

На правах рукописи

Дибирова Камиля Солтахановна

**НАНОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА
АМОРФНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ И
НАНОКОМПОЗИТОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

02.00.06 – высокомолекулярные соединения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук

Нальчик – 2017

Работа выполнена на кафедре физики и методики преподавания
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный педагогический университет»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор
Магомедов Гасан Мусаевич

Официальные оппоненты: **Баженов Сергей Леонидович,**
доктор физико-математических наук,
профессор, ФГБУН «Институт
химической физики им. Н.Н. Семенова
РАН», ведущий научный сотрудник

Ахриев Алихан Султанович
кандидат физико-математических наук,
доцент, ФГБОУ ВО «Ингушский
государственный университет»,
заведующий кафедрой теоретической
физики

Ведущая организация: ФГБУН «Институт нефтехимического
синтеза им. А.В. Топчиева РАН»

Защита состоится «__» _____ 2017 г. в 13.00 часов на
заседании диссертационного совета Д 212.076.09 при ФГБОУ ВО
«Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М.
Бербекова» по адресу: 360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173,
главный корпус, аудитория № 203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова» (<http://diser.kbsu.ru>)

Автореферат разослан «__» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Борукаев Т.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. По масштабу промышленного производства и широте областей применения (плёнки и волокна, электроизоляционные покрытия, литьевые изделия и т.д.) полиолефины не имеют равных себе среди термопластичных полимеров. Этот класс полимеров, включающий полиэтилены, полипропилен и ряд других полимеров, является в настоящее время самым крупнотоннажным из промышленно выпускаемых полимеров. Это объясняется постоянным улучшением физических и механических свойств этих полимеров и появлением новых материалов на их основе в результате непрерывного совершенствования технологии производства и переработки полиолефинов. Благодаря хорошей перерабатываемости, низкой плотности, диэлектрическим свойствам, достаточно высокой прочности, экологичности и низкой стоимости полиолефины широко применяются в различных областях промышленности.

Однако, для прогнозируемого улучшения свойств как аморфно-кристаллических полимеров, к которым относятся полиолефины, так и нанокомпозитов на их основе необходима количественная структурная модель этих материалов и знание соотношений структура - свойства. Решение этой задачи позволяет целенаправленно изменять свойства указанных материалов и определять их предельные характеристики. Одним из способов решения этой проблемы является представление структуры аморфно-кристаллических полимеров (и соответствующих матриц нанокомпозитов) как наносистемы, поскольку все основные структурные элементы полимеров (макромолекулярные клубки, кристаллиты и т.п.) имеют размеры нанометрового масштаба. В настоящее время основное внимание при описании структуры аморфно-кристаллических полимеров уделяется кристаллической фазе, а роль некристаллических областей недооценивается. Кроме того, для

нанокompозитов на основе аморфно-кристаллических полимеров важной проблемой является роль полимерной матрицы в формировании свойств этих наноматериалов. Всё вышесказанное однозначно указывает на необходимость дальнейшего исследования структуры и свойств аморфно-кристаллических полимеров и нанокompозитов на их основе в рамках современных физических моделей.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы является изучение влияния структуры на свойства аморфно-кристаллических полиолефинов как наносистем и её модификации при введении нанонаполнителя. В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

- определение роли кристаллической фазы и её морфологии в формировании структуры аморфно-кристаллических полимеров как целого;
- количественное обоснование моделирования аморфно-кристаллических полимеров как наносистемы (естественных нанокompозитов);
- выяснение роли аморфно-кристаллической полимерной матрицы в формировании свойств нанокompозитов полимер/органоглина;
- определение структурных факторов, влияющих на уровень межфазной адгезии в нанокompозитах полимер/органоглина;
- вывод количественных соотношений для расчёта основных механических характеристик аморфно-кристаллических полимеров и нанокompозитов на их основе.

Научная новизна. Предложена количественная модель, трактующая аморфно-кристаллические полимеры как наносистемы (гибридные естественные нанокompозиты), в которых роль нанонаполнителя играют области локального порядка (нанокластеры), концентрирующиеся в некристаллических областях, и пластинчатые кристаллиты. Показано, что кристаллическая фаза является аналогом

фрактальной решётки, которая определяет структуру и свойства всего, аморфно-кристаллического полимера (полимерной матрицы нанокомпозита). Обнаружено, что свойства нанокомпозитов полимер/органоглина контролируются структурой полимерной матрицы, модифицированной введением нанонаполнителя. Уровень межфазной адгезии полимерная матрица – поверхность нанонаполнителя определяется двумя факторами: натяжением аморфных цепей, которое реализуется в процессе кристаллизации полимера и физическим и/или химическим взаимодействием на межфазной границе. С использованием современных физических концепций (теория перколяции, кластерная модель структуры аморфного состояния полимеров, фрактальный анализ) получен ряд количественных соотношений структура – свойства для рассматриваемых наноматериалов.

