночных констант и эмпирических корреляций решается задача высокотемпературного горения турбулентной струи горючего газа в окружающей среде окислителя - воздуха. Горение газов относится к классу химических реакций, протекающих с большими скоростями молекулярных реакций. Для них лимитирующей стадией процесса горения является подвод реагентов к зоне (поверхности) реакции. Поэтому основной проблемой при рассмотрении этих процессов в турбулентных средах является вопрос о механизме смешения реагентов. Ввиду неизбежных трудностей описания турбулентных течений, осложненных химическими реакциями и значительным тепловыделением, однозначного ответа на этот вопрос до сих пор не получено. В данной работе механизм смешения реагента струи и кислорода внешней среды описан на основе представлений о крупномасштабном захвате внешнего газа, происходящем на границе турбулентной струи. Тепловые потери струйного потока, связанные с эффектами излучения, учтены в рамках закона излучения Стефана-Больцмана. С целью представить и описать в наглядной форме различные физические эффекты, сопровождающие процесс горения, рассмотрен режим течения, при котором лимитирующей стадией смешения реагентов является захват реагента из внешней среды. Рассчитаны различные варианты горения с учетом многообразия исходных данных истечения струи и ее взаимодействия с внешней средой. В частности, дано объяснение парадоксальному факту возрастания длины факела горения с ростом числа Рейнольдса. Получено качественное согласие результатов расчета с имеющимися в литературе экспериментальными данными. В качестве примера расчетов на рис.1 приведена зависимость безразмерной длины факела горения струи от числа Рейнольдса струи в ее выходном сечении. Кривые с номером 1- водород; 2- метан. Сплошные кривые - расчет по уравнениям предлагаемой теории; пунктирные - экспериментальная зависимость из работы [1].

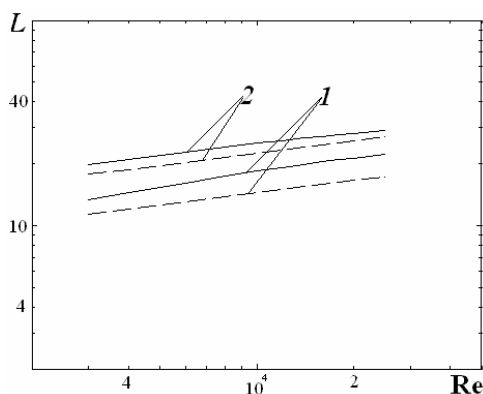


Рис.1.

Литература

1. Полежаев Ю.В., Воробьев Б.А., Коровин Г.К. Экспериментальное исследование длины свободного диффузионного факела горючих газов, разбавленных инертными газами // ИФЖ, 2010, т.83, №2, 298-303с.

Секция 4

Вычислительная и физическая механика

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИЙ ПЛАСТИН И ОБОЛОЧЕК ДЛЯ РАСЧЕТА СЛОИСТЫХ СТРУКТУР

¹С.К.Голушко, ²А.В.Юрченко

¹*Учреждение Российской Академии наук Конструкторско-технологический институт
вычислительной техники СО РАН, г. Новосибирск*

²*Учреждение Российской Академии наук Институт вычислительных технологий
СО РАН, г. Новосибирск*

Решение трехмерных задач теории упругости остается весьма затратным подходом к моделированию конструкций и их элементов, несмотря на существенный прорыв в области развития вычислительной техники. Особенно остро проблема проявляется при расчете многокомпонентных, например, многослойных конструкций, когда возникают множественные области контакта компонентов. Это приводит к существенному увеличению требований к используемым для расчетов вычислительным системам – как по производительности, так и по объемам оперативной и дисковой памяти. При расчете тонкостенных элементов конструкций достаточно эффективным способом снижения вычислительной ресурсоемкости задачи является применение уравнений теорий пластин и оболочек. Однако их использование ставит ряд не до конца разрешенных вопросов, связанных с границами применимости тех или иных вариантов теорий и особенностями постановок расчетных задач.

В работе рассматриваются вопросы применения классической и уточненных теорий пластин и оболочек к расчету слоистых тонкостенных элементов конструкций, на примере расчета круглых кольцевых пластин. Исследуется влияние вида нагружения и закрепления, механических характеристик материалов слоев и структурных параметров пластин на точность расчетов и некоторые аспекты создания адекватных двумерных моделей. Проводится сравнение результатов расчетов, получаемых с использованием различных вариантов теорий пластин, между собой и с решениями задач в трехмерной постановке, полученными методом конечных элементов в САЕ-системе ANSYS.

Полученные результаты будут интересны разработчикам оболочечных моделей элементов конструкций и двумерных (оболочечных) элементов для конечно-элементного анализа, а также инженерам, использующим их в прикладных расчетах.

ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ КОМПЬЮТЕРНОГО КОНСТРУИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.А.Бочкарева, Н.Ю.Гришаева, Б.А.Люкшин, П.А.Люкшин,
Н.Ю.Матолыгина, С.В.Панин, Ю.С.Струков

*Учреждение Российской академии наук Институт физики прочности
и материаловедения СО РАН, г. Томск, lba2008@yandex.ru*

Под прямыми задачами компьютерного конструирования материалов понимаются такие, в которых по заданным управляющим параметрам – деформационно-прочностным свойствам элементов структуры композиции, их геометрии и характеру взаимодействия – определяются эффективные характеристики. Под решением обратных задач понимается нахождение управляющих параметров, выводящих эффективные характеристики в заданный диапазон [1].

В работе реализован следующий подход к реализации обратной задачи. Путем решения ряда прямых задач определяется набор опорных точек, по которым строится с использованием полиномов Лагранжа непрерывная функция, отражающая зависимость эффективной характеристики от управляющих параметров. Эта функция проецируется на регулярную сетку для построения в пространстве состояний поверхности отклика эффективной характеристики на значения управляющих параметров и соответствующих изолиний. Искомые значения управляющих параметров находятся в пределах полосы, ограниченной двумя изолиниями, каждая из которых отвечает границе заданного диапазона эффективной характеристики. Когда речь идет об одновременном выводе двух или более эффективных характеристик в заданные диапазоны, то искомые значения управляющих параметров определяются пересечением полос.

Подход иллюстрируется примером создания композиции на полимерной основе, служащей покрытием триботехнического назначения. Эксплуатационными нагрузками для нее являются нормальная и касательная составляющие вектора напряжений на рабочей поверхности. Рассмотрены случаи приложения распределенной и локальной нагрузок. При решении задачи предполагается, что существует связь между деформационно-прочностными характеристиками материала и его триботехническими характеристиками. На первом уровне (макроуровне), когда материал покрытия принимается однородным, в расчетной области определяются зоны, где параметры напряжений и деформаций экстремальны. Эти значения определяют искомый диапазон необходимых эффективных деформационно-прочностных характеристик материала. На втором этапе и соответственно втором уровне реализуется обратная задача и определяется сочетание управляющих параметров, которые выводят свойства материала в этот диапазон. Показано, что изменение, например, уровня адгезионного взаимодействия армирующих включений и матрицы существенным образом меняет свойства композиции и искомую область значений управляющих параметров.

Литература

1. Б.А.Люкшин, С.В.Панин, С.А.Бочкарева, П.А.Люкшин, Н.Ю.Матолыгина, Ю.В.Осипов. Компьютерное конструирование наполненных полимерных композиций. (ISBN 978-5-86889-415-2). Томск, Изд-во ТУСУР, 2007, 250 с.

КОНТИНУАЛЬНЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ МОДЕЛИ В МЕХАНИКЕ СЕТЧАТЫХ КОМПОЗИТНЫХ ОБОЛОЧЕК

А.В.Азаров

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, г. Москва

В работе рассматриваются сетчатые композитные цилиндрические оболочки, состоящие из системы ребер, образованных из однонаправленного углепластика методом непрерывной намотки. Обладающие высокой степенью весового совершенства сетчатые композитные конструкции находят в настоящее время широкое применение в отечественных космических носителях и космических аппаратах.

При расчете и проектировании сетчатых конструкций в настоящее время используются два основных подхода - континуальный и дискретный. Континуальная модель предполагает, что ребра осредняются (размазываются) по поверхности оболочки, которая рассматривается при расчете как гладкая оболочка, обладающая некоторыми эффективными коэффициентами жесткости, зависящими от параметров сетчатой структуры (размеров сечений ребер, расстояний и углов между ребрами). Дискретная модель предполагает, что оболочка состоит из системы ребер, которые моделируются балочными элементами метода конечных элементов. В настоящее время континуальная модель используется, как правило, для проектирования сетчатых конструкций, а дискретная - для поверочного расчета. При этом возникает проблема сопоставления результатов, получаемых с помощью двух этих моделей.

В работе рассматриваются цилиндрические оболочки, проектные параметры которых найдены с помощью континуальной модели и не зависят от числа ребер (при таком подходе определяются только усредненные характеристики структуры). Спроектированные оболочки рассчитываются далее методом конечных элементов. При этом моделируются конструкции с одними и теми же средними характеристиками, но с различным числом ребер. Сопоставляются напряжения, деформации и критические нагрузки, полученные двумя методами для различного числа ребер. Устанавливается минимальное число ребер, для которого справедлива континуальная модель сетчатой конструкции.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА С НЕСТАЦИОНАРНО ПОДВИЖНЫМИ ГРАНИЦАМИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Е.Л.Кузнецова, В.Ф.Формалев

*Московский авиационный институт (Государственный технический университет),
г. Москва*

На основе предложенного закона разложения композиционных материалов (КМ) в условиях высокотемпературного нагрева разработаны математические модели и методы численного решения существенно нелинейных задач о тепловом состоянии КМ, учитывающих разложение (пиролиз) связующих с образованием газовой компоненты и пористого коксового остатка, неизотермической фильтрации и вдува в высокотемпературный пограничный слой пиролизных газов, унос массы с наружной границы КМ, нелинейность теплофизических характеристик (ТФХ) и др.

Основой математической модели является задача о теплопереносе в многослойной конструкции с наружным КМ, в котором возникают и продвигаются внутрь три нестационарно подвижные границы фазовых превращений: две границы начала и окончания разложения связующих и граница уноса массы.

Вся методология построения математической модели о тепловом состоянии КМ при высокотемпературном нагреве применима к большинству КМ (стекло-, угле-, абсопластиком). Получены и обсуждаются многочисленные результаты численных экспериментов, в том числе в многомерном по пространству случае.

УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ШАРА И ОРТОТРОПНОЙ ПЛАСТИНКИ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ ПРОДОЛЬНОЙ СИЛОЙ, ИЗГИБАЮЩИМ И КРУТЯЩИМ МОМЕНТАМИ

А.А.Локтев

Московская финансово-юридическая академия, г. Москва

Представляемая работа посвящена математическому моделированию ударного взаимодействия сферического ударника и ортотропной пластинки, обладающей криволинейной анизотропией в координатных осях r , θ и z и предварительно-напряженной продольной силой, изгибающим и крутящим моментом. Динамическое поведение мишени описывается волновыми уравнениями [1], учитывающими поперечный сдвиг и инерцию вращения поперечных сечений и позволяющими моделировать процесс распространения упругих волн после удара. После начала процесса соударения в пластинке распространяется пять волновых поверхностей: две продольные волны растяжения-сжатия, распространяющимся в направлениях r и θ , одна волна сдвига продольных сечений в плоскости $r\theta$, две поперечные волны сдвига в плоскостях rz , θz соответственно. Пластинка предполагается достаточно протяженной, отраженные от ее границ волны не успевают вернуться к контактной области за время взаимодействия. Местные деформации в области контакта учитываются с помощью квазистатической модели Герца, что обусловлено не высокими начальными скоростями удара.

Для решения поставленной задачи используется два подхода. Один для определения скоростей упругих волн – заключающийся в синтезе лучевого метода и метода сращивания асимптотических разложений, полученных для малых времен в зоне контакта и вне ее. При взаимодействии ударника с пластинкой, в последней образуется контактная область, и начинают распространяться упругие волны, представляющая собой поверхности сильного разрыва. За фронтами этих волн решения строятся в виде многочленных лучевых разложений, коэффициентами которого служат скачки производных по времени от искомым функций различных порядков. Второй подход состоит в записи определяющей системы уравнений в пространстве изображений, в котором для определения неизвестных перемещений точек мишени и нагрузки в зоне контакта применяются разложения искомым величин в ряды по полиномам Лежандра [2] с неизвестными коэффициентами. Для их определения используются ряды Лорана, записанные вблизи необходимой точки мишени.

После подстановки выражений для прогиба мишени в заданной точке и местного смятия в уравнение движения ударника после начала процесса взаимодействия с пластиной, получим нелинейное интегро-дифференциальное уравнение относительно контактной силы, которое можно решить, используя итерационную схему [2], реализованную на ЭВМ. Результаты решения функционального уравнения представляются в виде графических зависимостей контактной силы и динамического прогиба от времени для различных значений предварительных усилий.

Проведенные численные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- 1) Внешняя продольная сила практически не влияет на скорости продольных волн, связанных с перемещениями φ , ψ , и существенно влияет на скорости трех поперечных волн. При увеличении внешней сжимающей продольной силы наблюдается запираение волны, т.е. скорости поперечных волн уменьшаются до нуля. Если же увеличивать внешнюю растягивающую силу, то скорости волн растут, т.е. волны разгоняются до некоторого значения, определяемого параметрами материала

мишени. При увеличении абсолютного значения момента поперечные волны запираются, продольные волны практически не зависят от значения M_r . Внешний крутящий момент мало влияет на скорости поперечных волн, а на скорости продольных волн оказывает существенное влияние.

2) Наибольшее значение на контактную силу оказывает внешний крутящий момент, знак которого не влияет на значение силы взаимодействия. Внешний изгибающий момент оказывает существенное воздействие на прогиб, причем в зависимости от своего знака он может как уменьшить его, так и увеличить. В случае запираения поперечной волны максимальная контактная сила и динамический прогиб существенно возрастают, а время возникновения их максимума уменьшается.

Литература

1. Локтев А.А. Ударное взаимодействие твердого тела и упругой ортотропной пластинки // Механика композиционных материалов и конструкций, 2005 – т. 11 № 4. – С. 478-492.
2. Бирюков Д.Г., Кадомцев И.Г. Динамический упругопластический контакт ударника и сферической оболочки // Прикладная механика и техническая физика. – 2002. – Т.43. № 5. – С. 171-175.

МЕТОД ПОВЕРХНОСТНЫХ ФУНКЦИЙ ВЛИЯНИЯ В ЗАДАЧАХ НЕСТАЦИОНАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕХАНИКЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

А.Л.Медведский

*Московский авиационный институт (государственный технический университет),
г. Москва*

В докладе развит и обобщен метод поверхностных функций влияния для решения задач нестационарного взаимодействия структурно-неоднородных сред и систем. Показано, что использование данного метода приводит к снижению размерности решаемой задачи за счет формулировки граничных условий интегрального типа для одного из взаимодействующих тел.

Эффективность указанного подхода продемонстрирована на примере решения задач о дифракции нестационарных акустических и упругих волн на абсолютно твердых и деформируемых препятствиях, обладающих свойствами неоднородности и трансверсальной изотропности. С использованием разработанного подхода в плоской постановке также решена нестационарная контактная задача для гладкого абсолютно твердого ударника, ограниченного кривой с немонотонной кривизной, и упругого однородного изотропного полупространства.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта № 09-01-00731-а), а также Федерального агентства по образованию (Государственный контракт № П 2436 от 19.11.2009 г.).

Литература

1. Медведский А.Л. Метод поверхностных функций влияния в нестационарных задачах дифракции / А.Л.Медведский, Л.Н.Рабинский.- М.: Изд-во МАИ, 2008. - 256 с.
2. Медведский А.Л. Использование интегральных операторов в нестационарных задачах механики деформируемого твердого тела /А.Л.Медведский // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов. Нижний Новгород, 22 – 28 августа 2006. Т. 3. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, 2006. - С. 144.

МНОГОМАСШТАБНОЕ УСРЕДНЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ФИЛЬТРАЦИИ БРИНКМАНА

А.Н.Власов, Д.Б.Волков-Богородский

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

В работе развивается метод асимптотического усреднения для уравнений фильтрации Бринкмана, описывающих процесс течения вязкой жидкости в многоуровневых структурно-неоднородных пористых средах. Закон фильтрации Бринкмана является обобщением хорошо известного закона фильтрации Дарси, позволяющим адекватно описать течение при любом значении проницаемости пористой среды, от нулевой, соответствующей условию непротекания $\vec{V} = 0$, до бесконечной, соответствующей течению свободной жидкости по закону Стокса. Поэтому эти уравнения являются хорошим объектом для точного описания процесса фильтрации на всех уровнях, с учётом реальной геометрии фильтрующего слоя на микро-, мезо- и макроуровне. Каждому из этих уровней соответствует свой характерный размер (масштаб) l , λ и L , и предполагается, что этот масштаб определяет характерную вариативность функций (скоростей и давлений) на соответствующем уровне.

