

Выводы

В работе рассмотрены механико-математические модели, описывающие поведение деформируемых твердых сред с учетом их внутренней структуры. Модели построены в рамках механики сплошных сред для статических задач деформирования упругих тел. Существенным обстоятельством при этом является, что учет внутренней структуры среды не позволяет в качестве физических уравнений, описывающих поведение среды (связь между компонентами НДС), использовать закон Гука в стандартном виде. Получила развитие на пространственный случай модель, предложенная в [3] для двумерного случая, описывающая НДС массивов горных пород блочной структуры. Приводятся результаты выполненного, на основе предложенной модели, численного анализа НДС модельной конструкции (плиты) и сравнение полученных результатов с поведением конструкции, состояние которой описывается классической упругой моделью Гука. Рассмотренная в работе модель поведения массива позволяет учесть образование блочной структуры в первоначально сплошном массиве. Варьирование параметрами податливости λ_i позволяет рассматривать различные варианты формирования новой среды. Используя предложенную модель, описывающую поведение среды после образования в ней блочной структуры, и задавая различные значения параметров λ_i , можно выполнить модельные исследования и изучить поведение среды при различных качественных изменениях ее структуры.

Список литературы

1. Журавков М.А. Математическое моделирование деформационных процессов в твердых деформируемых средах (на примере задач механики горных пород и массивов). Мн.: БГУ, 2002. 456с.
2. Журавков М.А., Коновалов О.Л., Богдан С.И., Прохоров П.А., Круподеров А.В. Компьютерное моделирование в геомеханике / Под общ. ред. М.А. Журавкова. Мн. БГУ, 2008. 443 с.
3. Чаньшев А.И., Ефименко Л.Л. Математические модели блочных сред в задачах механики. Ч.1. Деформация слоистой среды // ФТПРПИ. № 3. 2003. С. 72-84.

НАНОКОМПОЗИТЫ НА СИЛИКАТНОЙ МАТРИЦЕ

Кудина Е.Ф.

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси
Гомель, Беларусь, e-mail: kudina_mpri@tut.by*

Разработка наноматериалов является приоритетным направлением развития науки и техники. Неуклонно растет интерес к нанодисперсным продуктам. Маркетинговые исследования показывают, что нанодисперсные порошки во всем мире пользуются большим спросом, производителей таких порошков мало, поэтому цены на них достаточно высоки. Рыночная цена 1 кг нанодисперсного никеля составляет ~6600 евро, меди – ~1200 евро [1]. Однако рынок наноматериалов стремительно развивается. Мировой рынок наноматериалов в 2000 г. составлял 492,5 млн. долларов, в 2005 г. – ~900,1 млн. долларов [2], в 2010 г. – ~11 млрд. долларов. По данным маркетинговой компании Research and Markets (США) мировой рынок нанотехнологий к 2013 г. достигнет 1,6 трлн. долларов. По прогнозным данным аналитического агентства LUX Research (США) «Глобальные рынки нанотехнологий» к 2015 г. объем продаж продукции с применением нанотехнологий вырастет до 2,9 трлн. долларов. Перспективы открываются огромные. При проведении исследований в области нанотехнологий и наноматериалов следует

определить основные понятия. Термин «нанотехнология» в настоящее время не имеет единого, признаваемого всеми определения. Термин впервые был использован Норио Танигучи в докладе «Основные принципы нанотехнологии» на международной конференции в Токио в 1974 г. Первоначально термин «нанотехнология» использовался в узком смысле и означал комплекс процессов, обеспечивающих высокоточную обработку поверхности. РОСНАНО под термином «нанотехнологии» понимает совокупность технологических методов и приемов, используемых при изучении и производстве материалов, устройств и систем, включающих целенаправленный контроль и управление строением, химическим составом и взаимодействием составляющих их отдельных наномасштабных элементов (с размерами до 100 нм как минимум по одному из измерений), которые приводят к улучшению, либо появлению дополнительных эксплуатационных и/или потребительских характеристик и свойств получаемых продуктов [3]. Под понятием «наночастица» понимают твердофазный объект, имеющий выраженную границу с окружающей средой и размеры во всех трех измерениях – от 1 до 100 нм. Понятие «нанокompозит» согласно [3] – композитный материал, в котором хотя бы одна из фаз имеет усредненный размер обособленных элементов (частиц, волокон и т. д.) менее 100 нм хотя бы в одном измерении.