Практическая значимость. Полученные количественные соотношения структура – свойства позволяют прогнозировать механические характеристики аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе. Обнаруженная критическая роль кристаллической морфологии в формировании свойств рассматриваемых материалов позволяет целенаправленно изменять их в нужном направлении. Трактовка аморфно-кристаллических полимеров как естественных нанокомпозитов дает возможность учёта изменения свойств некристаллических областей и видоизменения кристаллической фазы в процессе деформирования, которые критическим образом влияют на свойства рассматриваемых полимерных материалов.

Методы диссертационного исследования. Для установления связи структура-свойства аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе использованы методы фрактального анализа, теория перколяции, кластерная модель структуры аморфного состояния полимеров. Соотношение структура-свойства были получены с

использованием широко распространенных методов исследования полимерных материалов: квазистатический метод на одноосное растяжение, микротвердость по методу Шору, ударная вязкость по методу Шарпи. Статистическая обработка данных проведена нахождением ошибок репрезентативности.

Положения, выносимые на защиту:

- фрактальная модель формирования структуры аморфно-кристаллических полимеров, трактующая кристаллическую фазу как аналог фрактальной решётки;
- представление полимерной матрицы нанокompозитов как структурной компоненты, формирующей свойства этих наноматериалов;
- трактовка аморфно-кристаллических полимеров как естественных нанокompозитов;
- количественные соотношения структура – свойства, полученные в рамках фрактального анализа и теории перколяции;
- структурная модель межфазной адгезии.

Обоснованность и достоверность результатов исследования определяется хорошей согласованностью теоретических данных с экспериментальными.

Личный вклад автора. Диссертация представляет собой итог самостоятельной работы автора. Автору принадлежит выбор направления работ, постановка задач, выбор методов и объектов исследования, трактовка и обобщение полученных результатов. Соавторы работ участвовали в обсуждении полученных результатов.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на: IV Международной научно-практической конференции «Молодые учёные в решении актуальных проблем науки» (Владикавказ, 2013); 33-й Международной конференции «Композиционные материалы в промышленности» (Киев, 2013); IX, X, XI, XII Международной научно-

практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы» (Нальчик, 2013, 2014, 2015, 2016); Международном междисциплинарном симпозиуме «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы» (Ростов-на-Дону, 2013); V Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов, DFMN-2013» (Москва, 2013); Всероссийской научно-технической конференции «Новые химические технологии, защитные и специальные покрытия: производство и применение» (Пенза, 2013).

Публикация результатов. По теме диссертации опубликовано 22 статей, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и 8 докладов в сборниках Международных и Всероссийской конференций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, трёх глав собственных исследований, выводов и списка использованной литературы (150 наименований). Работа изложена на 160 страницах, содержит 50 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформированы цель работы, задачи исследования и основные положения, выносимые на защиту. Показана научная новизна и практическая ценность результатов, полученных в работе.

В первой главе дан литературный обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных исследованию структуры и свойств аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов полимер/органоглина на их основе, а также приведено краткое описание основных теоретических концепций (фрактальный анализ, кластерная модель структуры аморфного состояния полимеров, теория перколяции),

используемых в работе. Описаны основные физические доводы в пользу трактовки полимерных систем как наносистем.

Во второй главе приведено краткое описание исследуемых и используемых в качестве полимерного связующего полиолефинов и свойств органоглины, применяемой в качестве нанонаполнителя. Даны методики приготовления нанокомпозитов полимер/органоглина на основе аморфно-кристаллических полимеров и получения образцов для испытаний. Описаны методы выполнения механических испытаний аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе.

В заключении главы дан анализ погрешностей эксперимента и статистическая обработка данных.

В третьей главе рассмотрены структурные особенности аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе.

Совместное применение кластерной модели структуры аморфного состояния полимеров и модели диффузионно-ограниченной агрегации (ДООА) Виттена-Сандера позволило выяснить механизмы формирования областей локального порядка в аморфных стеклообразных и аморфно-кристаллических полимерах. В первом случае таковым является термофлуктуационный механизм, а во втором – механизм натяжения аморфных цепей в процессе кристаллизации. Несмотря на различие механизмов, формирование кластеров в полимерах обоих классов подчиняется общим закономерностям образования агрегатов ДООА. Поэтому они попадают в один класс универсальности со многими явлениями, также подчиняющимися этим закономерностям.