Метод асимптотического усреднения является вариантом метода многих масштабов, и позволяет построить полное асимптотическое разложение для давлений и скоростей в пористой гетерогенной среде по параметрам $\varepsilon = l/L$, $\delta = \lambda/L$, а также корректно определить материальные уравнения для давления и скоростей на каждом уровне. Уравнения, соответствующие макроуровню принято называть усредненными уравнениями; они, в частности, определяют тензор проницаемости фильтрующей среды. Поэтому метод асимптотического усреднения также можно рассматривать, как точную, математически обоснованную методику по определению эффективных характеристик сложно структурированных пористых сред.

Для определения всех составных частей асимптотического разложения требуется разрешить рекуррентную цепочку краевых задач для функций быстрых и медленных переменных, что является сложной задачей вычислительной математики. В работе развивается специальный аналитический подход к решению этих задач, именуемый блочным аналитико-численным методом. Этот метод основан на представлении решения через вспомогательные потенциалы, удовлетворяющие уравнению Гельмгольца и Лапласа, а также на аппроксимации решения в разных подобластях-блоках представительной ячейки специальными наборами функций, точно удовлетворяющих оператору задачи. Сшивка отдельных представлений осуществляется по границам блоков при помощи нескольких обобщений метода наименьших квадратов на многоблочные структуры. В результате получен однородный алгоритм, позволяющий с единых позиций и с высокой точностью построить решение краевых задач для функций быстрых и медленных переменных. Приводятся результаты численных экспериментов.

РЕШЕНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ СТРУКТУРНО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ УРАВНЕНИЮ ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Д.Б.Волков-Богородский

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

В работе развиваются аналитические методы решения краевых задач механики сплошных сред, основанные на аппроксимации решения специальными функциями, удовлетворяющими пространственному уравнению Гельмгольца, и как частный случай, уравнению Лапласа или Пуассона. Необходимость таких аппроксимаций возникает в разных областях механики, например, в теории асимптотического усреднения структурно-неоднородных сред, позволяющей математически строго сформулировать алгоритм определения эффективных характеристик композиционных материалов с регулярной и случайной структурой, а также с высокой точностью описать происходящие процессы на микроуровне. Другими примерами являются: моделирование теплофизических процессов в структурно-неоднородных средах, моделирование задач фильтрации в пористых средах, задачи волновой виброакустики, и моделирование композитных материалов с масштабными эффектами на основе градиентных моделей теории упругости.

В основе развиваемых методов лежит семейство специальных представлений, родственных представлению Гельмгольца из теории поля, позволяющих описать широкий спектр задач механики сплошной среды с единой позиции, с помощью векторных или скалярных потенциалов, удовлетворяющих уравнению Гельмгольца. В частности, такое описание автоматически распространяется и на несжимаемые среды, что снимает многие вычислительные проблемы. Также в основе метода лежит процедура квазиразделения переменных для уравнения Гельмгольца, позволяющая строить системы аппроксимирующих функций с необходимыми аналитическими свойствами, и несколько обобщений метода наименьших квадратов на многоблочные структуры (метод блоков), позволяющие эффективно совместно использовать при аппроксимации несколько разных систем аппроксимирующих функций, учитывающих структуру решения и его аналитические особенности.

Метод блоков позволяет разрешить сложную структуру решения с высокой степенью точности и с учетом его аналитических особенностей, однако при этом возникает блочная система линейных алгебраических уравнений, требующая больших вычислительных ресурсов для ее решения. Матрица системы уравнений комплексная, блочно-разреженная, с плотными блоками; актуальной задачей является разработка специальных параллельных алгоритмов для ее решения. В работе развиваются параллельные вычисления, которые эффективно используются при формировании и решении блочной системы линейных алгебраических уравнений. Приводятся численные результаты для модельных задач в периодических структурно-неоднородных и пористых средах для задач теплофизики, фильтрации, теории упругости и волновой виброакустики.

Литература

1. Волков-Богородский Д.Б. Разработка блочного аналитико-численного метода решения задач механики и акустики // Сборник трудов школы-семинара «Композиционные материалы». – М.: ИПРИМ РАН, 2000. – С. 44-56.

2. Волков-Богородский Д.Б. Применение аналитических расчетов на основе метода блоков в связанных задачах механики сплошных сред // Труды Всероссийской научно-практической конференции “Инженерные системы - 2008”, Москва, 7-11 апреля 2008. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – С. 123-138
3. Волков-Богородский Д.Б., Сушко Г.Б., Харченко С.А. Комбинированная MPI+threads параллельная реализация метода блоков для моделирования тепловых процессов в структурно-неоднородных средах // Вычислительные методы и программирование. – 2010. – Т.11. – С. 127-136.

О ПРИЛОЖЕНИИ МЕТОДА КВАЗИДИНАМИЧЕСКОГО УСТАНОВЛЕНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОБОЛОЧЕК

¹В.Г.Дмитриев, ²С.И.Жаворонок

¹*Московский государственный открытый университет, г. Москва*

²*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Исследуется нелинейное деформирование гибких композиционных анизотропных оболочек при больших прогибах на основе нового варианта метода квазидинамического установления. Рассматриваются слоистые, в общем случае дискретно-подкрепленные оболочки малой и средней поперечной толщины с вырезами при нелинейном термопластическом законе состояния материала и средних величинах перемещений. Модель оболочки учитывает деформации трансверсального сдвига и сжатия; в качестве частного случая рассмотрена модель Кирхгоффа. Нелинейное деформирование оболочки описывается кинематическими соотношениями среднего изгиба. Разрабатываются различные методы реализации численного решения нелинейной задачи, основанные на консервативных схемах конечно-элементной или конечно-разностной дискретизации исходной начально-краевой задачи для системы дифференциальных уравнений в частных производных. Осуществляется выбор вычислительного алгоритма в зависимости от особенностей рассматриваемой задачи. Показано, что одним из наиболее эффективных методов решения дискретных задач большой размерности является метод квазидинамического установления, основанный на соответствии решения уравнения установлению некоторого нестационарного процесса. Дискретизация исходной задачи на сетке с постоянным шагом приводит к итерационному процессу для функции дискретного аргумента, определенной на действительной полупрямой «временной» области. Значения итерационных параметров определяются требованиями сходимости итерационного процесса при минимуме арифметических операций для достижения заданной точности и связаны с оценкой наименьшего и наибольшего собственных значений матрицы.

При оптимальных значениях параметров метода стационарирования сходимость к решению исходной краевой задачи для дифференциальных уравнений в частных производных обеспечивается и при плохой обусловленности, характерной для задач теории оболочек. Одним из наиболее значимых преимуществ метода является отсутствие необходимости построения матрицы системы уравнений, что обеспечивает экономию ресурсов и существенно ускоряет решение задач высокой размерности. Квазидинамическая форма метода установления, таким образом, позволяет разработать оптимальные вычислительные алгоритмы для линейных и нелинейных уравнений гиперболического и эллиптического типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-07-00160-а) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г. (Государственный контракт № 16.740.11.0081 от 01.09.2010).

ГРАФЕН. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Е.А.Никитина, Ю.Г.Яновский, Ю.Н.Карнет, С.М.Никитин

*Учреждение российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

С момента своего открытия в 2004 году графен привлекает внимание многих исследователей. Достоверно установлено, что графен обладает рядом уникальных свойств, в частности высокой подвижностью зарядов (приблизительно в 100 раз выше, чем у кремния, и в 20 раз выше, чем у арсенида галлия, что с прикладной точки зрения означает возможность создания в будущем более совершенных электронных устройств на его основе), наименьшим среди всех проводников удельным сопротивлением, а также наибольшей теплопроводностью. Уникальные свойства графена определяются редким сочетанием линейных размеров и удельного веса этого углеродного наноматериала.

Настоящая работа посвящена рассмотрению механических свойств графена. Экспериментально деформационные характеристики графенового листка были определены с помощью атомно-силовой микроскопии. При этом измеренный коэффициент жесткости для графена составил 340 ± 50 Н/м, что отвечает модулю Юнга 1.0 ± 0.1 ТПа. Известные теоретические оценки деформационных характеристик графена в рамках как континуальных, так и атомистических моделей дают исключительно высокие рассчитанные значения модуля Юнга. Имеющийся некоторый разброс данных, на наш взгляд, связан с несовершенством используемых в теоретических подходах моделей и недостаточным размером используемых при расчетах кластеров. Важно также учитывать структуру листка графена, которая может быть как идеально кристаллической, так и содержать различные дефекты.

С использованием квантово-механического подхода авторами проведено моделирование деформации и разрушения графена при его одноосной деформации, которая рассматривалась в рамках подхода микроскопической координаты деформации. Характеристики деформации (модули Юнга, коэффициенты жесткости) рассчитывали с использованием макроскопических соотношений линейной теории упругости. В работе оценивали влияние размерного фактора различных мод нагружения, дефектность структуры и модификации поверхности на механические характеристики листка графена.

В ходе проведенных вычислений установлено, что размерный эффект влияет на рассчитанные деформационные характеристики графенового листка, однако при некоторых размерах модели (начиная с 15×15 А) рассчитанные деформационные характеристики не изменяются и их значения приближаются к известным экспериментальным данным. Было установлено, что отклики структуры и электронных свойств графенового листа асимметричны по отношению к двум нормальным модам растяжения, что, по всей видимости, является следствием асимметричного растяжения изолированного бензольного кольца. Исследование механизма деформации и разрушения графеновых кластеров с различными видами дефектов показало, что в этом случае разрыв связей происходит в непосредственной близости от дефектов и сопровождается уменьшением значений всех деформационных характеристик.

Стендовые доклады

НАНОДИСПЕРСНЫЙ МИНЕРАЛ ШУНГИТ КАК НОВЫЙ УСИЛИВАЮЩИЙ НАПОЛНИТЕЛЬ ДЛЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

О.В.Бойко, Ю.Г.Яновский, Ю.В.Корнев, О.Б.Юмашев, С.В.Николаева

*Учреждение Российской академии наук Институт Прикладной Механики РАН
г. Москва, yurikornev@iam-ras.ru*

В настоящее время одним из направлений развития нанотехнологий является разработка полимерных/эластомерных композитов с наполнителями из наноматериалов, обладающих повышенными модулями, прочностью, деформируемостью, сниженной воспламеняемостью и др. Данные наполнители являются усиливающими и вносят наибольший вклад в формирование эксплуатационных и конструкционных свойств композитов за счёт значительного увеличения площади контакта эластомерной матрицы с их поверхностью [1].

Целью предлагаемой работы является получение из минерала шунгит активного наполнителя (частиц наноразмеров) для создания эластомерных композитов с высокими эксплуатационными характеристиками.

В качестве исходного продукта был взят минерал шунгит в виде порошка фракции до 5 мкм и удельной поверхностью 20 м²/г, предоставленный ООО “Карбон-Шунгит Трейд”. Для увеличения удельной поверхности шунгита, а, следовательно, и его усиливающей активности в эластомерных композитах, исходную фракцию подвергали измельчению по специально разработанной в ИПРИМ РАН методике (заявка на патент 2010122454). Распределение частиц по размерам для наношунгита составило до 100 нм с пиками в 25 и 70 нм. Полученный нанодисперсный минерал шунгит вводился в эластомерные матрицы на основе сополимера бутадиена и стирола в сравнении с исходной фракцией (микродисперсной, до 5 мкм) в равных массовых соотношениях.

Для оценки структуры полученных композитов на наноуровне были сняты изображения на электронном микроскопе в режиме композиционного контраста, также были исследованы упруго-гистерезисные свойства с применением измерительного комплекса NanoTest 600 [2]. Для образца с нанодисперсным шунгитом получены большие значения приведённого модуля, твёрдости, относительного гистерезиса, чем для образца, наполненного исходным шунгитом. Существенно меньший разброс практически всех полученных показателей при наноиндентировании для образца, наполненного нанодисперсным шунгитом, говорит о большей его однородности, а, следовательно, о более равномерном диспергировании нанодисперсного шунгита в эластомерной матрице в сравнении с исходной микродисперсной фракцией. Это также подтверждается данными электронной микроскопии и результатами обработки данных атомно-силовой микроскопии.

Макромеханические характеристики эластомерных композитов определялись на разрывной машине UTS-10. Для образцов, наполненных нанодисперсным шунгитом, отмечается существенное увеличение модулей во всём диапазоне деформаций (до разрушения материала) а также существенное (до трёх раз) увеличение прочности эластомерного композита в сравнении с образцом, наполненным исходным шунгитом. Абсолютное значение прочности эластомерных композитов, наполненных нанодисперсным шунгитом с частицами наноразмеров составляет 15 МПа, что ранее являлось недостижимым для эластомеров с шунгитом в качестве основного наполнителя.

Таким образом, разработан и предложен метод измельчения минерала шунгита в лабораторных условиях, позволяющий довести размер частиц до наноуровня и

повысить его активность в полимерном композиционном материале по отношению к эластомерной матрице, что позволяет получать композиты с комплексами высоких механических свойств.

Специфической особенностью нанодисперсного шунгита является его способность обеспечивать высокие прочностные показатели резин в широком диапазоне степеней наполнения, что даёт возможность регулировать упругие и гистерезисные свойства материалов при сохранении их прочности.

Литература

1. Козлов Г.В., Яновский Ю.Г., Карнет Ю.Н. “Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных композитов: фрактальный анализ”, - Москва Альянстрансатом, 2008, 363 с.
2. Яновский Ю.Г., Валиев Х.Х., Корнев Ю.В., Карнет Ю.Н., Бойко О.В., Косичкина К.П., Юмашев О.Б. “Роль масштабного фактора при изучении механических свойств композиционных материалов с нанонаполнителями”, Ж. Механика композиционных материалов и конструкций, Москва 2010 г, том 16, № 2, с. 291 – 304.

НЕРЕЗОНАНСНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОГЛОЩЕНИЯ ЗВУКА В МИКРОПУЗЫРЬКОВОЙ ВОДОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

Б.В. Бошнятов, В.В. Попов

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва, bosbosh@mail.ru, jPopov@inbox.ru*

Приведены результаты измерений скорости и коэффициента поглощения звука в микропузырьковой водовоздушной среде при частотах много меньших собственных частот радиальных колебаний пузырьков и повышенных объемных газосодержаниях. Условия проведения экспериментов: диаметры пузырьков 20 - 120 микрон, объемное газосодержание 0,5 - 4 %, частоты звуковых волн 0,5 - 2 кГц.

Показано, что измеренные значения скорости звука хорошо согласуются с экспериментальными данными других авторов и с расчетом по формуле Бетчеллора [1], однако значения коэффициента поглощения существенно превышают теоретические оценки, сделанные на основе известных теоретических моделей [2-4].

Литература

1. Bosheniatov B.V., Popov V.V. // Fluid Mechanics – Soviet Research. - Vol. 19. - №2, March - April, 1990. – Pp.112-117.
2. Silberman E. // J. Acoustic Soc. Am. – 1957. - V. 29. – Pp.925-933.
3. Гаврилов Л.Р.// Физические основы ультразвуковой технологии. – М: Наука, 1970. С. 393-426.
4. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред, ч.1, 2 – М.: Наука, 1987.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЕРХЗВУКОВОГО ГОРЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ ВОДЫ И КЕРОСИНА

¹А.А.Быков, ²В.Ю.Великодный, ³В.Г.Гришин, ³В.В.Попов, ²Б.Н.Толкунов

¹Московский физико-технический институт, г. Москва

²Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва

³Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН, г. Москва

Известно, что даже небольшие добавки паров воды оказывают промотирующее влияние на протекание цепных реакций углеводородных топлив. Известно также, что добавки воды в виде эмульсий не снижают мощности двигателей внутреннего сгорания (до определенных пределов), реактивных и прямоточных воздушно реактивных двигателей. В работе исследуется влияние добавок воды в керосин в виде эмульсии на процессы горения в сверхзвуковом потоке. Создана установка для сжигания топлив в стационарном режиме течения при сверхзвуковом потоке со временем не менее 10 сек. Параллельно создана установка для создания эмульсий воды и керосина. Так как устойчивую эмульсию на длительное время нам пока не удалось получить, то процесс идет в непрерывном режиме. Созданная эмульсия и сразу подается на модель прямоточного двигателя. Поджиг осуществляется оригинальной конструкцией форсунки – плазмотрона.