В современных условиях работы по созданию новых материалов направлены в основном на получение и использование ультрадисперсных и нанодисперсных частиц в материалах. Обладая высокой поверхностной энергией, такие частицы существенно изменяют морфологию композитов и определяют химические, физические, механические и др. свойства материалов. Условно нанопорошки можно разделить на две группы [4]. Первую составляют порошки, которые за счет своих особых свойств придают новое качество потребительскому продукту, а вторую – порошки, которые позволяют реализовать новые технологические процессы, приводящие к качественно новым продуктам. К продуктам нанотехнологий первой группы можно отнести: кремы, краски, удобрения, моторные масла с добавками нанопорошков. Во второй группе нанопорошки используются как промежуточный продукт, позволяющий создавать материалы с новыми свойствами благодаря тонкой структуре: сплавы, керамики, различные композиты.

Актуальным примером полимер-матричных нанокompозитов являются органосиликатные материалы. Модифицирование жесткой силикатной матрицы органическими реагентами позволяет получать структурно организованные композиционные материалы с высокими физико-механическими и техническими показателями, которые обусловлены как химическими взаимодействиями компонентов, так и формированием молекулярных ансамблей посредством межмолекулярных взаимодействий. Ассоциация большого числа компонентов в специфическую фазу, характеризующую определенную структурной организацией на микроскопическом уровне, определяет макроскопические свойства формируемых гибридных композитов. Целью данной работы являлось получение высокодисперсных органосиликатных нанокompозитов и изучение их влияния на свойства создаваемых композиционных материалов.

Органосиликатные нанокompозиты получали по золь-гель технологии из модифицированных растворов на основе щелочесиликатного прекурсора, в качестве которого использовали водный раствор силиката натрия (РСН, $C=50\pm 1$ % силикатный модуль $n=2,9\pm 0,1$; $\rho=1,45$ г/см³). Для получения дисперсного гибридного наполнителя РСН модифицировали формиатом меди (ФМ) или олигомером эпоксидиановой смолы ЭД-20 (ЭС), а затем формиатом меди [5]. Полученные наполнители являются высокодисперсными продуктами сложного строения, в которых ионы меди внедрены в силикатную или эпoxисиликатную матрицу (ЭСМ). Синтезированные продукты исследованы в качестве наполнителей термопластов.

Проведение золь-гель синтеза металло-органосиликатных композитов из модифицированных ВРС позволили реализовать серию физико-химических

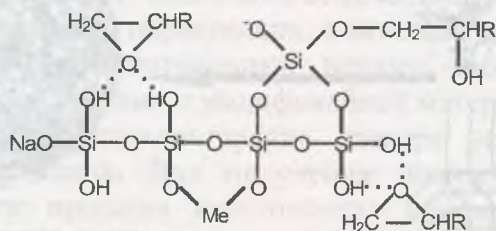
взаимодействий между реагентами, которые привели к формированию высокодисперсных гибридных продуктов (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства дисперсных продуктов

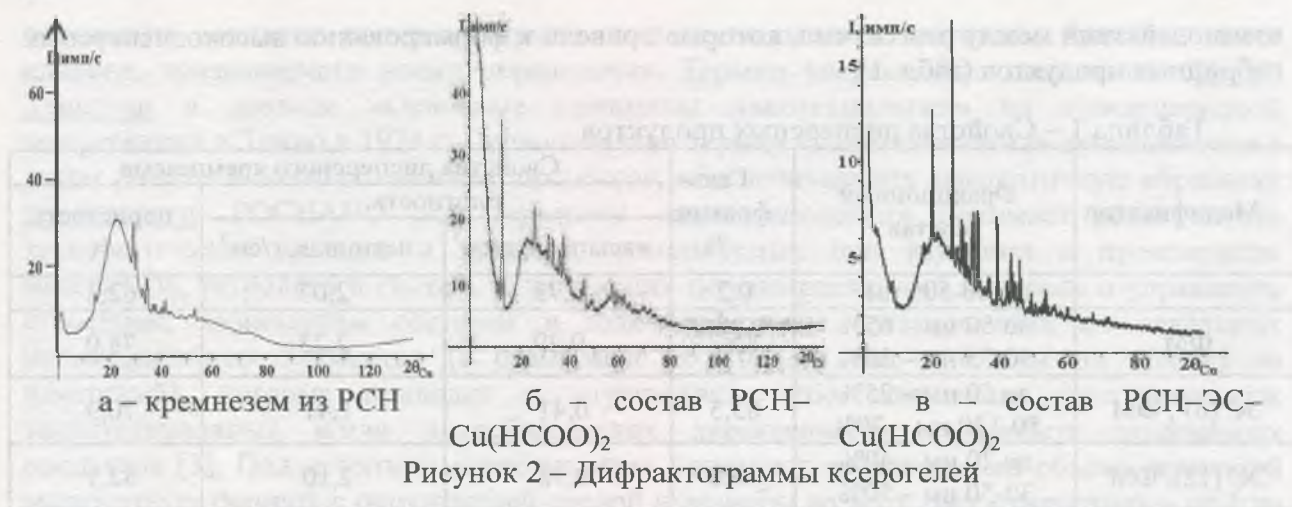
Модификатор	Фракционный состав	Гель-фракция, %	Свойства дисперсного кремнезема		
			плотность		пористость, %
			насыпная, г/см ³	истинная, г/см ³	
–	200-500 нм	0,2	0,78	2,07	62,3
ФМ	до 50 нм – 65% 50-75 нм – 30%	86,7	0,49	2,23	78,0
ЭС (6)*, ФМ	до 50 нм – 25% 50-120 нм – 70%	83,5	0,41	1,41	70,9
ЭС (12), ФМ	до 20 нм – 40% 30-50 нм – 50%	40,0	0,38	2,10	82,1