Ранее было показано, что частицы нанонаполнителя формируют в полимерной матрице каркас, обладающий фрактальными (в общем случае - мультифрактальными) свойствами и характеризуемый фрактальной размерностью D_k . Величину размерности D_k можно определить с помощью следующего уравнения:

$$\nu_F = \frac{2,5}{2 + D_k} , \quad (1)$$

где ν_F - показатель Флори, связанный с размерностью макромолекулярного клубка D_f следующим образом:

$$\nu_F = D_f^{-1} . \quad (2)$$

В свою очередь, величину D_f для линейных полимеров даёт следующее уравнение:

$$D_f = \frac{d_f}{1,5} , \quad (3)$$

где d_f - фрактальная размерность структуры полимерного материала.

Как следует из уравнений (1)-(3), величину D_k по существу определяет размерность структуры d_f , которую можно оценить следующим образом:

$$d_f \approx 2 + k , \quad (4)$$

где k - степень кристалличности.

Таким образом, в аморфно-кристаллических полимерах и наноккомпозитах на их основе фрактальное пространство формирует кристаллическая фаза. Было показано, что введение органоглины в полиэтилен высокой плотности (ПЭВП) приводит к изменению кристаллической морфологии матричного полимера, а именно, увеличению диаметра сферолитов D_{cf} примерно в два раза. На рис. 1 приведена зависимость размерности D_k от среднего диаметра сферолитов D_{cf} для наноккомпозитов полиэтилен высокой плотности/Na⁺-монтмориллонит (ПЭВП/ММТ). Как можно видеть, наблюдается линейное увеличение D_k по мере роста D_{cf} , описываемое следующим уравнением:

$$D_k = 2,1 \times 10^{-2} D_{cf} + 2,5 , \quad (5)$$

где D_{cf} даётся в мкм.

В процессе деформирования аморфно-кристаллических полимеров может быть реализован процесс частичного плавления – рекристаллизации

(механического разупорядочения) кристаллической фазы, который количественно описывается в рамках фрактальной концепции пластичности. Согласно этой концепции значение коэффициента Пуассона в точке текучести ν_T можно оценить согласно уравнению:

$$\nu_m = X\nu + 0,5(1 - X) , \quad (6)$$

где X - относительная доля упруго деформированного полимера, ν - коэффициент Пуассона в области упругих деформаций. Величина ν_m принята равной 0,45.

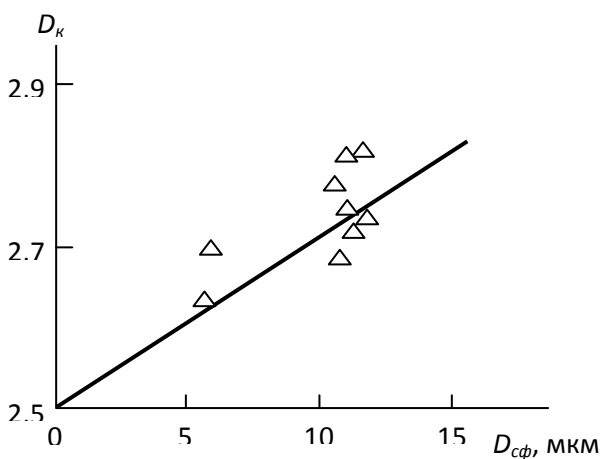


Рис. 1. Зависимость размерности пространства D_k от среднего диаметра сферолитов $D_{cф}$ для нанокompозитов ПЭВП/ММТ.

Расчёт относительной доли кристаллической фазы $\chi_{кр}$, подвергающейся механическому разупорядочению, можно выполнить согласно формуле:

$$\chi_{кр} = \chi - \alpha_{ам} - \varphi_{кл} , \quad (7)$$

где $\alpha_{ам}$ - относительная доля аморфной фазы, равная $(1-k)$, $\varphi_{кл}$ - относительная доля областей локального порядка (нанокластеров).