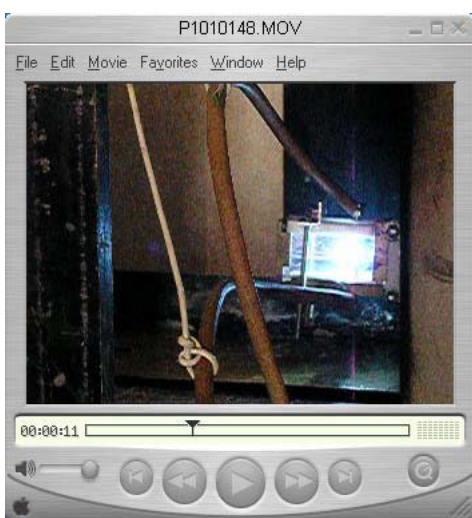


Рис.1. Работа установки в режиме без подачи топлива

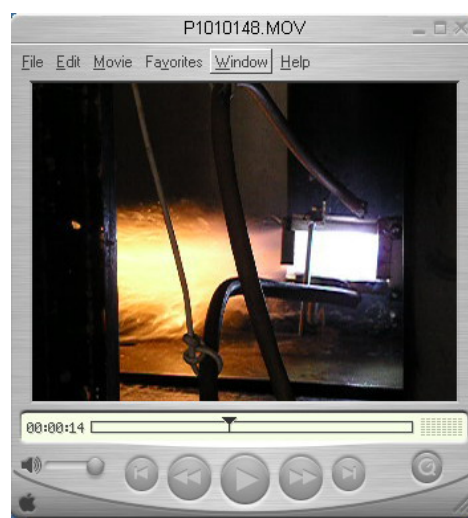


Рис.2. Работа установки с подачей эмульгированного керосина

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ЭФФЕКТОВ В УДАРНЫХ ВОЛНАХ В ПУЗЫРЬКОВЫХ ЖИДКОСТЯХ ПРИ ВЫСОКИХ ГАЗОСОДЕРЖАНИЯХ

¹А.А.Быков, ²В.Ю.Великодный

¹*Московский физико-технический институт, г. Москва*

²*Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва*

Исследование характеристик течения в ударных волнах (УВ) в газожидкостных потоках, при высоких объемных газосодержаниях, является актуальной задачей, как в фундаментальном, так и в прикладном плане. Особенный интерес представляет исследование таких характеристик, как тензор напряжений, температура и тепловой поток во фронте ударной волны (УВ), ширина фронта. Именно эти характеристики существенным образом влияют на скорость протекания гетерогенных реакций. Следует отметить, что характерным параметром, характеризующим ширину фронта при высоких газосодержаниях, является средний диаметр пузырька, а не длина свободного пробега. Неравновесные процессы в УВ сильно увеличивают межфазный обмен за счет увеличения площади раздела фаз при дроблении пузырьков и насыщения жидкости растворенными молекулами газа из-за развитых пульсаций скорости потока. В данной работе получены аналитические зависимости тензора напряжений, температуры и теплового потока по толщине УВ при газосодержаниях потока вплоть до 98%, а также представлены результаты экспериментальных исследований толщины фронта и процессов дробления в различных режимах.

Известно, что в пузырьковой жидкости при газосодержании от 10% до 90% скорость звука в 10-15 раз меньше, чем в газе [1], и составляет 23-40 метров в секунду для смеси воды и воздуха при атмосферном давлении. Поэтому технически возможно получать сверхзвуковые газожидкостные течения при скорости потока выше 30 м/сек. Структура УВ в пузырьковой жидкости описывается на основе «двухжидкостной» модели [2], в которой каждая фаза делится на две составляющие, одна из которых обладает параметрами потока до УВ, другая параметрами после. Аналитическое решение данной задачи приведено в работе [2]. Используя [2] возможно получить аналитические зависимости для тензора напряжений, температуры в пузырьках, теплового потока. Численные расчеты показывают, что величины тензора напряжений во фронте ударной волны могут достигать значительных величин. Показано также, что основным механизмом, определяющим дробление пузырьков во фронте УВ, является наличие значительных касательных напряжений вдоль поверхности пузырьков. Введено понятие числа Вебера для описания процессов дробления пузырьков во фронте ударной волны за счет эффектов поступательной неравновесности (анизотропии тензора давления).

Литература

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. (том.1). М.: Наука. 1987. 459 с.
2. Бушманов Е.А., Великодный В.Ю., Воротилин В.П., Еремеев А.В., Тимофеев И.Б., Яновский Ю.Г., Д. Ван Ви. Теоретическое и экспериментальное исследование структуры ударной волны в микропористых жидкостях// III Международный симпозиум. Термохимические процессы в плазменной аэродинамике. Санкт-Петербург. 28-31. июля. 2003 г. с. 286-296. (Труды конференции).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА В ПУЗЫРЬКОВОЙ ЖИДКОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСТВОРЕННЫЕ В ЖИДКОСТИ ВЕЩЕСТВА

¹А.А.Быков, ²В.Ю.Великодный, ³В.Г.Гришин, ¹А.И.Крикунова, ³В.В.Попов,
²Б.Н.Толкунов

¹*Московский физико-технический институт, г. Москва*

²*Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва*

³*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН, г. Москва*

Исследование особенностей электрического разряда и устойчивости течения в пузырьковой жидкости при газосодержании от 30% до 99% является актуальной научно – технической задачей. Следует отметить, что реализация устойчивого течения в пузырьковом режиме при таких газосодержаниях является также нетривиальной задачей в фундаментальном и прикладном аспектах. Обычно [1,2], при объемных газосодержаниях выше 30% пузырьковый режим течения переходит в поршневой и далее в пленочный. При этом резко снижается поверхность контакта газ – жидкость. Известно [3], что разряд в такой среде горит на поверхности раздела газ – жидкость и переход течения в поршневой и пленочный режим резко снижает эффективность работы плазменного реактора.

Для данных исследований была спроектирована и собрана экспериментальная установка, которая позволяет создавать устойчивые пузырьковые течения при высоком газосодержании (вплоть до 99%), и реализовать объемный электрический разряд при этих величинах газосодержаний. Особенностью установки является то, что размер получаемых пузырьков составляет 0,5-2 мм. При этом характерные размеры канала, в котором течет газожидкостный поток, и электродов составляют сантиметры, то есть к полученной газожидкостной среде можно подходить как к «сплошной» среде.

При исследовании разряда снимались вольт-амперные характеристики при различных газосодержаниях. Первой особенностью является то, что напряжение пробоя в данной среде меньше напряжения пробоя в газовой фазе в 19-20 раз, и при этом очень слабо зависит от газосодержания (при объемном газосодержании выше 30%). Во вторых, вольт-амперные характеристики являются подобными при разных величинах газосодержания в указанном выше диапазоне. После пробоя напряжение зависит от тока линейно. Затем напряжение достигает некоторой величины насыщения, при котором ток начинает расти экспоненциально при повышении напряжения.

Пузырьковые жидкости при высоких газосодержаниях и небольших диаметрах пузырьков обладают большой поверхностью раздела фаз газ - жидкость, из-за чего в таких средах реализовываются значительные скорости межфазного обмена. Отсюда можно предположить, что при наличии плазмы в паровой подушке на поверхности раздела газ – жидкость в жидкость будет поступать значительное количество радикалов, которые будут эффективно вступать в реакцию с растворенными в жидкости веществами. В данных исследованиях был использован водный раствор ацетона и фенола. Концентрация растворенных углеводов в жидкости контролировалась методом химического поглощения кислорода (ХПК). Раствор обрабатывался в плазменном реакторе в нескольких сериях опытов. Для барботирования жидкости использовался воздух. В результате обработки раствора ХПК был уменьшен с 36000 до 3900.

Литература

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. (том.І). М.: Наука. 1987. 459 с.
2. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. (том.ІІ). М.: Наука. 1987. 352 с.
3. Великодный В.Ю., Беркова М.Д., Воротилин В.П., Гришин В.Г., Крыченко О.В., Попов В.В., Полотнюк О.Я., Рычагов Е.Н., Быков А.А., Добрынец Ю.В., Толкунов Б.Н. Плазменные технологии очистки сточных вод. // Прикладная физика. 2008. №6. С. 105-110.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛИ ГПВРД НА ИМПУЛЬСНОЙ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ГИПЕРЗВУКОВОЙ ТРУБЕ

¹ И.Ю.Васильев, ¹ Ю.К.Левин, ² И.В.Берлов, ² Е.С.Прядко

¹ Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва,

² Федеральное государственное унитарное предприятие «ЦИАМ им. П.И. Баранова»
г. Москва

Достижения в области построения гиперзвуковых летательных аппаратов (ГЛА) напрямую связаны с решением фундаментальных проблем турбулентного и сверхзвукового горения. Ранее было показано [1], что жидкий энергоноситель (например, керосин) не воспламеняется без принудительного поджига даже при температуре набегающего потока $T=1700-1900\text{K}$. Это можно использовать для достижения больших гиперзвуковых скоростей (защитив поверхность ГЛА от экстремальных термических воздействий массоподводом жидкого реагента к головной части ГЛА, обтекаемой гиперзвуковым воздушным потоком), и повышения эффективности силовой установки ГЛА (исключив отрыв погранслоя на обтекаемых поверхностях массоподводом жидкого реагента перед входом воздухозаборника).

В аэродинамической гиперзвуковой трубе кратковременного действия (при температуре торможения до 750K и давлении торможения до 20МПа) с использованием теневого прибора Теплера проведена скоростная киносъемка (5000 кадров/с) процессов обтекания модели носовой части ГПВРД, а также процесса горения твердого топлива в ГПВРД малообъемного ЛА которая, в совокупности с ранее полученными результатами [2], наглядно проявила динамику структурной трансформации потока при его взаимодействии с носовой частью осесимметричной модели и позволили определить оптимальные параметры процесса устойчивого горения твердого топлива в условиях гиперзвукового обтекания.

Литература

1. И.Ю.Васильев, Н.Н.Захаров, А.Г. Прудников. Интеграция физических процессов в элементах силовых установок высокоскоростных летательных аппаратов. «Механика и наномеханика структурно-сложных и гетерогенных сред. Успехи, проблемы, перспективы», Тезисы докладов Всероссийской конференции, приуроченной к 20-летию ИПРИМ РАН. Москва, 30 ноября 2009г, с.45.
2. И.Ю. Васильев, Н.Н. Захаров, А.В. Полянских, А.Г. Прудников, Е.С. Прядко Исследование теплогазоаэродинамических процессов, происходящих при полетах высокоскоростных летательных аппаратов в импульсной гиперзвуковой аэродинамической трубе. «Механика и наномеханика структурно-сложных и гетерогенных сред. Успехи, проблемы, перспективы», Труды Всероссийской конференции, приуроченной к 20-летию ИПРИМ РАН. Москва, 30 ноября – 2 декабря 2009 г – М.:Альянстрансатом, 2010, с161-166

СНИЖЕНИЕ ЛОБОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОЛОВНЫХ ЧАСТЕЙ СВЕРХЗВУКОВЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

И.Ю.Васильев, Н.Н.Захаров, А.Н.Кутузова

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва,*

*Федеральное государственное унитарное предприятие
«ЦИАМ им. П.И. Баранова», г. Москва*

Уменьшению сопротивления тел вращения за счет воздействия на аэродинамическую структуру его обтекания посвящено много работ. В принципе все воздействия делятся на две группы. К первой можно отнести геометрические воздействия, такие как создание внешних обводов с минимальным сопротивлением или оснащение тела устройствами, уменьшающими сопротивление, типа выступающей вперед иглы, задних юбок и т. д. Вторая группа воздействий связана с влиянием на сопротивление теплообмена вблизи внешних поверхностей тела.

Если процессы тепло- и массообмена, а также охлаждения элементов поверхности летательных аппаратов, в том числе головок самонаведения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, интегрированных с силовой установкой, достаточно хорошо изучены, то процессы уменьшения лобового сопротивления требуют дальнейшего исследования.

Для ПВРД, располагаемых на снарядах, важным является также вопрос организации рабочего тела (РТ). Одним из способов создания РТ может явиться впрыск горючего через переднюю иглу, с тем, чтобы на расстоянии от места впрыска до задней части летательного аппарата, где расположены поверхности сжатия – расширения, произошло смешение горючего с воздухом и частичное или полное испарение горючего. Подготовка топлива переключается, таким образом, на внешние поверхности до входа в канал ПВРД. При этом игла с теплообменником выполняет также функцию снижения лобового сопротивления тела.

В предлагаемой работе представлены результаты экспериментального исследования сопротивления головной части беспилотного летательного аппарата, основанные на принципе интеграции физических процессов, происходящих в высокоскоростных летательных аппаратах. Эксперименты проводились в импульсной аэродинамической трубе при числе Маха на срезе сопла $M = 4$, температуре торможения воздуха в форкамере $T^* = 300\text{K}$, давлении торможения $P^* = 90 - 140 \text{ кг/см}^2$, угле атаки $\alpha = 0$ и продолжительности рабочего режима примерно 250 мсек.

Модели, имитирующие головную часть малообъемного летательного аппарата, состояли из сферически затупленного цилиндра диаметром 50 мм и набора секционных сменных игл. В каждой секции игл имелись отверстия, через которые по нормали к поверхности иглы подавался керосин. Установлено, что такой метод подачи керосина позволяет уменьшить коэффициент сопротивления головной части модели практически в 2 раза.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ВОДНЫХ НАНОАССОЦИАТОВ И ПЛАЗМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РЕКОМБИНАЦИЯ ИОНОВ ВОДОРОДА

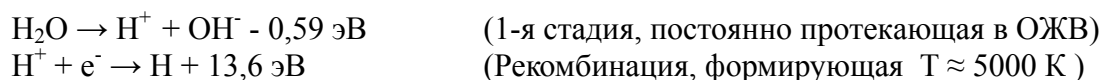
В.Ю.Великодный, В.Г.Гришин, В.В.Попов

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Общеизвестны свойства жидкой воды (ЖВ), которые не укладываются в рамки представлений о жидкофазном состоянии вещества [1]. Наиболее существенные из них в настоящее время связываются с проявлением кооперативно организованного строения ЖВ. Одно из первых теоретических исследований «структуры воды» связано с именами Бернала и Фаулера [2]. Около ста лет проблему строения ЖВ решают учёные мира, и к настоящему времени установлено: 1) ЖВ, являясь открытой термодинамически неравновесной системой, самоорганизуется под воздействием внешней среды; поверхностная жидкая вода (ПЖВ) существенно отличается от объёмной жидкой воды (ОЖВ) [3]. 2) ОЖВ — это наногетерогенная система, состоящая из двух фаз: свободной и связанной; свободная фаза представляет собой молекулы H_2O с «естественными» и искусственными примесями, а связанная фаза — ассоциаты молекул H_2O в виде структур льда V1 и льда V11 размером в среднем до 50 нм; содержание этих ассоциатов в ОЖВ не превышает 0,03% объёмных [4].

Учитывая эти данные, авторам удалось существенно продвинуться в теоретической интерпретации результатов своих гидродинамических исследований:

1. Геометрические параметры формирующихся пузырьков в ОЖВ коррелируют с наличием ассоциатов, испытывающих фазовый переход при нарушении межфазового равновесия, проявляющийся в изменении светорассеяния, коэффициента преломления, поверхностного натяжения.
2. На поверхности кавитационных и других быстро образующихся и пульсирующих пузырьков в жидкости возникают выступы, отростки и другие «шероховатости», характерные для твердых тел, размеры которых изменяются с большой скоростью. Вблизи кавитационного пузырька образуются кольцевые или радиальные кумулятивные струи масштабом порядка диаметра пузырька.
3. Организована ударно-волновая кавитация водопроводной воды (ОЖВ с солями жёсткости и растворённым воздухом), переводящая ОЖВ в новое стабильное состояние (аттрактор): перевод молекул H_2O из «связанной фазы» в «свободную фазу». Исследование акустического спектра колебаний, генерируемых кавитатором, позволило разработать способ резонансного режима его работы с повышенным тепловыделением.
4. Разработана плазменно-электрохимическая технология кавитации однонормального водного раствора NaOH, также обеспечивающая эффективную трансформацию наноассоциатов водного растворителя. Плазмообразующей реакцией рассматриваемого процесса является рекомбинация ионов водорода, также имеющая экзотермический результат:



При повышении температуры ЖВ от 273 К до 373 К произведение концентраций $[H^+][OH^-]$ (рН воды) увеличивается в 518 раз, что в значительной степени обусловлено наногетерогенностью строения объёмной жидкой воды.