* – концентрация эпоксидиановой смолы в составе композита

По данным ИК-спектроскопии при образовании ксерогеля из РСН формируется силикатная матрица, представленная олигомерами со степенью полимеризации 2-4. В бинарной системе РСН–ФМ по данным ИКС установлено образование связи Si–O–Si. В тройной системе РСН–ЭС–ФМ при образовании силикатной матрицы происходит увеличение степени полимеризации силикат-анионов до 9; формируется эпoxисиликатная матрица (о чем свидетельствует образование связи Si–O–C); а также медь химически связывается с силикатной матрицей. Гибридный продукт, сформированный из системы РСН–ЭС–ФМ можно представить, следующим образом:



На рис. 2 приведено сравнение дифрактограмм полученных ксерогелей. При формировании композита из системы РСН–Cu(HCOO)₂, по данным РСА, медь внедряется в силикатную матрицу ($d=6,71\text{Å}$). Ксерогель из системы РСН–ЭС полностью аморфен (аморфное гало при $d=18,9\text{Å}$). В композите Cu→(РСН–ЭС) происходит увеличение кристалличности, не связанное с присутствием исходных солей металлов или образованием соответствующих силикатов. Значительные изменения в структурах полученных трехкомпонентных систем можно объяснить следующим образом. Олигомеры ЭС имеют π -сопряженные электроны в ароматических ядрах молекул, которые разделены метиленовыми мостиками, прерывающих сопряжение в молекулах. При введении в системы ионов переходных металлов, имеющих неспаренные электроны, происходит взаимодействие с π -электронами ароматических ядер, которое улучшает сопряжение и способствует более плотной упаковке молекул.



Изучение структуры продуктов методами ПЭМ и РФА, полученных из эпоксисиликатных систем, показало, что структура сформированных гибридных нанокомпозитов является гибридно-смешанной (рисунок 3), где в эпоксисиликатные нанокластеры диспергированы аморфные и кристаллические частицы состава $\beta\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$, SiO_2 и CuSiO_3 размером 5-10 нм.

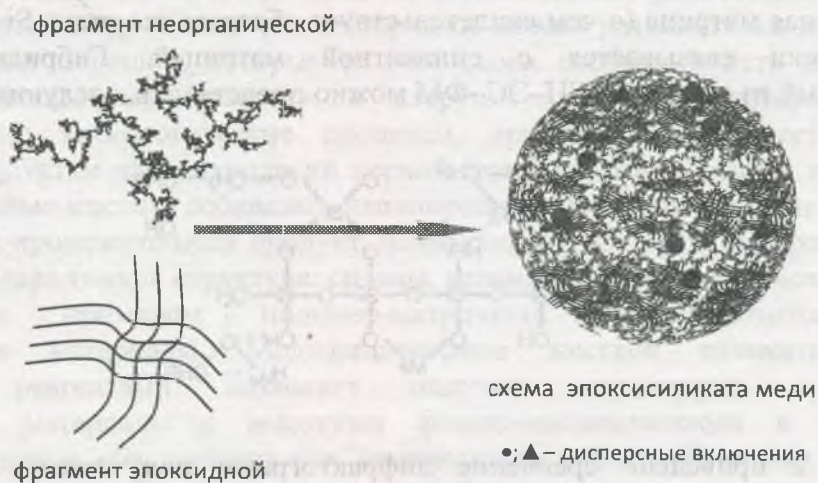


Рисунок 3 – Схема формирования эпоксисиликата меди

Полученный органосиликатный нанокомпозит исследован в качестве наполнителя термопластов. Установлено, что введение наполнителя в ПТФЭ или ПА6 приводит к улучшению физико-механических свойств материала (табл. 2). Таким образом, синтезированные эпоксисиликаты меди могут быть использованы в качестве активных наполнителей, улучшающих эксплуатационные свойства термопластов.