Параметр $\chi_{кр}$ оказывает существенное влияние на деформационное поведение и механические свойства аморфно-кристаллических полимеров. На рис. 2 приведена зависимость $\chi_{кр}(D_k)$ для нанокомпозитов ПЭВП/ММТ, которая оказалась линейной, что позволяет описать её аналитически следующим уравнением:

$$\chi_{кр} = 1,88(D_k - 2,55) . \quad (8)$$

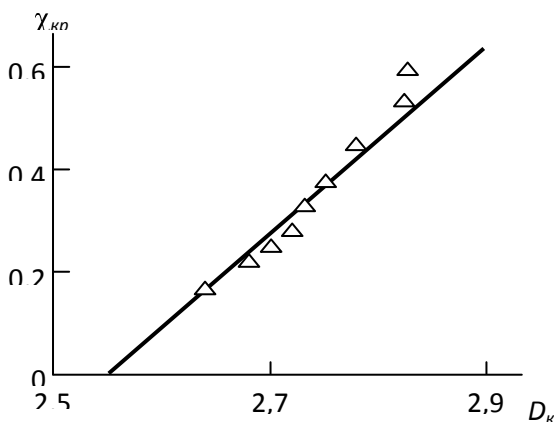


Рис. 2. Зависимость относительной доли кристаллической фазы $\chi_{кр}$, подвергающейся механическому разупорядочению, от размерности пространства D_k для нанокомпозитов ПЭВП/ММТ.

Ещё одной важной характеристикой структуры аморфно-кристаллических полимеров является натяжение аморфных цепей β в процессе кристаллизации, которое определяется так:

$$\beta = \frac{E}{E_{кр}(1 - k)} , \quad (9)$$

где E - модуль упругости полимерного материала, $E_{кр}$ - аксиальный модуль упругости кристаллической компоненты, равный 225 ГПа.

Этот фактор оказывает определяющее влияние на статистическую гибкость аморфных цепей, описываемую характеристическим отношением

C_∞ , и уровень межфазной адгезии, характеризуемый безразмерным параметром b_α :

$$b_\alpha = 2,8 \times 10^3 \beta . \quad (10)$$

Для проверки корректности предложенной концепции использовано уравнение, полученное для нанокомпозитов полимер/органоглина:

$$\frac{E}{E_{am}} = 1 + 0,32k^{1/2}C_\infty\ell_0b_\alpha , \quad (11)$$

где E_{am} - модуль упругости аморфной фазы, в значительной степени определяемый относительной долей нанокластеров $\varphi_{кл}$, в качестве относительной доли нанонаполнителя использована степень кристалличности k , ℓ_0 - длина скелетной связи основной цепи.

На рис. 3 приведено сравнение полученных экспериментально и рассчитанных согласно уравнению (11) зависимостей $E(T)$ для ПЭВП и полиэтилена низкой плотности (ПЭНП).

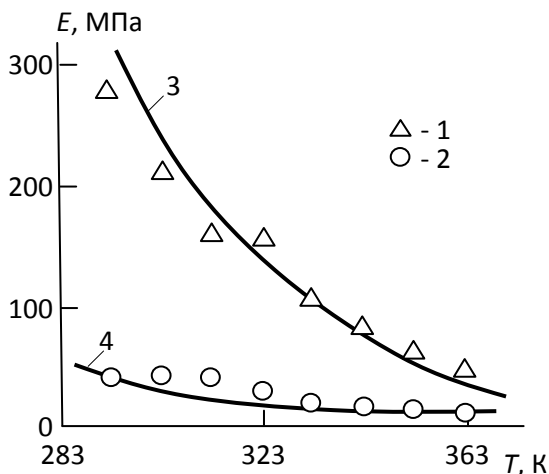


Рис. 3. Температурные зависимости модуля упругости E для ПЭВП (1, 3) и ПЭНП (2, 4). 1, 2 – экспериментальные данные; 3, 4 – расчёт согласно уравнению (11).

Как можно видеть, получено хорошее соответствие теории и эксперимента, подтверждающее корректность как оценки величины b_{α} , так и моделирования аморфно-кристаллических полимеров как гибридных естественных нанокомпозитов (аналог искусственного нанокомпозита полимер/органоглина).

В четвертой главе рассмотрены механизмы усиления (повышения модуля упругости) аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов полимер/органоглина на их основе. Важность этого эффекта общепризнанна – очень часто наполнитель вводят в полимер именно с целью повышения модуля упругости.

Рассмотрим влияние видоизменения структуры матричного полимера, характеризуемой её фрактальной размерностью d_f , при введении нанонаполнителя на модуль упругости нанокомпозитов ПЭВП/органоглина. В табл. 1 приведены значения d_f для ПЭВП и нанокомпозитов полимер/органоглина на их основе. Как следует из данных этой таблицы, введение органоглины приводит к увеличению d_f . Кроме того, эти же данные демонстрируют, что использование совмещающего агента (малеинового ангидрида (МА)), повышающего уровень межфазной адгезии на границе полимерная матрица – органоглина, также увеличивает d_f .