Литература

1. Вода: структура, состояние, сольватация. Достижения посл. лет/ Под ред. академика РАН А.М.Кутепова.- М.,Наука,2003.- 404с.
2. Бернал Дж., Фаулер Р./ Успехи физических наук. 1934. Т.14. С.586-644.
3. Рассадкин Ю.П. Вода обыкновенная и необыкновенная.- М.: «Галерея СТО»,2008.- 840с.
4. Вода – космическое явление: кооперативные свойства и биологическая активность / Под ред. академика РАМН Ю.А. Рахманина ,Кондратова В.К.- М.: РАЕН,2002.- 506 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СЕРОВОДОРОДА - ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ЭНЕРГОРЕСУРСА ЧЕРНОГО МОРЯ

В.П.Воротилин, С.И.Кошоридзе, Ю.К.Левин, О.Я.Полотнюк

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва, iam-ras@mail.ru*

Сероводород, растворенный в водах Черного моря, представляет интерес как потенциальный источник водорода – экологически чистого топлива.

В настоящей работе на основе решения уравнений турбулентной диффузии получены простые аналитические формулы, позволяющие вычислить распределение концентрации сероводорода по глубине моря с учетом его генерации и поглощения в объеме воды, неплохо совпадающее с экспериментом, что подтверждает адекватность построенной математической модели.

Кроме того, приводится выражение для нахождения расположения границы между кислородосодержащей и анаэробной частями Черного моря в зависимости от концентраций кислорода на поверхности и сероводорода на дне.

Проведены также количественные оценки экологических рисков, связанных как с добычей сероводорода, так и техногенных и природных катаклизмов.

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО КОМБИНИРОВАННОГО СОСУДА ДАВЛЕНИЯ

К.С.Голушко

*Учреждение Российской Академии наук Институт вычислительных технологий
СО РАН, г. Новосибирск*

Тонкостенные оболочки являются важнейшими элементами многих современных конструкций. Ведущую роль они занимают в авиационной и ракетно–космической технике, судо– и автомобилестроении, энергетическом и химическом машиностроении, жилищном и промышленном строительстве. Оболочки широко используются в качестве корпусов и днищ различного рода сосудов, резервуаров и емкостей для хранения жидких, газообразных и сыпучих продуктов, в конструкциях перекрытий и защитных ограждений.

Современная инженерная практика предъявляет высокие требования к конструкциям и материалам, из которых они изготавливаются. Традиционные однородные материалы не всегда и не вполне отвечают этим требованиям. Поэтому проявляется высокий интерес к неоднородным, многофазным, т.е. композиционным материалам (КМ), которые характеризуются уникальным разнообразием и сочетанием важных физико-химических и механических свойств. Конструкции из КМ легкие, с высокой удельной прочностью, устойчивы к коррозии и старению. Все это значительно облегчает их изготовление, транспортировку, монтаж, эксплуатацию и ремонт.

Рассматривается задача изгиба комбинированного сосуда давления, изготовленного из волокнистого композиционного материала, образованного сопряжением цилиндрической оболочки с полусферическими днищами. Сосуд давления жестко защемлен и находится под действием постоянного внутреннего давления. Исследовано влияние выбора структурных моделей композиционного материала, параметров армирования и механических характеристик композиционного материала на расчетные значения напряженно-деформированного состояния сосуда давления.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПАТОЛОГИИ

А.Н.Данилин, Н.А.Семенов, А.Д.Шалашилин, Ю.Г.Яновский, О.Б.Юмашев
В.И.Карандин, А.Г.Рожков

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
3-й Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневецкого, г. Москва*

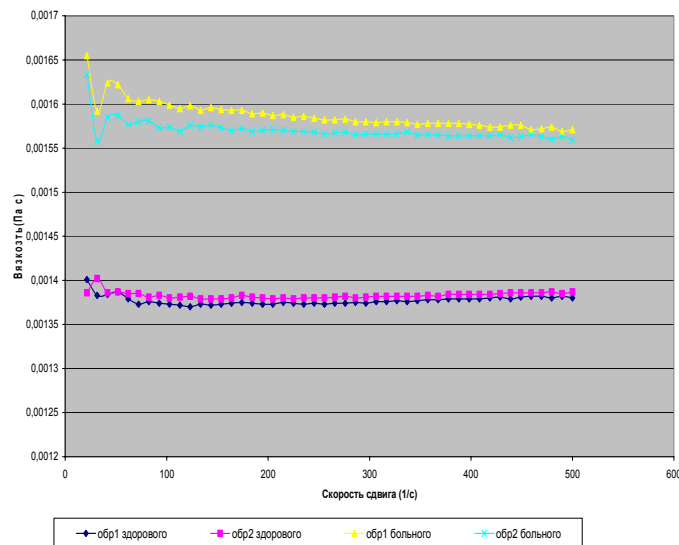
В работе исследованы реологические свойства крови и лимфы в норме и патологии с целью разработки методов оценки как состояния больного, так и эффективности лимфогенных процедур, включая целевую сорбцию эндотоксинов с помощью магнитоуправляемых нано- и микроразмерных частиц адсорбентов.

Установлена связь объема молекул средней массы (МСМ) с реологическими показателями биологических жидкостей. Существенная особенность МСМ заключается в их отчетливо выраженной высокой биологической активности. Накопление МСМ не только является маркером эндоинтоксикации, в дальнейшем они усугубляют течение патологического процесса, приобретая роль вторичных токсинов, оказывая влияние на жизнедеятельность всех систем и органов.

Исследование реологических свойств биологических жидкостей проводилось на реометре RheoStress® RS 150 производства фирмы "НААКЕ GmbH" (Германия, г. Карлсруэ, год выпуска 1999).

Исследованы зависимости вязкости венозной и артериальной крови, а также лимфы от скорости сдвига для пациентов до лечения и после их выздоровления. Выполнены также сравнительные исследования вязкости крови и лимфы пациентов, а также объема молекул средней массы в различные периоды развития болезни.

В качестве примера на рисунке показаны зависимости вязкости лимфы от скорости сдвига для двух человек. Пара верхних кривых соответствуют больным людям (на момент поступления в клинику). Пара нижних кривых отвечают тем же людям после излечения в клинических условиях использованием лимфогенных процедур.



Измерения вязкости лимфы в зависимости от скорости сдвига для двух пациентов до и после их лечения лимфогенными методами

ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИИ В НЕЛИНЕЙНЫХ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ СРЕДАХ

В.И. Ерофеев

*Нижегородский филиал Учреждения Российской Академии наук Института
машиноведения им. А.А. Благодирова РАН,
г. Нижний Новгород, erf04@sinn.ru*

Осуществлен переход от систем нелинейных уравнений, описывающих динамику двухкомпонентной твердой сдвиговой смеси и динамику твердого пористого материала, к эволюционным уравнениям. Показано, что эволюционные уравнения представляют собой систему четырех нелинейных уравнений в частных производных, два из которых являются комплексно-сопряженными уравнениями Шредингера, а два – уравнениями Кортевега-де Вриза.

Исследовано нелинейное взаимодействие квазигармонических продольных волн, распространяющихся в двухкомпонентной твердой сдвиговой смеси и в твердой среде с полостями. Показано, что в результате взаимодействия низкочастотной волны (вибрационное поле) и высокочастотной волны (ультразвук) генерируется ультразвуковая волна суммарной частоты. Эта волна может находиться в фазово-групповом синхронизме с вибрационным полем. Расчеты качественно соответствуют данным о наблюдении генерации ультразвука сейсмическими воздействиями.

Рассчитана зависимость параметра упругой нелинейности материала от его пористости, позволяющая объяснить наблюдаемые экспериментально anomalно большие значения параметра нелинейности пористых и трещиноватых геологических пород.

Изучено распространение нелинейных стационарных волн продольной деформации в двухкомпонентной твердой сдвиговой смеси, твердом пористом материале и среде Био, содержащей полости, заполненные жидкостью. Установлено, что в этих средах могут существовать, как периодические, так и уединенные волны конечной амплитуды (солитоны), распространяющиеся без изменения своей формы. Исследовано влияние пористости на амплитуду, длину периодической волны и ширину солитона.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ОБОЛОЧЕК С ГЕРМЕТИЧНЫМИ ВНУТРЕННИМИ СЛОЯМИ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

В.Н.Зайцев

*Московский авиационный институт (государственный технический университет),
г. Москва*

Исследуется напряженно-деформированное состояние цилиндрической композиционной слоистой оболочки с внутренним герметизирующим слоем. Рассматриваются два варианта композиционного пакета: структура типа «тетра» и трехслойная структура. Оболочка подвержена действию внутреннего давления и низкой температуры криогенного уровня со стороны жидкости, заполняющей объем оболочки, а также приложенной в осевом направлении инерционной нагрузки, переменной во времени.

Решение статической задачи анизотропной термоупругости строится численно методом конечных элементов. Определяется напряженно-деформированное состояние композиционного пакета оболочки. Проводится сравнение весовых характеристик оболочки типа «тетра» и трехслойной оболочки при равной прочности. Особо рассматривается задача потери устойчивости внутренним металлическим герметизирующим тонким слоем при преобладающем низкотемпературном воздействии.

Исследуются частоты стационарных свободных колебаний оболочки с жидкостью при внешнем силовом воздействии, а также отклик на действие непериодической продольной нагрузки. Рассматривается импульсное силовое воздействие. Проведена оценка напряженного состояния оболочки при переходном процессе, проводится сравнение весовых характеристик структуры типа «тетра» и трехслойного пакета при равной прочности в условиях динамического нагружения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г. (Государственный контракт № 02.740.11.0504 от 16.03.2010).

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ, СЛУЧАЙНЫХ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ДВУХФАЗНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ И ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ КОМПОЗИТАХ МАТРИЧНОГО ТИПА

А.В.Зайцев, В.С.Кокшаров, Ю.В.Соколкин

Пермский государственный технический университет, г. Пермь

Стохастический характер структуры композитов обусловлен не только случайностью формы, взаимного расположения и ориентации, но и разбросом характерных размеров частиц армирующего наполнителя. В работах [1, 2] предложен новый метод аналитического построения условных и безусловных многоточечных моментных функций случайной структуры однонаправленно армированных волокнистых и дисперсно-упрочненных композитов матричного типа (определяются центральными моментами соответствующих порядков случайного индикатора, принимающего два значения 1 или 0 в зависимости от того, принадлежит точка фазе армирующего наполнителя или матрице соответственно), который позволяет записать выражения для этих функций в виде рядов с конечным числом членов. Если внутри фрагмента неоднородного материала можно выделить области, в пределах которых структурные напряжения и деформации будут постоянны, то после обобщения [3] разработанный метод может быть применен и для построения моментных функций этих случайных полей.

При построении приближенных решений стохастически нелинейных краевых задач (например, полного корреляционного приближения), которые возникают при прогнозировании эффективных деформационных свойств и определении статистических характеристик случайных полей напряжений и деформаций в компонентах композитов используются различные гипотезы о характере многочастичного взаимодействия в ансамбле включений и аппроксимации моментных функций структурных модулей упругости второго, третьего, четвертого и пятого порядков. Производные этих функций в точках, соответствующих нулевым значениям аргументов, могут рассматриваться в качестве одного из возможных условий для верификации и отбраковки существующих и разрабатываемых моделей. В рамках полидисперсных моделей механики композитов для неоднородных материалов с круглыми в поперечном сечении волокнами и сферическими частицами произвольного диаметра, окруженными слоем матрицы ненулевой толщины, получены точные соотношения для производных условных и безусловных корреляционных функций случайных полей напряжений и деформаций, сформулированы и доказаны теоремы об общих свойствах этих полей, о знаке производных и о локальной изотропии полей для случаев, когда включения и волокна имеют одинаковый и произвольный диаметры. На основе анализа полученных соотношений сделан вывод о том, что искомые производные отрицательны, причем знак не зависит от объемного наполнения и направления, в котором ведется построение моментных функций, а их величина обратно пропорциональна суммарному периметру (площади) межфазных границ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант РФФИ–Урал № 07–01–96056).

Литература

1. Зайцев А.В. Моментные функции второго порядка случайной структуры однонаправленно армированных волокнистых композитов // Вестник УГТУ–УПИ.

Механика микронеоднородных материалов и разрушение. – 2006. – № 12. – С. 63–69.

2. Зайцев А.В., Покатаев Я.К. Новый метод построения моментных функций второго порядка случайной структуры полимербетонов // Вестник ПГТУ. Математ. моделирование систем и процессов. – 2007. – Вып. 15. – С. 28–45.
3. Зайцев А.В., Кокшаров В.С., Петрова К.А. Производные моментных функций второго порядка случайных полей напряжений и деформаций в однонаправлено армированных и дисперсно-упрочненных композитах // Неравновесные процессы в сплошных средах (НПСС–2009): Материалы Всероссийск. конф. молодых ученых. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2009. – С. 103–106.

УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА: МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ, ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ, УТОЧНЕННЫЙ ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ

А.В.Зайцев, Н.Г.Злобин, ¹О.Ю.Исаев, ¹Д.В.Смирнов, А.М.Ханов

Пермский государственный технический университет, г. Пермь

¹ООО «Новомет – Силур», г. Пермь

Терморасширенный графит (ТРГ) — уникальный материал, который вне зависимости от условий эксплуатации (повышенные температуры, термоциклирование, время контакта с агрессивными средами) обладает высокой термо-химической стойкостью, низким коэффициентом трения, высокими упругими свойствами. Уплотнительные кольца (УК) из ТРГ и их пакеты очень надежны, не требуют дополнительной герметизации при эксплуатации, работают при температурах до 560°C и давлениях до 40,0 МПа в кранах с уплотнениями по штоку [1]. В настоящее время происходит интенсивное внедрение УК из ТРГ на предприятиях и промышленных объектах аэрокосмического, металлургического, нефтегазового и химического комплексов, предприятиях энергетики и ЖКХ.

Традиционные способы обработки УК из ТРГ (на натуральных конструкциях и опытных образцах) неоправданны вследствие высокого риска возникновения аварий, сопровождающихся серьезным экологическим и экономическим ущербом. Поэтому большое значение приобретают методы математического моделирования, с помощью которых можно описывать поведение при эксплуатации, проектировать новые УК и их пакеты, оптимально соответствующие условиям нагружения конкретного узла. Разработана модель начального режима работы изготавливаемых крупносерийными партиями и используемых в кранах с уплотнениями по штоку УК из ТРГ, которая позволила получить новые численные решения краевых задач для отдельных колец и их пакетов методом конечных элементов [2, 3]. Проведена оценка начальной прочности по совокупности критериев с учетом различных механизмов разрушения (потеря несущей способности от растяжения и сжатия в радиальном, окружном и осевом направлениях, от продольного и поперечного сдвига); исследованы закономерности распределения независимых инвариантов тензора напряжений в точках поперечных сечений УК, входящих в пакет, при различных температурах и давлениях рабочей среды, различной толщине и количестве УК в сальниковой камере, различных режимах возвратно-поступательного (движение в сторону нажимной втулки и в противоположном направлении) и вращательного движения штока, а также различных условиях на поверхностях контакта (трение, идеальное сопряжение или скольжение). Полученные из вычислительных экспериментов данные о местах расположения областей, в которых начинается разрушение ТРГ по различным механизмам, согласуются с результатами, наблюдаемыми при эксплуатации УК. Определены оптимальные давления герметизации, обоснованы рекомендации по внесению изменений в существующие конструкции пакетов УК, разработаны основы для создания методик уточненного прочностного анализа.

Литература

1. Модифицированные уплотнения из терморасширенного графита / М.Ю.Белова, И.А.Малкова, Т.М.Кузинова, А.С.Колышкин, О.Ю.Исаев // Арматуростроение. – 2006. – № 3. – С. 67–71.

2. Зайцев А.В., Злобин Н.Г. Моделирование эксплуатации уплотнительных элементов из наноструктурированного терморасширенного графита // Проблемы механики: теория, эксперимент и новые технологии: Тр. VII Всероссийск. конф. молодых ученых. Новосибирск: Сибирское научн. изд-во, 2009. С. 80–82.
3. Термомеханическая модель эксплуатации пакетов уплотнительных элементов из терморасширенного графита / А.В.Зайцев, Н.Г.Злобин, О.Ю.Исаев, Д.В.Смирнов // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2009: Материалы XII Всероссийск. науч.-техн. конф. Пермь: ПГТУ, 2009. С. 327–329.

АГРЕГАЦИЯ ЧАСТИЦ НАНОПОЛНИТЕЛЯ И ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ ДИСПЕРСНО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

¹ Г.В.Козлов, ²Н.Ж.Султонов, ³Ю.Г.Яновский, ⁴А.К.Микитаев

¹Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик

²Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова, г. Москва

³ Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва

⁴Закрытое акционерное общество "МАКПОЛИМЕР", г. Москва

Изменения структуры аморфно-кристаллического полимера, реализуемые при введении дисперсного нанополнителя, приводят к снижению доли указанной структуры, в которой протекает пластическая деформация. Этот эффект определяет слабое и непропорциональное модулю упругости повышение предела текучести для этого класса полимерных нанокompозитов. Предсказано резкое повышение предела текучести при подавлении агрегации частиц нанополнителя.