Таблица 2 – Характеристики материалов на основе термопластов.

Характеристика	ПТФЭ		ПА6	
	Наполнители			
	–	ЭСН	–	ЭСН
Разрушающее напряжение, МПа:	20	–	85	145
	14-25	17	65	125
Ударная вязкость без надреза, кДж/м ²	н.р.	н.р.	100	70
Относительное удлинение при разрыве, %	90	48	120	80
Теплостойкость по Вика, °С	110	200	180	215

Список литературы

1. Стороженко, П.А. Нанодисперсные порошки: методы получения и способы практического применения / П.А. Стороженко, Ш.Л. Гусейнов, С.И. Малашин // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т.4, № 1-2. – С.27-39.
2. Шабанова, Н.А. Химия и технология нанодисперсных оксидов: учебное пособие / Н.А. Шабанова, В.В. Попов, П.Д. Саркисов. – М.: Академкнига, 2006. – 309 с.
3. Glossary of Nanotechnology and related term // Terminology for nanomaterials. – London: BSI. – 2007.
4. Иванов, В.В. Нанопорошки нужны и востребованы современным рынком / В.В. Иванов // Российские нанотехнологии. – 2009. – Т.4, № 1-2. – С.22-26.
5. Kudina, E.F. Modification of Alkali Silicate Solutions by Organic Reagents and Investigation of the Properties of the Final Products / E.F. Kudina, Yu.M. Pleskachevskii // Glass Physics and Chemistry. – 2009. – Vol. 35, No.4. – Pp. 442-448.

ПРОЗРАЧНЫЕ ЭРБИЕВЫЕ СТЕКЛОКЕРАМИКИ ДЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Варакса Ю. А., Синицын Г. В., Ходасевич М. А.

*Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь, m.khodasevich@ifanbel.bas-net.by*

Быстрый рост всемирной коммуникационной сети стимулирует развитие оптических технологий передачи информации в волоконно-оптических системах со спектральным уплотнением каналов. Одними из образующих компонентов таких систем являются усилители на основе волокон, допированных ионами эрбия. Важное направление исследования таких усилителей связано с модификацией материала стеклянной матрицы, который обуславливает штарковское уширение спектра усиления за счет влияния окружения редкоземельных ионов. Для получения широких контуров усиления и повышения технологичности процесса изготовления активного волокна предложено использовать прозрачную стеклокерамику, в которой активатор находится в кристаллической фазе. Стеклокерамику получают при помощи вторичной термообработки стекла, которая позволяет варьировать как объемную долю кристаллической фазы, так и размер кристаллов. Необходимым условием применения стеклокерамики в качестве активной среды волоконных усилителей и лазеров является ее оптическая прозрачность. Для этого размеры кристаллов должны быть существенно меньше используемой длины волны света. Стеклокерамики имеют лучшие механические и термические характеристики по сравнению со стеклами, а также спектрально-люминесцентные свойства, близкие к свойствам монокристаллов-аналогов. Кроме того, стеклокерамические материалы позволяют использовать технологию вытяжки оптического волокна, неприменимую для кристаллов. Таким образом, прозрачную наностеклокерамику, состоящую из стеклянной матрицы и включенных в нее наноразмерных кристаллических частиц, можно рассматривать как материал, который объединяет в себе положительные свойства двух сред.

Наибольший интерес вызывают наностеклокерамики, в которых в качестве кристаллической фазы выступают фторидные кристаллы. Это связано с тем, что они характеризуются узким фононным спектром, высоким квантовым выходом люминесценции и большими временами жизни метастабильных состояний. Первой исследованной в данной работе стеклокерамикой является фторидная стеклокерамика $30\text{SiO}_2\text{-}18\text{PbF}_2\text{-}15\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}5\text{ZnF}_2\text{-}29\text{CdF}_2\text{-}(3\text{-}x)\text{YF}_3\text{-}x\text{ErF}_3$ [1]. Образование нанокристаллов фторида свинца и переход ионов эрбия в кристаллическую фазу в таких стеклокерамиках