На рис. 4 показана зависимость модуля упругости E рассматриваемых полимерных наноматериалов от относительной доли кристаллической фазы $\chi_{кр}$, подвергающейся механическому разупорядочению. Этот параметр характеризует степень участия кристаллической фазы в формировании упругих свойств этих материалов. Как можно видеть, увеличение $\chi_{кр}$ приводит к линейному росту E и ПЭВП, и нанокомпозитов полимер/органоглина на их основе. Это означает, что введение органоглины, повышая d_f , одновременно увеличивает $\chi_{кр}$, что и

является причиной повышения модуля упругости (усиления) нанокompозитов по сравнению с матричным полимером. При $\chi_{кр} = 0$, т.е., когда в формировании упругих свойств полимерного материала принимает участие только аморфная фаза, модуль упругости невелик и составляет величину $E \leq 320$ МПа. Аналитически приведенную на рис. 4 зависимость можно выразить следующим уравнением:

$$E = 320 + 1900X_{кр}, \text{ МПа} \quad (12)$$

Таблица 1.

Структурные и механические характеристики ПЭВП и нанокompозитов
ПЭВП/органоглина

Матричный полимер	Органоглина	Состав образца ПЭВП/МА/ММТ	d_f	E , МПа	E^T , МПа	Δ , %
Lupolen	-	100/0/0	2,755	932	945	1,4
	-	90/10/0	2,745	877	891	1,6
	Cloisite 15A	98/0/2	2,755	934	900	3,6
		95/0/5	2,768	928	837	9,8
		88/10/2	2,799	1156	1116	3,5
	Cloisite 20A	98/0/2	2,746	917	885	3,5
		95/0/5	2,773	975	874	10,4
		88/10/2	2,797	1147	1119	2,4
	Eltex	-	100/0/0	2,796	1252	1332
-		90/10/0	2,782	1168	1252	7,2
Cloisite 15A		88/10/2	2,805	1283	1308	1,9
		85/10/5	2,824	1379	1316	4,6
Cloisite 20A		88/10/2	2,817	1400	1431	2,2
		85/10/5	2,814	1341	1294	3,5

Примечание: Δ – расхождение между E и E^T .

Максимальное значение E для нанокompозитов ПЭВП/органоглина реализуется при условии $\chi_{кр} = k$ и согласно уравнению (12) равно 1612 МПа для нанокompозитов на основ Lupolen и 1688 МПа – для нанокompозитов на основе Eltex. Характерно, что марка используемой органоглины (Cloisite 15A или Cloisite 20A) не влияет на величину E (рис. 4).

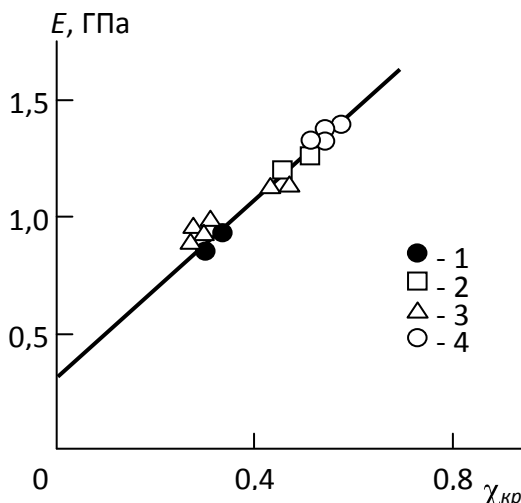


Рис. 4. Зависимость модуля упругости E от доли кристаллической фазы $\chi_{кр}$ подвергающейся механическому разупорядочению, для ПЭВП марки Lupolen (1), Eltex (2) и нанокompозитов ПЭВП/органоглина на их основе (3) и (4), соответственно.

Ранее было показано, что аморфное состояние полимеров можно рассматривать как естественный нанокompозит с содержанием нанонаполнителя $\varphi_{кл}$ и тогда величина модуля упругости E определяется следующим уравнением:

$$E = c \left(\frac{\varphi_{кл} \nu_{кл}}{n_{кл}} \right), \quad (13)$$

где c – константа, равная для полиэтиленов $\sim 5 \times 10^{-27}$ ГПа, $\nu_{кл}$ – плотность кластерной сетки макромолекулярных зацеплений, $n_{кл}$ – число статистических сегментов в одном нанокластере.