Процесс текучести, основной характеристикой которого служит предел текучести δ_T , является предметом большого внимания со стороны ученых, занимающихся проблемами физики полимерных материалов [1]. Такое внимание обусловлено тем обстоятельством, что для пластичных полимерных материалов напряжение δ_T является верхней границей интервала их эксплуатации по напряжению. Как известно [2] существует точка зрения, предполагающая пропорциональность δ_T модулю упругости E . Однако, как было показано в более поздних работах [3, 4], пропорциональность наблюдается не всегда. В дисперсно-наполненных нанокompозитах с аморфной стеклообразной матрицей, где структура указанной матрицы неизменна и идентична структуре матричного полимера, такая пропорциональность δ_T и E действительно выполняется [3]. Однако в случае дисперсно-наполненных микрокомпозитов, в которых структура полимерной матрицы изменяется при вариации содержания наполнителя, указанная пропорциональность отсутствует [4]. Это наблюдение объясняется известным фундаментальным положением: в силу термодинамической неравновесности структуры полимеров вообще и полимерной матрицы композитов, в частности, для физически корректного описания любого их свойства требуется, как минимум, два параметра порядка [5]. Для полимерных нанокompозитов, наполненных карбонатом кальция, в общем случае пропорциональности δ_T и E не наблюдается: так, для нанокompозитов полипропилен/карбонат кальция увеличение содержания нанополнителя от 0 до 40 масс.% приводит к росту модуля упругости в 1,5 раза, тогда как величина δ_T повышается всего на 10% [6].

Цель настоящей работы – исследование структурных основ изменения предела текучести на примере нанокompозитов полиэтилен низкой плотности/карбонат кальция.

Литература

1. Нарисова И. Прочность полимерных материалов. М.: Химия, 1987, 400 с.
2. Brown N. // Mater. Sci. Eng., 1971, v. 8, № 1, p. 69-73.
3. Микитаев.А.К., Козлов Г.В., Заиков Г.Е. Полимерные нанокompозиты: многообразие структурных форм и приложений. М.: Наука, 2009, 278 с.
4. Козлов Г.В., Яновский Ю.Г., Карнет Ю.Н. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных композитов: фрактальный анализ. М.: Альянстраснатом, 2008, 363 с.

5. Козлов Г.В., Овчаренко Е.Н., Микитаев А.К. Структура аморфного состояния полимеров. М.: Изд-во РХТУ им. Менделеева, 2009, 392 с.
6. Yang K., Yang Q., Li G., Sun Y.S., Fend D. // Mater. Lett, 2006, v. 60, № 7, p. 805-809.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА КОМПЛЕКС СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю.В.Корнев, Ю.Г.Яновский, С.М.Никитин, О.В.Бойко, М.А.Гусева, С.В.Николаева

*Учреждение Российской академии наук Институт Прикладной Механики РАН,
г. Москва, yurikornev@iam-ras.ru*

Одним из направлений развития нанотехнологий является разработка и изучение полимерных/эластомерных композитов с наполнителями из наноматериалов (как правило - наночастиц), обладающих повышенными модулями, прочностью, деформируемостью, сниженной воспламеняемостью и др. Основная особенность действия наноматериалов в композитах – это значительное увеличение площади контакта полимерной/эластомерной матрицы с их поверхностью, вследствие чего достигается максимальный эффект упрочнения [1, 2]. Действие наночастиц на основе углерода, кремния, оксидов металлов в композитах достаточно хорошо известно [1, 2]. Однако, относительно введения нанотрубок и нановолокон в полимерные и эластомерные композиты нет единого мнения [3, 4], особенно, учитывая многообразие строения и состава полимеров и методов получения и состава нанотрубок. При этом, углеродные нанотрубки являются перспективными объектами, позволяющими создавать материалы с принципиально новыми свойствами [2]. Нанотрубки в среднем обладают большей, чем у наночастиц, внешней удельной поверхностью ($350 - 500 \text{ м}^2/\text{г}$) и, при относительно высокой стоимости, пока, как правило, рассматриваются в качестве добавки в композиты порядка 0,01 – 10 % по массе [2].

Учитывая всё выше сказанное, в настоящей работе поставлена задача исследования влияния углеродных нанотрубок на комплекс свойств эластомерных материалов на основе матрицы из сополимера бутадиена и стирола.

В качестве исходных образцов были выбраны углеродные нанотрубки, синтезированные методом CVD в ИПРИМ РАН с применением катализаторов Fe/Al₂O₃ и Co/Al₂O₃ (длина более 2 мкм, средний наружный диаметр 20 нм). Электронные микрофотографии нанотрубок в режиме композиционного контраста показывают на наличие в них включений другой фазы. Диаметр включений порядка 20 нм, предположительно это остатки катализатора, которые находятся в вершинах нанотрубок.

Углеродные нанотрубки полученные на катализаторах Fe/Al₂O₃ и Co/Al₂O₃, вводились в эластомерную матрицу на основе сополимера бутадиена и стирола в количестве 0,3 % по массе. Оценка свойств приготовленных эластомерных композитов проводилась в сравнении с ненаполненной матрицей.

Полученные механические характеристики для эластомерных композитов наполненных углеродными нанотрубками показывают увеличение модулей во всём диапазоне нагрузок, а также существенное увеличение прочности, в сравнении с исходной матрицей.

При этом, влияние на механические свойства оказывает и тип катализатора. Присутствие остатков катализаторов (металлов переменной валентности) в структуре нанотрубок может приводить к изменениям в структуре вулканизационной сетки данных образцов, что подтверждается различными значениями $\text{tg } \delta$ в оптимуме вулканизации. При введении нанотрубок в эластомерные материалы, также отмечается снижение относительного гистерезиса, что особенно интересно в сочетании с увеличением удельной работы деформации на разрушение, модулей и прочности полученных композитов в сравнении с исходной матрицей.

Таким образом, введение небольших количеств углеродных нанотрубок (0,3 % масс.), полученных методом CVD, в эластомерные матрицы на основе сополимера бутадиена и стирола позволяет существенно улучшить комплекс конструкционных и эксплуатационных свойств данных материалов. При этом, важную роль играет химический состав катализатора, на котором получены углеродные нанотрубки.

Литература

1. Козлов Г. В., Яновский Ю. Г., Карнет Ю. Н. “Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных композитов: фрактальный анализ”, - Москва Альянстрансатом, 2008, 363 с.
2. Микитаев А. К., Козлов Г. В., Заиков Г. Е. “Полимерные композиты: многообразие структурных форм и приложений”, - М.: Наука, 2009. – 278 с.
3. Shokrieh M. M., Rafiee R. “A review of the mechanical properties of isolated carbon nanotubes and carbon nanotube composites” – Mechanics of composite materials – 2010 – Vol. 46, p. 229 – 252.
4. Bokobza L., Rahmani M. “Carbon nanotubes: exceptional reinforcing fillers for silicone rubbers”, – Kautsch. und Gummi. Kunstst., 2009, №3, p. 112 – 117.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА АЭРО- И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

К.Ю.Левин

*Учреждение Российской Академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

При выявлении закономерностей сложных временных процессов в гидро- и аэродинамике известны подходы, основанные на трансформации полученной информации в частотную область, где указанные закономерности приобретают более рельефный характер. Однако эта процедура, особенно для области низких частот, требует определенной подготовки, занимает достаточно продолжительное время и трудоемка. С целью сделать такой анализ общедоступным и оперативным разработана методика автоматического анализа сложных временных процессов в частотной области. Известные решения указанной задачи представляются в виде обособленных приборов на базе высокоскоростных вычислительных комплексов на базе встраиваемых систем с операционными системами Windows Embedded. Цены на оборудование такого класса, представленное на 8 международной выставке электроники СИР-EXPO 2010, начинаются с 700000 руб.

Разработанный в ходе построения методики программно-аппаратный комплекс частотного анализа состоит из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), подключающегося по интерфейсу USB и ПК. Программное обеспечение создано при помощи MATLAB и может работать как на операционных системах семейства Windows (в виде стандартного EXE-файла), так и на Linux-подобных (в виде JAVA-приложения).

Графический интерфейс пользователя представлен на рис.1, а результат обработки данных – на Рис.2.

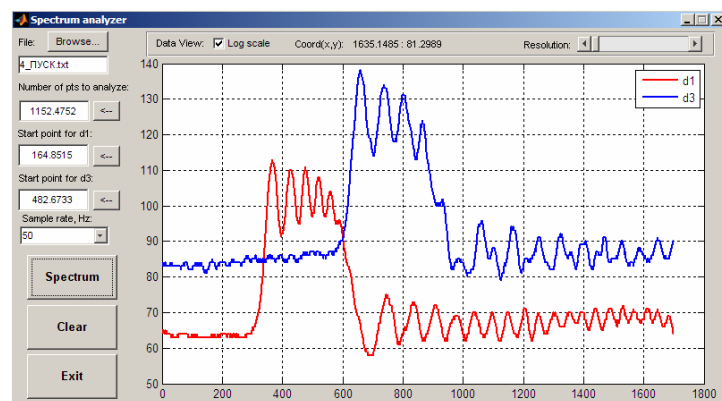


Рис.1. Графический пользовательский интерфейс частотного анализатора

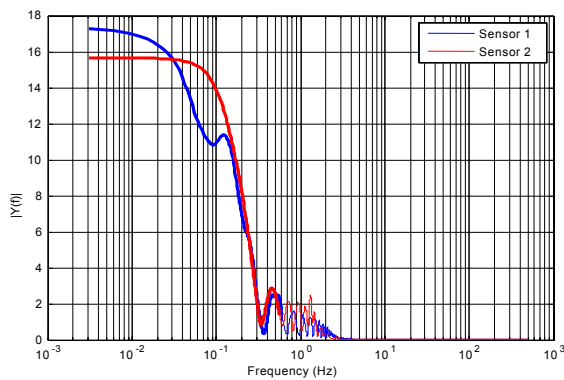


Рис. 2. Спектры сигналов со входа (Sensor1) и выхода (Sensor2)

Следует отметить, что разработанное оборудование и методики и программное обеспечение были успешно внедрены при выполнении НИР «Редукция-133-ИПРИМ».

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТОЛБЧАТОГО КЕРАМИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ГТД С УЧЕТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИЛ

А.Р.Лепешкин, П.А.Ваганов

*ФГУП “Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова”,
г. Москва*

Для обеспечения работоспособности высокоэффективных авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и установок (ГТУ) новых поколений необходимо создание новых жаропрочных материалов, а также улучшение защиты деталей высокотемпературного тракта ГТД с помощью теплозащитных и жаростойких покрытий. В последние годы активизировались работы по внедрению керамических теплозащитных покрытий (ТЗП) на деталях высокотемпературного газового тракта ГТД. Наиболее эффективная защита материала детали от теплового потока с помощью ТЗП происходит в случае использования керамических покрытий на основе диоксида циркония ZrO_2 . Однако весьма проблематичны вопросы долговечности, поскольку сопротивление разрушению этих покрытий при растяжении очень низкое, а в условиях эксплуатации в покрытиях возникают напряжения от воздействия центробежных сил и знакопеременные термические напряжения при термоциклическом нагружении.

Эффективность теплозащиты покрытий и их долговечность зависит не только от теплофизических свойств, химического состава, но и от технологии нанесения покрытия. Среди множества технологий нанесения покрытий лучшую теплозащиту при высоком сопротивлении термомеханической усталости обеспечивает электронно-лучевой метод. С помощью указанного метода образуется керамическое покрытие столбчатой структуры на поверхности металлического подслоя (промежуточного жаростойкого покрытия) рабочей лопатки турбины ГТД.

В данной работе проводились расчетные исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) столбчатого керамического покрытия лопатки ГТД с учетом того, что в условиях эксплуатации материалы лопатки и керамического ТЗП нагружены центробежными силами. Деформация подслоя под действием центробежных сил совместно с температурной деформацией сопровождается увеличением расстояния между ножками столбчатого покрытия, сросшаяся поверхность которого при этом растрескивается на блоки и одиночные столбики. Под действием центробежных сил ножки волокон (столбиков) покрытия подвергаются изгибу. Низкая прочность керамики при растяжении ($\sigma_B \leq 50-150$ МПа) приводит к разрушению покрытия. Поэтому расчет максимально допустимой толщины “столбчатого” ТЗП должен проводиться с учетом температуры эксплуатации и центробежных нагрузок, а также конфигурации столбиков ТЗП.

На основе проведенных расчетов НДС с учетом конусности столбиков получены распределения напряжений по высоте одиночных столбиков и столбиков, находящихся в блоках, керамического покрытия при воздействии центробежных сил. При расчете НДС столбиков в блоках использовалась гипотеза плоско-параллельного движения. При нанесении тонкого металлического слоя на поверхности керамического покрытия изгибные напряжения в основании столбиков снижаются.

РАСЧЕТ СМЕЩЕНИЙ В СТЕРЖНЕ ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ, КОНТРОЛИРУЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЕМ ВЕЛИЧИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

И.В.Мишустин

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Управление фазовым состоянием и деформациями элементов конструкций и образцов из сплавов с памятью формы (СПФ) с небольшими площадями поперечных сечений удобно осуществлять путем изменения силы пропускаемого электрического тока. Этот метод используется как в практических приложениях, так и при экспериментальных исследованиях термомеханического поведения образцов из СПФ. Увеличивая силу тока, можно повышать температуру СПФ, активизировать обратное термоупругое фазовое превращение и вызывать явление памяти формы. Изменяя силу тока, можно регулировать скорость охлаждения нагретого образца за счет теплообмена с окружающей средой, и тем самым воздействовать на процесс прямого фазового превращения и накопления соответствующих деформаций. В результате в материале осуществляется связанный электротермомеханический процесс, при котором все четыре явления – процесс деформирования, фазовый переход, изменение температуры и прохождение электрического тока влияют друг на друга и не могут анализироваться независимо или последовательно. Это объясняется зависимостью электрического сопротивления СПФ от его фазового состава, который в свою очередь зависит от температуры, действующих напряжений и возникающих деформаций, а также выделением или поглощением больших количеств латентного тепла и диссипативными явлениями при фазовых переходах.

В рамках нелинейной модели деформирования СПФ рассмотрена задача о прямом и обратном мартенситных превращениях в стержне из СПФ, через который проходит электрический ток, при постоянной нагрузке. Допускается, что теплообмен и передача электрической энергии могут происходить только через торцы, и по пространственным координатам задача сводится к одномерной. В связанное уравнение энергетического баланса СПФ, учитывающее влияние источников энергии немеханического происхождения, подставлены выражение потенциала Гиббса двухфазного тела, определяющие соотношения для скоростей изменения нетермоупругих деформаций и зависимость объемной доли мартенситной фазы от температуры и механического напряжения. В результате описание задачи сводится к уравнению теплопроводности с постоянным коэффициентом теплопроводности и эффективной теплоемкостью, являющейся сложной функцией температуры. В это уравнение входит скорость притока к единице объема тела энергии немеханического происхождения, выражающаяся через силу тока и удельное электрическое сопротивление, для которого принята упрощенная линейная зависимость от температуры и объемной доли мартенситной фазы.

Полученное уравнение теплопроводности при известной зависимости силы тока от времени решается численно с помощью встроенной функции математического пакета. Для случая заданного электрического напряжения был выбран итерационный путь решения. На первом шаге итераций сила тока вычислялась приближенно по сопротивлению образца в начальный момент и текущему электрическому напряжению. Эта функция подставлялась в уравнение теплопроводности, находилось его численное решение, по нему путем интегрирования по длине стержня вычислялось полное электрическое сопротивление образца в отдельные моменты времени и, согласно

закону Ома, скорректированная зависимость силы тока от времени, которая использовалась на следующем шаге итераций.

Описанная задача решена численно для консольного стержня из равноатомного никелида титана, находящегося в состоянии однородного растяжения, с одинаковой начальной температурой во всех точках. Численно установлена сходимость решения. Получены зависимости удлинения стержня от времени при разных нагрузках и режимах изменения электрического напряжения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКОСТИ, ОСЛАБЛЕННОЙ БЕСКОНЕЧНОЙ РЕШЁТКОЙ ОТВЕРСТИЙ, ОТ ПАРАМЕТРОВ РЕШЁТКИ

В.В.Мокряков

*Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, mokr@ipmnet.ru,*

Сейчас всё более широкое применение получают материалы, содержащие наноструктуры пор – так называемые "сверхрешетки" (периодические системы отверстий, пор или каналов). Характерный диаметр полостей варьируется от нанометрового масштаба (цеолиты) до сотен нанометров (фотонные кристаллы, пористый кремний). Расстояние между полостями при этом, как правило, сравнимо с диаметром полостей.