Расчёт значений $\varphi_{кл}$ и $\nu_{кл}$ был выполнен с учётом параметра $\chi_{кр}$. На рис. 5 приведено сравнение полученных экспериментально E и рассчитанных согласно уравнению (13) E^T значений модуля упругости для ПЭВП и нанокompозитов полимер/органоглина на их основе. Как можно видеть, получено хорошее соответствие теории и эксперимента. Важно отметить, что данные для ПЭВП и нанокompозитов ПЭВП/органоглина описываются одной прямой. Это подтверждает, что величина E для указанных нанокompозитов определяется структурным состоянием их полимерной матрицы, а не собственно нанопополнителем.

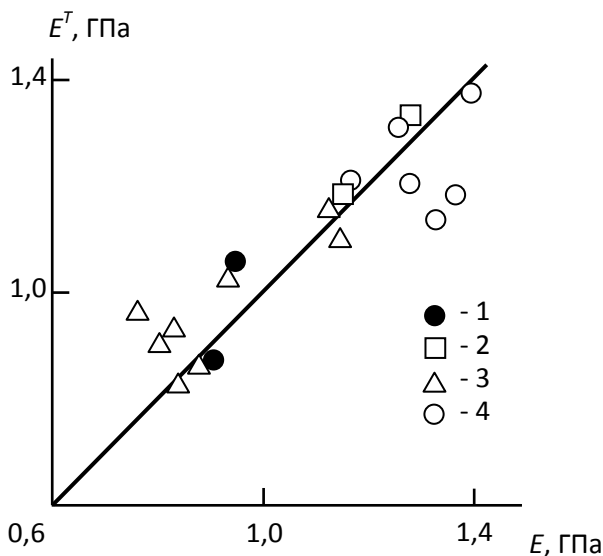


Рис. 5. Сравнение полученных экспериментально E и рассчитанных согласно уравнению (13) E^T значений модуля упругости для ПЭВП марки Lupolen (1), Eltex (2) и нанокompозитов ПЭВП/органоглина на их основе (3) и (4), соответственно.

В пятой главе рассмотрены механические свойства аморфно-кристаллических полимеров и нанокompозитов полимер/органоглина на их основе. Для оценки предела текучести σ_m использована концепция,

рассматривающая участки макромолекул, входящие в плотноупакованные (кристаллические) области как линейные дефекты структуры (аналог дислокаций в кристаллических решётках). В рамках этой концепции величина σ_m даётся уравнением:

$$\sigma_m = \frac{G_n b_e (\rho_d)^{1/2}}{2\pi}, \quad (14)$$

где G_n - модуль сдвига, b_e - вектор Бюргерса, ρ_d - плотность линейных дефектов.

Величина ρ_d определяется следующим образом:

$$\rho_d = \frac{k - \chi_{кр}}{S}, \quad (15)$$

где S - площадь поперечного сечения макромолекулы.

Из уравнения (15) следует, что рост $\chi_{кр}$ приводит к снижению ρ_d , а из формулы (14) вытекает двойное действие на σ_m параметра $\chi_{кр}$: с одной стороны, его увеличение повышает модуль упругости (и, следовательно, величину G_n), а с другой – снижает ρ_d . Поэтому для нанокомпозитов полимер/органоглина предел текучести является наиболее стабильной механической характеристикой, изменяясь в пределах $\sim 20\%$.

Ранее было показано, что ударная вязкость A_p полимерных материалов подчиняется следующему скейлинговому соотношению:

$$\ln A_p \sim (d_p - 4), \quad (16)$$

где d_p - фрактальная размерность поверхности разрушения, определяемая из уравнения:

$$d_p = 2 - \frac{\ln [1 - (\chi_{кр} + \varphi_{p,m})]}{\ln C_x}, \quad (17)$$

где $\varphi_{p,m}$ - относительная доля рыхлоупакованной матрицы аморфной фазы ($\varphi_{p,m} \approx 1 - k$).

На рис. 6 приведена зависимость A_p от $(d_p - 4)$ в логарифмических координатах для ПЭВП, которая соответствует соотношению (16). Из уравнения (17) следует, что основной причиной снижения A_p , т.е., пластичности, для аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе является увеличение $\chi_{кр}$.

Для теоретической оценки микротвёрдости H_0 использован фрактальный вариант эмпирического уравнения Марша:

$$\frac{H_D}{\sigma_m} = \left[0,07 + 0,6 \ln \left(\frac{3d_f}{3 - d_f} \right) \right]. \quad (18)$$

Его применение продемонстрировало, что микротвёрдость характеризует структуру аморфно-кристаллических полимеров как целого, а не его отдельных компонент.

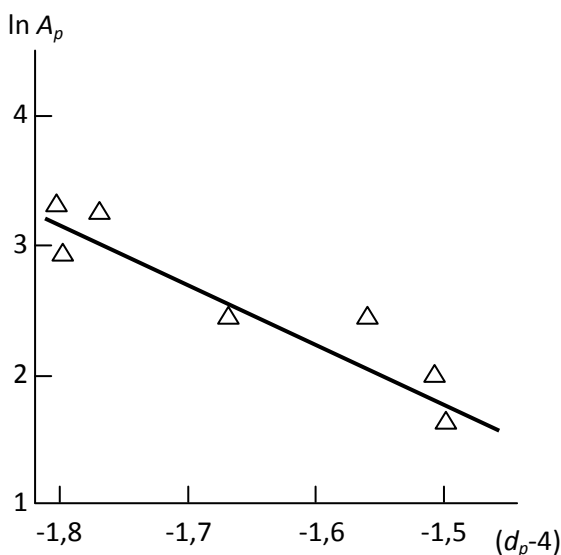


Рис. 6. Зависимость ударной вязкости A_p от величины параметра $(d_p - 4)$ в логарифмических координатах для ПЭВП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований и полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) Аморфно-кристаллические полимеры следует рассматривать как гибридные естественные нанокомпозиты, в которых аморфная фаза армируется двумя типами органического нанонаполнителя: нанокластерами (аналог дисперсных наночастиц) и кристаллитами (аналог органоглины).
- 2) Кристаллическая фаза формирует фрактальное пространство (аналог фрактальной решётки), которое определяет свойства аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе.
- 3) Размерность указанного пространства контролируется только морфологией кристаллической фазы и не зависит от степени кристалличности.
- 4) Формирование областей локального порядка (нанокластеров) реализуется за счёт натяжения аморфных цепей в процессе кристаллизации.
- 5) Свойства нанокомпозитов на основе аморфно-кристаллических полимеров определяются структурой матричного полимера, видоизменённой введением нанонаполнителя, а не собственно нанонаполнителем.
- 6) Свойства нанокомпозитов на основе аморфно-кристаллических полимеров критическим образом зависят от относительной доли жёсткой кристаллической фазы, подвергающейся частичному механическому разупорядочению в процессе деформирования – её увеличение повышает модуль упругости и снижает пластичность.
- 7) Уровень межфазной адгезии в нанокомпозитах на основе аморфно-кристаллических полимеров определяется двумя факторами: натяжением

аморфных цепей и физическими и/или химическими взаимодействиями на межфазной границе полимерная матрица – нанонаполнитель.

8) Введение связующего агента не изменяет первый из указанных факторов, но приводит к повышению второго.

9) В силу способности кристаллитов к частичному механическому разупорядочению они являются гораздо более эффективным нанонаполнителем, чем их неорганический аналог – органоглина.

Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

Публикации в рецензируемых научных журналах:

1. Дибирова, К.С. Описание межфазной адгезии в аморфно-кристаллических полимерах, моделируемых как естественные гибридные нанокompозиты [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов, Г.Е.Заиков, С.Н.Русанова // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т.16. - № 11. - С. 128-130.
2. Дибирова, К.С. Физические основы усиления нанокompозитов полимер//органоглина с аморфно-кристаллической матрицей [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. - 2013. - Т. 10. - № 3. - С. 386-389.
3. Дибирова, К.С. Механизм усиления нанокompозитов полимер/органоглина с аморфно-кристаллической матрицей [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов, А.К.Микитаев // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной Академии Наук. - 2013. - № 1. - Т. 15. - С. 83-87.
4. Дибирова, К.С. Физические основы формирования фрактальных решёток для нанокompозитов с аморфно-кристаллической матрицей

[текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Наноинженерия. - 2013. - № 11(29). - С. 3-7.

5. Дибирова, К.С. Влияние кристаллической морфологии на формирование фрактального пространства для нанокompозитов полимер/органоглина [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Нано- и микросистемная техника. - 2014. - № 1. - С. 27-30.
6. Дибирова, К.С. Роль связующего агента в усилении нанокompозитов полимер/органоглина с аморфно-кристаллической матрицей [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Научно-технические публикации в машиностроении. - 2014. - № 2. - С. 3-6.