Такие материалы с точки зрения механики описываются задачей теории упругости о пространстве, ослабленном трёхмерной периодической системой полостей. В двумерном случае - задачей о плоскости, ослабленной двояко-периодической системой отверстий. Известно, что подобные структуры могут обладать ярко выраженной анизотропией свойств, в том числе и упругих, а эффективные упругие характеристики решетки могут существенно отличаться от упругих характеристик матрицы.

В докладе представлены результаты исследования эффективных податливостей и эффективного коэффициента Пуассона для упругой плоскости с квадратной двояко-периодической системой круговых отверстий.

Продемонстрирована анизотропия эффективных упругих характеристик. Выделено три области значения соотношения d/R (расстояния между отверстиями к радиусу отверстий), в которых этот характер существенно различается. В области $d/R \geq 10$ анизотропия почти не проявляется (хотя эффективные упругие характеристики уже могут заметно отличаться от характеристик матрицы). При $0.5 \leq d/R \leq 10$ анизотропия носит выраженный синусоидальный характер. При $d/R \leq 0.5$ синусоидальный характер нарушается, появляются локальные экстремумы при ориентациях решётки, отличных от продольной (0°) и диагональной (45°).

Исследована разница между эффективной продольной податливостью и продольной податливостью матрицы, выявлен степенной характер зависимости этой разницы от соотношения d/R .

Продемонстрировано снижение влияния коэффициента Пуассона матрицы на эффективный коэффициент Пуассона: при уменьшении расстояния между отверстиями ν_{eff} в подавляющей степени определяется выбранной ориентацией решётки. Также обнаружен широкий диапазон ориентаций решётки, в котором $\nu_{\text{eff}} > 0.5$.

Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ 08-01-00696.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО УДАРА ПО ТЕРМОПОКРЫТИЮ

В.Е.Панин, П.А.Люкшин, Б.А.Люкшин, Н.Ю.Матолыгина, С.В.Панин

Учреждение Российской академии наук Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, г. Томск

Работа посвящена моделированию и анализу напряженно-деформированного состояния (НДС), возникающего в термобарьерном покрытии (ТБП) при тепловом ударе. ТБП представляют особый класс объектов, которые должны обеспечивать защиту подложки от воздействия высокой температуры, обладать высокой адгезией, жаропрочностью и жаростойкостью, а также – применительно, например, к лопаткам турбин – сохранять аэродинамические характеристики изделия в условиях многократного циклического приложения термомеханических нагрузок.

Комплекс решаемых задач включает в себя 1) анализ распределения температуры в теплофизически неоднородном покрытии; 2) расчет параметров напряженно-деформированного состояния системы покрытие-подложка, связанного с тепловыми нагрузками; 3) оценка возможности потери устойчивости покрытием. Постановка последней задачи связана с тем, что известен экспериментально обнаруженный эффект локальных отслоений покрытия от подложки при температурных воздействиях.

Две первые задачи решаются с использованием метода конечных элементов, последняя – с использованием метода конечных разностей.

Проведены параметрические исследования, в которых получены зависимости распределения температурных полей в системе покрытие-подложка в зависимости от значений физико-механических характеристик составляющих систему материалов и от геометрии объекта. Показано, что введение промежуточного слоя между покрытием и подложкой может уменьшить скачки температуры на контактных границах.

Анализ параметров НДС приводит к выводу, что в ТБП возможно возникновение значительных сжимающих напряжений за счет отличий в теплофизических характеристиках материалов покрытия и подложки. Сами по себе сжимающие напряжения не могут являться причиной разрушения. Однако относительно небольшая толщина покрытия приводит к тому, что в нем при сжатии могут возникнуть явления, связанные с потерей устойчивости.

Такой анализ проводится на основе представления ТБП тонкой сжатой пластиной, лежащей на упругом основании Винклера. Проведенные параметрические исследования показывают зависимость параметров, характеризующих потерю устойчивости пластины, от ее толщины и упругих свойств подложки. Эти результаты качественно согласуются с экспериментально наблюдаемыми явлениями локального отслоения ТБП.

ТОЧНЫЕ ОЦЕНКИ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ В ДИФFUЗИОННОЙ ЗАДАЧЕ

Э.М.Подгаецкий

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Рассматривается во времени t одномерная диффузия адсорбированного на межфазной границе $x=0$ вещества (адсорбата) с начальной поверхностной концентрацией Γ_0 в объёмную фазу при нелинейной изотерме равновесной адсорбции $c|_{x=0} = f(\Gamma)$ (c, Γ – безразмерные объёмная и поверхностная концентрации адсорбата $f(\Gamma) \geq 0, 0 \leq \Gamma \leq \Gamma_0$). Для случая, когда объёмная фаза представлена бесконечной полосой шириной $h/2$ ($0 \leq x \leq 1/2$) и с изолированным краем $x=1/2$ ($(\frac{\partial c}{\partial x})_{x=1/2} = 0$), исходная система уравнений сводится к двум нелинейным интегральным уравнениям, имеющим общее положительное непрерывное решение $\Gamma(t) > 0, t \geq 0$. В предположении существования такого решения и монотонности функций $\Gamma(t)$ и $f(\Gamma)$ ($\frac{d\Gamma}{dt} \leq 0, \frac{df}{d\Gamma} > 0$) получена точная нижняя оценка решения $\Gamma(t) \geq \theta_0(t)$, удовлетворяющая неравенству $\frac{d\theta_0}{dt} < 0$ и краевым условиям $\theta_0|_{t=0} = \Gamma_0$ и $\lim_{t \rightarrow \infty} \theta_0 = \Gamma_e$, где Γ_e находится из простого уравнения

$$\Gamma_0 = \Gamma_e + \frac{\alpha}{2} f(\Gamma_e)$$

и является равновесным при $t = \infty$ стационарным значением поверхностной концентрации Γ , а параметр $\alpha \sim h$.

Используя в качестве исходных оценки $0 < \theta_0 \leq \Gamma \leq \theta_1 \equiv \Gamma_0$, сформулирована последовательность функций $\{\theta_n\}, n=0,1,\dots$

$$\theta_{2k} = \max\{\theta_{2(k-1)}, A[\theta_{2k-1}]\}$$

$$\theta_{2k+1} = \min\{\theta_{2k-1}, A[\theta_{2k}]\}, k = 1,2,\dots$$

$$A[\Gamma] \equiv \Gamma_0 W - \int_0^t W'(t-\tau) \Gamma d\tau - \int_0^t V(t-\tau) f(\Gamma) d\tau$$

где $W(t) > 0, V(t) > 0, W' \equiv \frac{dW}{dt} > 0$ – непрерывные при $t > 0$ функции. Доказываются неравенства

$$\theta_{2i} \leq \Gamma(t) \leq \theta_{2j+1}, i, j = 0,1,\dots,$$

а в дополнительном ограничении (условие Липшица для функции $f(\Gamma)$ при $\Gamma \in [0, \Gamma_0]$) также и сходимость последовательности $\{\theta_n\}$ к $\Gamma(t)$ при $n \rightarrow \infty$.

О ТУРБУЛЕНТНЫХ СТРУЯХ И ФИЗИКЕ СТРУЙНО-ФАКЕЛЬНОГО ГОРЕНИЯ ГАЗОВ

Ю.В.Полежаев, О.Г.Стоник, Р.Т.Салахадинов

Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва

На основании обобщения результатов, опубликованных в литературе и собственных экспериментов, выявлен целый ряд признаков, общих для всех турбулентных струй, так и принципиально отличающих факел от классической (изотермической) струи.

Факел образуется при воспламенении топливной струи в воздушной атмосфере. В отличие от истечения изотермической струи факел представляет собой весьма удобный объект наблюдения, поскольку он ярко светится и легко фиксируется на обычной фотопленке.

Холодное ядро факела как бы заключено в высокотемпературную оболочку из продуктов реакции топлива с кислородом воздуха.

Наличие этой оболочки препятствует расширению факела, поэтому поперечные геометрические размеры его в несколько раз меньше, чем у изотермической струи при той же начальной скорости истечения из сопла. За счет этого на оси факела скорость газа выше и затухает она слабее, чем у классической струи.

Существует немало работ, авторы которых предполагают, что в турбулентных струях отношение длины пути смещения l (масштаба турбулентности) к диаметру (толщине) струи составляет постоянное значение. Доказано, что это допущение не выполняется, что влечёт за собой серьёзную ошибку при расчёте кинематической вязкости факела и струи.

Установлены законы и критерии подобия, позволяющие сравнивать параметры струйно-факельного горения различных топливных смесей и заменять при моделировании одно топливо другим (например, водород метаном).

Скорость турбулентного горения может многократно превышать скорость горения в ламинарном режиме. На неё сильно влияет масштаб струи и наличие рядом расположенных струй.

Полученный большой объём экспериментальных данных позволил создать физическую и математическую модель горения, которая апробирована в условиях сжигания в энергетических установках таких отличающихся газов, как метан, пропан и водород.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СКОРОСТИ ДЕТОНАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ

Ю.В. Полежаев, О.Г. Стоник

Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких температур РАН, г. Москва

На основании сопоставления относительных скоростей горения газообразных топлив в режимах дефлаграции и детонации предложен универсальный метод расчета.

В основе его лежат экспериментально измеренные данные по величине нормальной скорости горения заранее перемешанных топливных смесей, которые получены методом Михельсона на горелке Бунзена.

За прошедшие 150 лет эти результаты многократно повторили и сопоставили с другими методами измерения, что и позволяет считать полученные значения наиболее надежными. Важно, что они не зависят от геометрии горелки и режимов истечения топливной смеси, что давало основание на определенном этапе придавать им статус физико-химической константы топливной смеси.

Скорость детонационной волны по сравнению с нормальной скоростью горения возрастает на много порядков величины пропорционально отношению температур (T_2/T_1), давлений (P_2/P_1) и значений числа Рейнольдса за ударной волной.

Для ряда топливных смесей получены величины показателей степеней этих поправочных множителей. Обсуждается влияние состава топлива на скорость дефлаграции и детонации.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭФФЕКТОВ В ТЕОРИИ МЕЖФАЗНОГО СЛОЯ

Ю.О.Соляев, С.А.Лурье

Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г.Москва, juri86@bk.ru

В работе рассматривается модель континуальной механики, основанная на градиентной теории межфазного слоя [1-3]. Для моделирования поверхностных и межфазных эффектов в модели вводится, как энергия деформаций в объёме среды, так и поверхностная энергия деформаций. При этом классический обобщённый закон Гука остаётся справедливым в объёме среды, а на поверхности среды напряжения и деформации связаны через тензор поверхностных модулей, который является аналогом тензора физических модулей в объёме среды [4]. Демонстрируется, что введение обобщённого закона Гука на поверхности позволяет описать в рамках модели известные эффекты, связанные с поверхностным натяжением, капиллярностью, адгезионными взаимодействиями, масштабными эффектами. Физический смысл поверхностных модулей демонстрируется на простых модельных задачах.

Показывается, что предлагаемая модель является обобщением известной модели «поверхностных напряжений» (*Interface stress model*) [5,6], и позволяет получать математически корректные постановки задач с учётом поверхностных эффектов и, в некоторых случаях, точные аналитические решения, в отличие от модели «поверхностных напряжений», где существует возможность построения только слабых интегральных решений на основе приближённых вариационных методов в ограниченной области значений поверхностных модулей [7]. Развитие модели градиентной теории упругости с учётом поверхностных взаимодействий направлено на описание физико-механических свойств наноструктурированных сред (нанокompозиты, наноструктурированные керамики и т.д.), для которых характерна большая площадь внутренних межфазных границ и наличие локальных граничных эффектов, связанных с морфологическим изменением структуры.

Литература

1. П. А. Белов, С. А. Лурье, Континуальная теория микрогетерогенных сред. Прикладная математика и механика. 2009, 73(4), с.833-848.
2. Белов П.А., Лурье С.А. К общей теории дефектных сред. Физ. Мезомеханика. 2007, 10(6), с.49–61.
3. Andrei A. Gusev, Sergey A. Lurie, Strain-Gradient Elasticity for Bridging Continuum and Atomistic Estimates of Stiffness of Binary Lennard-Jones Crystals, *Advanced Engineering Materials*, 2010, 12(6), p. 529–533.
4. Белов П.А., Лурье С.А. Теория идеальных адгезионных взаимодействий. Механика композиционных материалов и конструкций. 2007, 13(3), с. 23-32.
5. Gurtin, M.E., Murdoch, A.I., A continuum theory of elastic material surfaces. *Arch. Ration. Mech. Anal.* 1975, 57, p. 291–323.
6. Duan, H.L., Wang, J., Huang, Z.P., Karimloo, B.L., Size-dependent effective elastic constants of solids containing nano-inhomogeneities with interface stress. *J. Mech. Phys. Solids.* 2005, 53, p.1574–1596.
7. Altenbach H., Eremeyev V.A., Lebedev L. P. On the existence of solution in the linear elasticity with surface stresses. *Z. Angew. Math. Mech. (ZAMM)*. 2010, 90(3), p. 231–240.

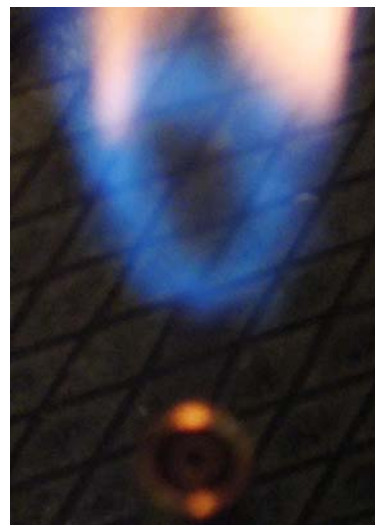
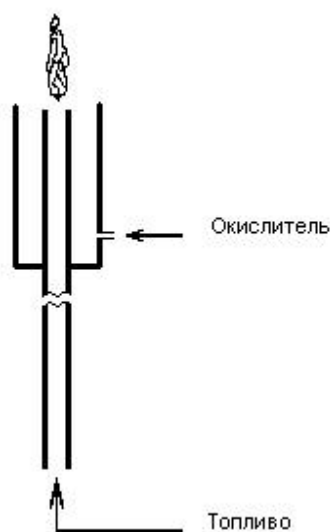
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА В ВОЗДУХЕ

Э.Е Сон, Д.Е.Белов

*Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный
Учреждение Российской академии наук Объединенный институт высоких
температур РАН, г. Москва
son@mipt.ru, dmitry.belov@srd.mipt.ru*

Широкое распространение процессов горения в современных технологиях приводит к необходимости постоянных исследований различных режимов его протекания. Существует множество факторов влияющих на режимы горения и не меньшее количество условий, при которых это горение протекает.

В работе экспериментально исследуется горение газообразного топлива на примере пропана. Турбулентная струя топлива выбрасывается в спутный поток окислителя (воздух). Горение происходит в турбулентном режиме при смешивании потоков. Основное внимание в данной части работы уделяется турбулентной кольцевой зоне перемешивания окислителя и горючего, в которой и происходит инициирование процесса горения в потоке. Ниже представлены принципиальная схема установки и усредненная по времени фотография кольцевой зоны перемешивания.



Литература

1. Законы горения/ Под общ. ред. Ю.В.Полежаева. М.: Энергомаш, 2006.-352с.:ил.
2. Properties of Turbulence in Turbulent Diffusion Flame. Toshimi Takagi, Akira Ishio. Combustion and flame 40: 121-140 (1981).

СИНТЕЗ И СВС-КОМПАКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ (Ti+C)–(Cr+V)

А.А.Чобко, В.А.Щербаков

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, vladimir@ism.ac.ru

Настоящая работа посвящена изучению закономерностей синтеза и компактирования керамических композитов на основе системы (Ti+C)–(Cr+V). Работа включает проведение термодинамического анализа системы; одностадийный синтез композитов методом СВС-компактирования и анализ полученных материалов.

Термодинамический анализ выполняли, используя программу Thermo v4.3. Для анализа фазового состава и микроструктуры композитов использовался рентгеновский дифрактометр ДРОН-3М и растровый электронный микроскоп LEO 1450.

Методами термодинамического анализа изучено влияние состава реакционной смеси на адиабатическую температуру горения и состав равновесного продукта СВС в системе (Ti+C)–(Cr+V). Результаты термодинамического показали, что адиабатическая температура горения и фазовый состав равновесного продукта зависят от состава реакционной смеси. Установлено, что в условиях, оптимальных для получения плотного керамического композита, при высокой температуре, превышающей температуру плавления карбида хрома, образуются твердые TiC и TiB₂; и расплавленный Cr₇C₃ и Cr₃C₂.

В экспериментах по синтезу и компактированию композиционных материалов использовали реакционные смеси, в которых доля смеси (Cr+V) варьировалась от 20 до 60 мас. %. Получены композиты с остаточной пористостью 2–3 % и твердостью 88–99 HRA.