Публикации в зарубежных изданиях:

7. Dibirova, K.S. Production and Application of Polymer Nanocomposites [текст] / G.V.Kozlov, K.S.Dibirova, G.M.Magomedov, B.A.Howell, G.E.Zaikov // In book: Foundations of High Performance Polymers. Properties, Performance and Application. Ed. Howell B.A., Hamrand A. Toronto, New Jersey: Apple Academic Press, 2014. - P. 35-42.
8. Dibirova, K.S. Semicrystalline polymers as natural hybrid nanocomposites [текст] / G.M.Magomedov, K.S.Dibirova, G.V.Kozlov, G.E.Zaikov // In book: Key Engineering Materials. V. II. Interdisciplinary Concepts and Research. Ed. Kajzar F., Pearce E.M., Turovskij N.A., Mukbaniani O.V. Toronto: Apple Academic Press, 2014. - P. 307-315.

Другие публикации:

9. Дибирова, К.С. Механизм усиления нанокompозитов с аморфно-кристаллической матрицей на надсегментальном уровне [текст] / М.А.Микитаев, Г.В.Козлов, Б.Ж.Джангуразов, К.С.Дибирова // Новое в полимерах и полимерных композитах. - 2012. - № 3. - С. 67-71.
10. Дибирова, К.С. Механизмы формирования кластеров в аморфной фазе полимеров [текст] / К.С.Дибирова, И.В.Долбин, Г.В.Козлов,

- Г.М.Магомедов // Сборник работ IV Международной научно-практической конференции «Молодые учёные в решении актуальных проблем науки». – Владикавказ: ИПК «Литера», 2013. - С. 68-72.
11. Дибирова, К.С. Аморфно-кристаллические полимеры как естественные нанокомпозиты: структурный анализ микротвёрдости [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Материалы 33-й Международной конференции «Композиционные материалы в промышленности». - Киев: 2013. - С. 214-217.
 12. Дибирова, К.С. Особенности процесса текучести нанокомпозитов полимер/органоглина с аморфно-кристаллической матрицей [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Новые полимерные композиционные материалы». - Нальчик: Изд-во «Принтцентр», 2013. - С. 70-73.
 13. Дибирова, К.С. Аморфно-кристаллические полимеры как естественные нанокомпозиты: межфазная адгезия [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Труды Международного междисциплинарного симпозиума «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы». - Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ ЮФУ АПСН, 2013. - С. 125-128.
 14. Дибирова, К.С. Взаимосвязь кристаллической морфологии и степени усиления для нанокомпозитов полимер/органоглина [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Нанотехнологии. Наука и производство. - 2013. - № 4(2). - С. 53-57.
 15. Дибирова, К.С. Соотношение модуль упругости – предел текучести для аморфно-кристаллических полимеров – структурная модель [текст] / К.С.Дибирова, Г.М.Магомедов, Г.В.Козлов // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Новые

- химические технологии, защитные и специальные покрытия: производство и применение». - Пенза: ПГУ, 2013. - С. 13-16.
16. Дибирова, К.С. Энергетика разрушения нанокомпозитов полимер/органоглина с аморфно-кристаллической матрицей [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Сборник материалов V Международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов. DFMN-2013». - Москва: ИМЕТ РАН, 2013. - С. 587-589.
 17. Дибирова, К.С. Структурный анализ теплопроводности аморфно-кристаллических полимеров [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Тепловые процессы в технике. - 2014. - Т. 6. - № 1. - С. 37-40.
 18. Дибирова, К.С. Фрактальный анализ разрушения нанокомпозитов полиэтилен высокой плотности/органоглина при ударном нагружении [текст] / К.С.Дибирова, Г.М.Магомедов, Г.В.Козлов, Г.Е.Заиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. - 2014. - № 2. - С. 18-19.
 19. Дибирова, К.С. Связь молекулярного, надсегментального и морфологических уровней в нанокомпозитах полиэтилен высокой плотности/органоглина [текст] / Г.М.Магомедов, К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, А.К.Микитаев // Энциклопедия инженера-химика. - 2014. - № 3. - С. 14-17.
 20. Дибирова, К.С. Теоретический анализ процесса текучести нанокомпозитов полиэтилен высокой плотности/органоглина [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов, Г.Е.Заиков // Энциклопедия инженера-химика. - 2014. - № 7. - С. 28-31.
 21. Дибирова, К.С. Теоретический анализ процесса текучести нанокомпозитов полиэтилен высокой плотности/органоглина [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов, Г.Е.Заиков // Пластические массы. - 2014. - № 3-4. - С. 24-25.

22. Дибирова, К.С. Описание упругости аморфно-кристаллических полимеров в рамках композитных моделей [текст] / К.С.Дибирова, Г.В.Козлов, Г.М.Магомедов // Энциклопедия инженера-химика. - 2015. - № 1. - С. 5-8.