Рентгенофазный анализ показал, что конечный продукт содержит три фазы: TiB₂, (Ti,Cr)_xC_y, (Cr,Ti)_mC_n. Установлено, что увеличение в шихте доли смеси (Cr+V) от 20 до 40 мас% не приводит к изменению фазового состава конечного продукта, что указывает на термическую стабильность синтезированного продукта. Следует отметить, что результаты рентгенофазового анализа согласуются с результатами термодинамических расчетов.

Методами микроструктурного анализа изучена микроструктура композитов. На рисунке 1 видно, что с увеличением доли смеси (Cr+V) размер всех структурных составляющих уменьшается. Показано, что полученные керамические композиты содержат однофазный диборид титана и твердые растворы карбидов: первый – на основе карбида титана; второй – на основе карбида хрома. Видно, что микроструктура композитов зависит от состава конечного продукта.

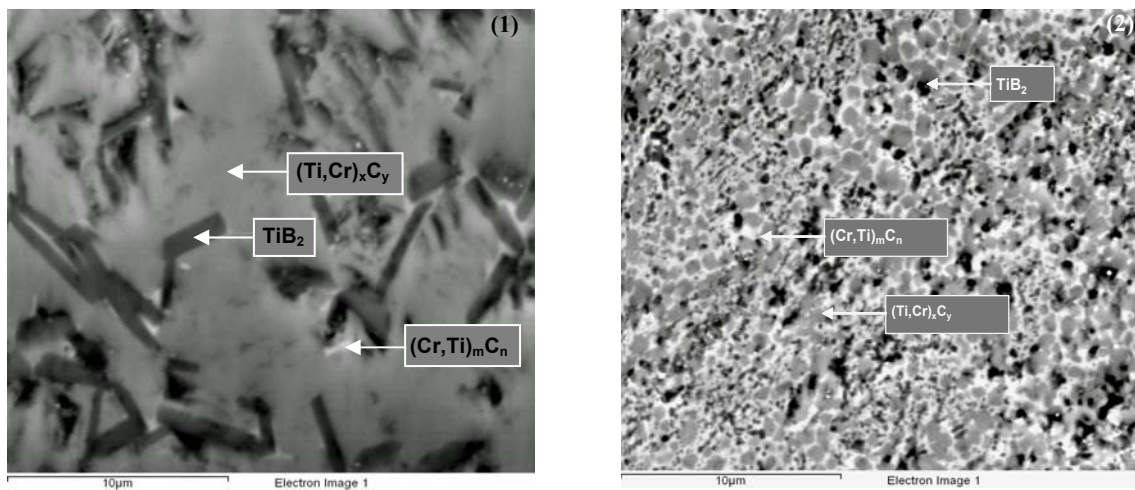


Рис. 1. Микроструктура керамических композитов, полученных при 20 (1) и 40% (2) содержании доли смеси (Cr+V)

СИНТЕЗ И СВС-КОМПАКТИРОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ (Ti+2V)–(3Cr+2C)

А.А.Чобко, В.А.Щербаков, Н.В.Сачкова

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, vladimir@ism.ac.ru

Целью настоящей работы является изучение закономерностей синтеза и компактирования композиционных материалов, полученных на основе системы (Ti+2V)–(3Cr+2C). Работа включает проведение термодинамического анализа системы; синтез композитов методом СВС-компактирования; рентгенофазовый анализ (дифрактометр ДРОН-3М), микроструктурный анализ (растровый электронный микроскоп LEO 1450) и физико-механические испытания полученных материалов.

Результаты термодинамического анализа показали, что адиабатическая температура горения и фазовый состав равновесного продукта зависят от состава реакционной смеси. При высокой температуре, превышающей температуру плавления карбида хрома, образуются твердый TiB₂ и расплавленный Cr₃C₂. С уменьшением температуры горения равновесие смещается в сторону образования карбида титана и бориды хрома. Равновесный продукт реакции содержит фазы: TiC, Cr₃C₂, и CrB.

В экспериментах по получению плотных композитов методом СВС-компактирования использовали реакционные смеси, в которых доля смеси (3Cr+2C) варьировалась от 10 до 60 мас.%. Показано, что плавление карбида титана обеспечивает получение композита с относительной плотностью 98–99,5%. Необходимый уровень пластичности конечного продукта для получения плотного керамического композита обеспечивался образованием жидкой фазы в результате плавления бориды хрома.

На основе данных рентгенофазового анализа установлено, что конечный продукт содержит три фазы: TiB₂, TiC, CrB. Установлено, что увеличение в шихте доли смеси (3Cr+2C) от 10 до 50 мас.% не приводит к изменению фазового состава конечного продукта, что указывает на термическую стабильность синтезированного продукта.

Изучено влияние состава реакционной смеси на формирование микроструктуры композитов. На рисунке 1 представлены микроструктуры композиционных материалов, полученных при 10 и 40 мас. % содержания в шихте доли смеси (3Cr+2C). Показано, что с увеличением содержания доли смеси (3Cr+2C) размер частиц TiB₂ и TiC уменьшается от 5–7 до 1–2 мкм, размер частиц CrB – возрастает до 10–15 мкм. Следует отметить, что при высоком содержании в шихте хрома и углерода формируется неоднородный керамический композит. По-видимому, причина получения неоднородного композита связана с особенностями формирования микроструктуры композиты в ходе экзотермической реакции синтеза.

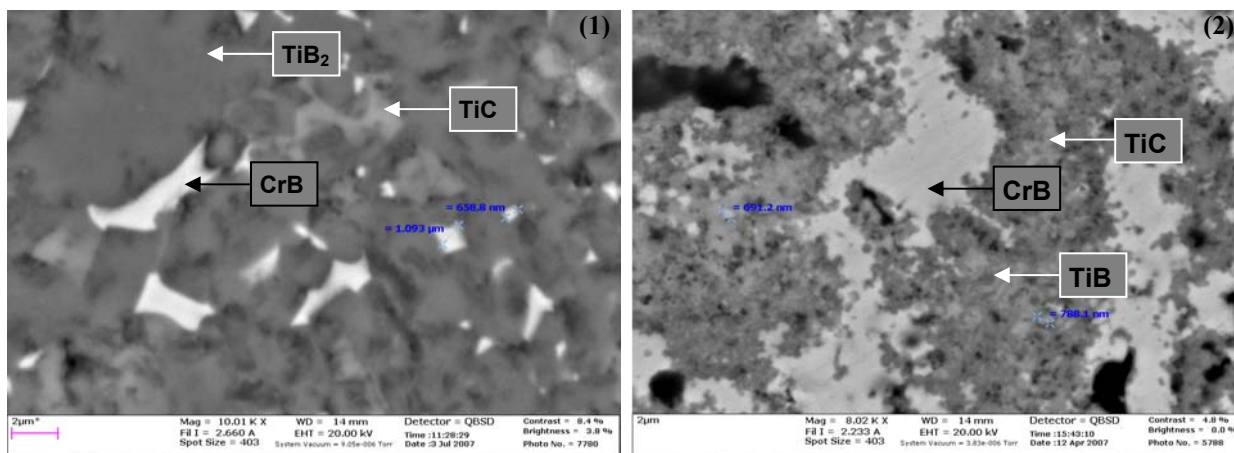


Рис. 1. Микроструктура керамических композитов (содержание в шихте доли смеси (3Cr+2C) 10 мас.% (1) и 40 мас.% (2)).

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ВОЛНЫ ГОРЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ СМЕСИ Ti+C В УСЛОВИЯХ КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

В.А.Щербаков, В.Ю.Баринов

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, Vladimir@ism.ac.ru

Настоящая работа посвящена экспериментальному изучению структуры волны горения гетерогенной смеси Ti+C на основе анализа параметров ЭДС горения. Эксперименты проводили в пресс-форме, снабженной системой инициирования реакции горения. Объектом исследования были выбраны цилиндрические образцы (диаметром 12 мм и высотой 15 мм), спрессованные из смеси порошков титана (ПТК, ПТМ) и сажи (П804Т), до относительной плотности 0,6. В экспериментах на противоположных торцах образца измеряли ЭДС, возникающую в ходе горения при распространении фронта горения вдоль образца.

Установлено, что возникновение ЭДС горения обусловлено формированием градиента температуры в образце. Поэтому ЭДС горения необходимо рассматривать как процесс аналогичный термоэдс, возникающей в однородных и проводниках и полупроводниках, а также термопарах. На основе тепловой природы даны объяснения закономерностей изменения ЭДС горения гетерогенной смеси Ti+C. Показано, что инверсия ЭДС горения обусловлена изменением знака градиента температуры в ходе горения и остывания образца.

Изучено влияние давления сжатия, дисперсности титана и степени разбавления смеси конечным продуктом на закономерности возникновения ЭДС горения. Показано, что эти факторы оказывают существенное влияние на структуру волны горения, в частности на ширину зоны прогрева. Уменьшение размера частиц титана приводит к увеличению мощности химического источника тепла и уменьшению ширины зоны прогрева. Напротив, увеличение степени разбавления реакционной смеси конечным продуктом приводит к увеличению ширины зоны прогрева (см. рис. 1). Увеличение давления сжатия приводит соответственно к увеличению теплопроводности исходного образца и увеличению ширины зоны прогрева. Формирование зоны прогрева указывает на установление тепловой гомогенности в волне гетерогенного горения. Таким образом ЭДС горения является эффективным методом изучения структуры гетерогенного горения.

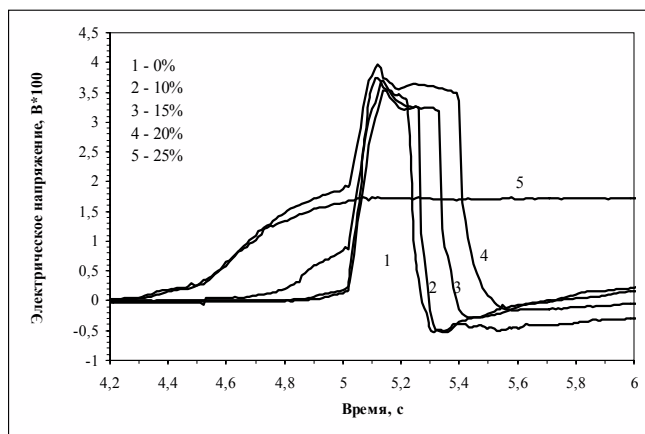


Рис. 1. Диаграммы ЭДС горения, полученные при разбавлении реакционной смеси конечным продуктом:

1 – 0; 2 – 10; 3 – 15;

4 – 20; 5 – 25% мас.

СКОРОСТЬ ГОРЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ СМЕСИ Ti+C В УСЛОВИЯХ КВАЗИИЗОСТАТИЧЕСКОГО СЖАТИЯ

В.А.Щербаков, В.Ю.Баринов

Учреждение Российской академии наук Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка, Vladimir@ism.ac.ru

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию закономерностей горения гетерогенной смеси Ti+C в условиях квазиизостатического сжатия. Эксперименты проводили в пресс-форме, снабженной системой инициирования реакции горения, электродами для измерения электрических параметров и световодами для измерения скорости горения. Исходные образцы цилиндрической формы (диаметром 12 и высотой 15 мм) прессовали из смеси титана (ПТК, ПТМ) и сажи (П804Т) до относительной плотности 0,6. Давление сжатия варьировали в диапазоне от 1 до 1000 атм. В экспериментах измеряли электрическое сопротивление образца, ЭДС горения, скорость горения и деформацию образца.

Изучено влияние давления сжатия на скорость горения гетерогенной смеси Ti+C. Установлено, что зависимость скорости горения от давления сжатия имеет ярко выраженный максимум. Максимальное значение скорости горения достигается при давлении 80 атм. и составляет для смеси, содержащей титан марки ПТК - 80 мм/с, а для смеси с титаном марки ПТМ – 350 мм/с. Дальнейшее увеличение давления сжатия приводит к уменьшению скорости горения.

Высокие значения скорости горения обусловлены увеличением теплопроводности образца и мощности химического тепловыделения, так как под действием сжимающего давления увеличивается поверхность контакта между частицами реагентов. Последнее подтверждается данными по измерению электропроводности исходных образцов. Снижение скорости горения в области высоких давлений связано с возрастающим влиянием теплопотерь. Согласно данным химического анализа с увеличением сжимающего давления глубина превращения реагентов уменьшается на 10-20%. Экспериментально показано, что скорость горения гетерогенной смеси в условиях квазиизостатического сжатия возрастает на порядок.

Таким образом, квазиизостатическое сжатие является эффективным способом управления процессом гетерогенного горения.

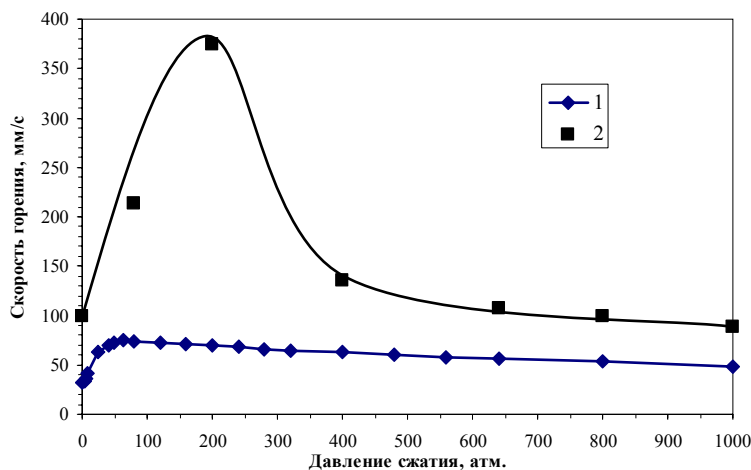


Рис. 1. Зависимости скорости горения смеси Ti+C от давления сжатия:
1- титан ПТК; 2 – титан ПТМ.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРИ НАНОИНДЕНТИРОВАНИИ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ

Ю.Г. Яновский, Г.В. Козлов, Ю.В. Корнев, О.В. Бойко, Ю.Н. Карнет

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва*

Метод наноиндентирования получил в последнее время широкое распространение при изучении поведения структурно-сложных композиционных сред. Однако интерпретация результатов, получаемых в ходе подобных экспериментов, часто нуждается в определенном физическом обосновании. Так, например, исследование механических свойств дисперсно-наполненных эластомерных композитов методом наноиндентирования показывает их сильную зависимость (например, модуля упругости E) от глубины наноиндентирования h (или пластической деформации $h_{пл}$), т.е., своего рода масштабный эффект [1,2]. Как известно из литературы (см., например, [3]), масштабные эффекты достаточно часто проявляются при исследовании механических свойств различных материалов. Примером тому может служить, в частности, зависимость напряжения разрушения от размера зерна для металлов (формула Холла-Петча) или эффективной степени наполнения от размера частиц наполнителя в случае полимерных композитов.

В настоящей работе рассматриваются возможные физические причины проявления масштабного эффекта в подобных материалах в процессе испытаний методом наноиндентирования. В качестве гипотез привлекаются две модельные физические концепции – концепция ангармонизма и теория флуктуаций плотности.

Объектами анализа были выбраны эластомерные композиты на основе сополимера бутадиена и стирола. В качестве наполнителей использовали технический углерод (ТУ) промышленного производства марки N220, нано- и микрошунгит (средний размер частиц наполнителя составлял 20, 40 и 200 нм., соответственно).

Проведенные в настоящей работе исследования показали, что наблюдаемые изменения модуля упругости в зависимости от величины деформации в экспериментах по наноиндентированию дисперсно-наполненных эластомерных композитов обусловлено рядом причин, которые можно описать с позиций физических концепций ангармонизма и теории флуктуаций плотности. В рамках первой из указанных концепций предполагается, что на наномасштабном уровне в процессе наноиндентирования композитной среды реализуется упругая линейная деформация (малые деформации, структура композитной среды не разрушена). При этом сохраняется высокий уровень межмолекулярных связей в полимерной матрице. Переход к микромасштабу (конечные деформации) предполагает деформирование подобного материала как геометрически нелинейной гетерогенной среды. В последнем случае нелинейность, по-видимому, обусловлена нарушением локальной упорядоченности наноструктуры нанонаполнителя в месте внедрения индентора. Деструкция макромолекулярных цепей при этом не происходит, о чем свидетельствуют соответствующие величины параметра Грюнайзена. В рамках второй концепции показано, что нано- и микросистемы различаются отсутствием флуктуаций плотности в первых и наличием таковых – во вторых. Флуктуации плотности объясняются различием плотности агрегатов нанонаполнителя и полимерной матрицы. Переход от нано- к микроиндентированию реализуется тогда, когда объем деформированного в процессе эксперимента материала превышает совокупный объем двух агрегатов частиц нанонаполнителя и окружающих их межфазных слоев.

Литература

1. Корнев Ю.В., Юмашев О.Б., Жогин В.А., Карнет Ю.Н., Яновский Ю.Г., Гамлицкий Ю.А. Сравнительные оценки микро и макро физико-механических свойств эластомерных композитов в экспериментах по наноиндентированию и макропрочности // Каучук и резина. – 2008. – №6. – С.18-23.
2. Яновский Ю.Г., Валиев Х.Х., Корнев Ю.В., Карнет Ю.Н., Бойко О.В., Косичкина К.П., Юмашев О.Б. Роль масштабного фактора при изучении механических свойств композиционных материалов с нанонаполнителями // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2010. – Т.16. – №2. – С.291-304.
3. Микклинтон Ф., Аргон А. Деформация и разрушение металлов. – М.: Мир, 1970. – 443 с.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С НАНОПОЛНИТЕЛЯМИ: МЕЖФАЗНЫЙ СЛОЙ

Ю.Г. Яновский, Х.Х. Валиев, Ю.В. Корнев, Ю.Н. Карнет, О.В. Бойко, К.П. Косичкина,
С.В. Николаева, О.Б. Юмашев

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва, yurikornev@mail.ru*

Варьирование в определённых пределах механических и прочностных свойств композиционных материалов достигается путём их заполнения дисперсными частицами различной природы (технический углерод, силикаты, органоглины и др.). Существенное влияние при этом оказывают размер частиц наполнителя. Известно, что эффект усиления – улучшение тех или иных механических характеристик напрямую связан с размерами частиц наполнителя, т. е. с их удельной поверхностью. Однако, это справедливо не для всех наполнителей [1]. Согласно [2] большинство наноразмерных частиц обладают фрактальностью поверхности. Как известно [3], в грубом приближении фрактальные оценки позволяют судить о шероховатости поверхности нанообъектов.

Таким образом, поиск наполнителей с точки зрения размеров и активности для полимерных композитов базируются на хорошо обоснованной теоретической базе [1]. Тем не менее, экспериментальные подтверждения на конкретных объектах, наполненных хорошо охарактеризованными дисперсными наполнителями различной природы, представляют исключительно важный этап создания обобщённой теоретико-экспериментальной концепции механизма усиления полимерных композитов. Традиционные методы изучения макромеханических свойств на разрывных машинах слабо отражают особенности наноструктуры материала в силу, так называемого, масштабного эффекта.

С учётом сказанного целью настоящей работы явились прямые экспериментальные исследования наноструктуры, нано-, микро- и макромеханических и прочностных свойств нано- и микронаполненных эластомерных материалов.

Вначале в ходе эксперимента было проведено исследование наноструктуры композитов на основе бутадиен-стирольной матрицы с наполнителями различной природы и дисперсности с применением АСМ. При сопоставлении данных АСМ, полученных в режимах модуляции силы и топографии поверхности (рис. 1), отчётливо видны различия в размере и форме отображённых объектов, обращает на себя внимание индикация в обоих случаях межфазного слоя. В моде модуляции силы, которая учитывает упругие свойства составляющих композит ингредиентов, видны ступеньки на кривых, соответствующие межфазным слоям в композите на границе эластомерная матрица – твёрдый наполнитель. Авторам неизвестны описанные с помощью АСМ в литературе подобного рода экспериментальные наблюдения, в связи с чем, можно предположить, что это регистрируется впервые для подобного рода материалов. Полученные данные позволяют охарактеризовать не только структурные особенности подобного рода композитов, но и их наномеханические свойства.

Таким образом в предлагаемой работе впервые проведены оценки параметров межфазного слоя в наноуполненных эластомерных материалах, характеристики которого в будущем также следует учитывать и регулировать при разработке эластомерных композитов с заданным комплексом свойств. Установлена роль масштабного фактора при деформировании подобного рода объектов, показано, что в зависимости от схемы деформирования (нано-, микроиндентирование или разрывные

макро испытания) композит проявляет различные механические свойства, отличающиеся как минимум в 10 – 15 раз.

Литература

1. Козлов Г.В., Яновский Ю.Г., Карнет Ю.Н. Структура и свойства дисперсно-наполненных полимерных композитов: фрактальный анализ. – М.: Альянстрасатом, 2008. – 363 с.
2. Avnir D., Farin D., Pfeifer P. Molecular fractal surfaces // Nature. – 1984. – Vol.308, N5959. – P.261-263.

**НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ
НАНОСОРБЕНТЫ ДЛЯ ЭКСТРАКОРПОРАЛЬНОЙ ДЕТОКСИКАЦИИ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

Н.А.Семёнов, О.Б.Юмашев, Ю.Г.Яновский, А.Н.Данилин, С.М.Никитин

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва, iam@ipsun.ras.ru;*

В работе обсуждаются новые подходы к аттестации структурных и реологических свойств лимфы и крови (в норме и патологии) и методы коррекции их состава с использованием наноразмерных магнитоуправляемых адсорбентов. Предлагаются новые технологии химического синтеза магниточувствительных частиц-носителей – наночастиц, нанотрубок и их комбинаций в качестве адсорбентов метаболитов и токсинов, а также технологии придания поверхности нанообъектов селективных сорбционных свойств. Функциональность сорбентов демонстрируется на примерах элиминации липопротеинов (ЛПНП, ЛПОНП, ЛПА) из лимфы и крови человека.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ

В.Н.Бакулин, В.В.Репинский

*Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН, г. Москва,
vbak@yandex.ru*

В данной работе рассматриваются два способа повышения точности получаемого конечно-элементного решения при расчете устойчивости трехслойных оболочек вращения. Один из них заключается в создании новых, более эффективных конечно-элементных моделей. Другой – в разработке уточненных алгоритмов решения задач по определению критических нагрузок.

Для моделирования несущих слоев трехслойных оболочек предлагается использовать конечные элементы (КЭ) тонких анизотропных оболочек вращения, рассматриваемых в рамках гипотезы Кирхгофа-Лява. В функции, аппроксимирующие перемещения этих элементов, явно включены выражения, описывающие перемещения оболочки как жесткого целого. Это обстоятельство значительно улучшает сходимость при моделировании тонких оболочек. Элементы образованы сечением оболочек четырьмя плоскостями, две из которых перпендикулярны оси вращения, а две других включают эту ось. Узлы элементов расположены в вершинах «прямоугольника» на оболочке. Степенями свободы элементов являются три линейных перемещения и два угла поворота нормали вокруг координатных осей. Радиальное перемещение аппроксимируется неполным бикубическим полиномом, а тангенциальные перемещения – билинейными полиномами.

При построении функций формы трехмерных КЭ заполнителя используется подход, предложенный в работе [1], где для аппроксимации полей перемещений заполнителя по тангенциальным координатам применяются функции формы конечных элементов несущих слоев, а по радиальной координате - полином первого порядка. Заполнитель рассматривается в рамках трехмерной теории упругости.

Для определения критических нагрузок потери устойчивости предлагается алгоритм, позволяющий учесть геометрическую нелинейность докритического напряженно-деформированного состояния (НДС) рассматриваемых элементов конструкций. На первом этапе определяется НДС конструкции с учетом геометрической нелинейности при некотором заданном уровне нагружения. Затем в окрестности найденного решения проводится линеаризация нелинейной системы уравнений и находится решение полученной линеаризованной системы. Далее проводится повторная линеаризация исходной нелинейной системы уравнений в окрестности решения линеаризованной системы, полученного на предыдущем этапе. Условие вырожденности системы уравнений, полученной после повторной линеаризации, приводит к обобщенной проблеме собственных значений, решая которую получим значения критической нагрузки потери устойчивости.

На примере тестовых задач устойчивости оболочек показана высокая эффективность разработанных элементов по сравнению с традиционными КЭ. Проведено исследование влияния размеров вырезов на величину критической нагрузки потери устойчивости однослойных и трехслойных отсеков.

Литература

1. Бакулин В.Н. Эффективные модели для уточненного анализа деформированного состояния трехслойных не осесимметричных цилиндрических оболочек.- М., Доклады РАН 2007, т.414, №5, с.613-617

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОПЛОВОГО НАСАДКА ИЗ УУКМ НА МАКРО- И МИКРОУРОВНЕ

¹А.Л.Медведский, ¹А.С.Курбатов, ²С.И.Жаворонок

¹Московский авиационный институт (государственный технический университет),
г. Москва

²Учреждение Российской академии наук Институт прикладной механики РАН,
г. Москва

В докладе рассмотрены вопросы численного моделирования напряженно-деформированного состояния соплового насадка, изготовленного из углерод-углеродного композиционного материала при наличии технологических дефектов. Предполагается, что на этапе изготовления соплового насадка образовался технологический дефект в виде сквозной трещины вдоль образующей оболочки. На первом этапе производится расчет напряженно-деформированного состояния соплового насадка в предположении однородности и ортотропности материала. В качестве внешней нагрузки задается значение осевой сжимающей силы и внутреннего давления наддува. Конструкция соплового насадка моделируется оболочечными восьмиузловыми конечными элементами с учетом наличия трещины. Граничные условия задачи соответствуют жесткому закреплению насадка по критическому сечению.

На втором этапе производится подмоделирование областей соплового насадка в окрестности трещины, в которых имеются высокие градиенты интенсивности напряжений. Для указанных областей производится построение геометрической модели с учетом микроструктуры и неоднородности упругих свойств материала. В качестве внешней нагрузки используются поля вектора перемещений на граничных поверхностях подобласти, полученные из решения задачи на макроуровне.

Найдены поля напряжений в матрице и армирующих волокнах УУКМ, а также выявлены зоны вероятного разрушения соплового насадка.

Литература

1. Multiscale Methods in Science and Engineering (Lecture Notes in Computational Science and Engineering) / Bjorn Enquist, Per Lotstedt, Olof Runborg. Springer; 1 edition (July 22, 2005). – 289 p.
2. Технология и проектирование углерод-углеродных композитов и конструкций / Ю.В. Соколкин, А.М. Вотинов, А.А. Ташкинов, А.М. Постных, А.А. Чекалкин. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 240 с.

РАСЧЕТНО - ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРСПЕКТИВНОМ КОМПОЗИЦИОННОМ МАТЕРИАЛЕ

А.В.Афанасьев, Л.Н.Рабинский

*Московский авиационный институт (государственный технический университет),
г. Москва*

Исследуется влияние структуры пакета полимерного композиционного материала, в частности, начального натяжения слоев на остаточное напряженно-деформированное состояние, возникающее по завершении процесса формования и охлаждения изделия до комнатной температуры.

Основным фактором, приводящим к возникновению остаточного напряженно-деформированного состояния, является анизотропия свойств композита в направлении и поперек направления волокон. При охлаждении происходит усадка полимерного связующего, вследствие чего проявляется сжимающая деформация разноориентированных слоев материала. В зависимости от характеристик компонентов монослоя и структуры пакета деформации сжатия могут вызывать, в частности, возникновение дополнительной кривизны панели, в том числе изгиб и крутку, и порождают остаточные температурные напряжения, снижающие прочностные свойства композиционной конструкции и ее ресурс. При величине напряжений, равной пределу прочности материала, происходит зарождение и развитие трещин и дальнейшее расслоение композиционного пакета. Оптимизация структуры полимерного композиционного материала позволяет значительно снизить уровень остаточных напряжений и деформаций.

По результатам проведенных параметрических теоретических и экспериментальных исследований при варьировании структурой пакета, в частности, ориентацией главных осей слоев, а также начальным натяжением волокон наполнителя, показано, что симметричная структура позволяет исключить коробление панелей, при этом уровень остаточных напряжений в поперечном направлении может достигать значительных величин и быть сопоставимым с пределом прочности в этом направлении. Укладка слоев с чередующейся ориентацией волокон позволяет достичь уменьшения коробления в случае несимметричной укладки, причем уровень остаточных поперечных напряжений в несимметричном пакете ниже, нежели в симметричном. Применение укладки чередующихся слоев со взаимно-ортогональной ориентацией волокон также позволяет снизить коробление, однако при этом увеличивается уровень остаточных напряжений, при достаточно большой величине приводящих к расслоению пакета. Начальное натяжение слоев, в свою очередь, позволяет существенно снизить остаточные напряжения и кривизны композиционного материала, причем наибольший эффект достигается при различном натяжении слоев пакета.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-01-13521-офи-ц) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г. (Государственные контракты №№ 02.740.11.0790 24.04.2010 г, П 667 от 19.05.2010 г) и гранта президента РФ для поддержки молодых российских ученых - кандидатов и докторов наук при государственной поддержке ведущих научных школ, код проекта №НШ-64683.2010.8.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Д.Г.Гаврилов, О.В.Егорова, С.В.Мамонов, М.И.Мартиросов, Л.Н.Рабинский

*Московский авиационный институт (государственный технический университет),
г. Москва*

В работе проводятся экспериментальные исследования по определению механических характеристик образцов из стали, на которые наносятся наноструктурированные лакокрасочные покрытия. Образцы для испытаний представляют собой пластины прямоугольной формы 12 мм х 120 мм из листовой прокатной стали (толщина листа 1,5 мм). Перед нанесением лако-красочных покрытий на исследуемые образцы проводилась предварительная подготовка поверхностей: обезжиривание и фосфатирование. Затем наносилась полимерная порошковая краска фирмы Euroolvergi (Италия) на эпоксидно-полиэфирной основе электростатическим распылением в камере Gema (Швейцария); цвет – чёрный RAL 9005 по международному стандарту. Далее для повышения механических свойств и придания поверхности дополнительной износостойкости и ударопрочности на окрашенную поверхность наносился прозрачный керамический нанолак CeramiClear Deltron D8105 фирмы PPG Industries (США). Этот лак содержит микроскопические керамические частицы, которые беспорядочно плавают в жидком лаке, а затем, затвердевая в печи полимеризации, образуют густую сетчатую структуру, которая выступает в качестве защитного слоя окрашенной поверхности и улучшает её эксплуатационные свойства.

Толщина покрытия контролировалась электронным толщиномером QuaNix 7500 (Германия), предназначенным для измерения толщины покрытия на ферромагнитных и неферромагнитных поверхностях.

Проводились эксперименты с указанными образцами на центральное растяжение и четырехточечный изгиб, сравнивались их механические характеристики с аналогичными образцами без покрытия, а также с образцами, на которые на порошковую краску наносился упрочняющий полиуретановый лак, а также декоративный лак Glitter, не являющиеся нано-структурированными. Эксперименты проводились на универсальной испытательной машине Zwick Z100 (Германия), которая зарегистрирована в Государственном реестре средств измерений (№ 20385-00) и допущена к применению в России.

Дается сравнение полученных результатов с данными численного моделирования в среде PATRAN/NASTRAN. Выработаны рекомендации по практическому использованию керамического лака для придания наружным поверхностям различных изделий промышленного назначения повышенной прочности, износостойкости и долговечности.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по лоту «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области нанотехнологий и наноматериалов», гос. контракт № 02.740.11.0790 от 17.05.2010 г, и при финансовой поддержке гранта президента РФ для поддержки молодых российских ученых - кандидатов и докторов наук при государственной поддержке ведущих научных школ, код проекта №НШ-64683.2010.8.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ ПОВЕРХНОСТНЫМ РАЗРЯДОМ

В.А.Левин, В.Г.Громов, Н.Е.Афоница

*Научно-учебное учреждение Институт механики МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, levin@imec.msu.ru*

В настоящее время весьма интенсивно развивается новое направление в газовой динамике, связанное с изучением возможности управления высокоскоростными потоками газов при воздействии на поток электрических, магнитных и электромагнитных полей. Контролируемый энерговклад в поток газа может обеспечить оптимальное распределение силовых и тепловых нагрузок на поверхности тел, обтекаемых газом, интенсификацию перемешивания газоздушных смесей, воспламенение горючих смесей, ускорение протекания в них химических реакций и стабилизацию сверхзвукового горения.

В Институте механики МГУ в течение ряда лет разрабатывается технология численного моделирования течений высокотемпературного газа, основанная на комплексе программ численного интегрирования уравнений Навье-Стокса для большого числа моделей газовой среды, с использованием баз данных по термодинамическим, транспортным и кинетическим свойствам индивидуальных газов и газовых смесей. В докладе приведены некоторые результаты численных исследований взаимодействия сверхзвукового потока водородно-воздушной смеси с электрическими разрядами, которые моделируются локальным тепловым источником заданной интенсивности и конфигурации. Эта модель позволяет выделить и учесть главный фактор, определяющий воздействие разряда на поток. В настоящем исследовании получены новые данные по сверхзвуковому горению водородно-воздушной смеси около пластины с различными по форме и расположению областями теплоподвода.

Работа выполнена в рамках реализации Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН «Фундаментальные проблемы горения и детонации в энергоустановках».