

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертационную работу Дибировой Камели Солтахановны  
«Наноструктуры и свойства аморфно-кристаллических полимеров и  
нанокompозитов на их основе» на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
02.00.06 – высокомолекулярные соединения

Исследование композитных материалов, состоящих из полимерной матрицы и «наноразмерного» наполнителя, является в настоящее время бурно развивающимся научным направлением физики высокомолекулярных соединений. Можно отметить, что недостаточно полно исследовано влияние структуры на свойства, полимеров и нанокompозитов на их основе. Недостаточно изучена связь между свойствами и структурой нанокompозитных материалов. Не проведено сравнение физических свойств полимерных нанокompозитов, а также теоретических моделей и экспериментальных данных. Тема диссертационной работы Дибировой К.С. актуальна, так как в ней ставится задача определения роли кристаллической фазы и её морфологии в формировании структуры аморфно-кристаллических полимеров как целого, количественного обоснования моделирования аморфно-кристаллических полимеров как наносистемы (естественных нанокompозитов), выяснения роли аморфно-кристаллической полимерной матрицы в формировании свойств нанокompозитов полимер/органоглина, определения структурных факторов, влияющих на уровень межфазной адгезии в нанокompозитах полимер/органоглина, вывода количественных соотношений для расчёта основных механических характеристик аморфно-кристаллических полимеров и нанокompозитов на их основе.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов. Общий объем 160 стр., включая 50 рисунков и 5 таблиц; список литературы включает 150 наименований.

Целью диссертационной работы является изучение влияния структуры на свойства аморфно-кристаллических полиолефинов как наносистем и их модификации при введении нанонаполнителя..

Научная новизна заключается в том, что предложена количественная модель, трактующая аморфно-кристаллические полимеры как наносистемы, роль нанонаполнителя в которых 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. Выявлено, 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. Количественные соотношения структура – свойства получены с использованием современных физических концепций и обусловлена высоким уровнем теоретических и экспериментальных исследований.

Основные результаты опубликованы в ведущих научных журналах и прошли апробацию на Международных и Всероссийских научных конференциях.

Практическая значимость работы: 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.

Глава первая традиционно является литературным обзором, в котором осуществлен анализ имеющихся литературных данных по тематике исследования, в котором содержится анализ данных о структуре, физических и механических свойствах аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе.

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.

Третья глава содержит структурные особенности аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов на их основе. Были выявлены механизмы формирования областей локального порядка в аморфно-стеклообразных и аморфно-кристаллических полимерах. Формирование кластеров в полимерах обоих классов подчиняется общим закономерностям образования агрегатов ДОА.

В аморфно-кристаллических полимерах и нанокомпозитах на их основе фрактальное пространство формирует кристаллическая фаза. Введение органоглины в ПЭВП приводит к изменению кристаллической морфологии матричного полимера.

В процессе деформирования аморфно-кристаллических полимеров может быть реализован процесс частичного плавления кристаллической фазы.

Установлено, что значение относительной доли кристаллической фазы  $\chi_{кр}$ , подвергаясь механическому разупорядочению оказывает существенное влияние на деформационное поведение и механические свойства аморфно-кристаллических полимеров.

Натяжение аморфных цепей  $\beta$  в процессе кристаллизации является одной из важнейших структурных характеристик аморфно-кристаллических полимеров и оказывает определяющее влияние на статистическую гибкость аморфных цепей и на уровень межфазной адгезии.

**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. Исследования показали, что введение органоглины, повышая фрактальную размерность, одновременно увеличивает  $\chi_{кр}$ , что и является причиной повышения модуля упругости  $E$ .

Для ПЭВП и нанокомпозитов ПЭВП/органоглина величина модуля упругости  $E$  определяется структурным состоянием их полимерной матрицы, а не собственно нанонаполнителем.

**В главе 5** рассмотрены механические свойства (предел текучести, ударная вязкость и микротвердость) аморфно-кристаллических полимеров и нанокомпозитов полимер/органоглина на их основе.

Для нанокомпозитов полимер/органоглина предел текучести является наиболее стабильной механической характеристикой, изменяясь в пределах – 20%. Ударная вязкость полимерных материалов снижается по мере увеличения относительной доли кристаллической фазы, подвергающейся механическому разупорядочению. Теоретическая оценка микротвёрдости, при использовании фрактального варианта эмпирического уравнения Марша продемонстрировало, что микротвёрдость характеризует структуру аморфно-кристаллического полимеров как целого, а не его отдельных компонент.

Таким образом, 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.

Результаты исследований сопоставлены с данными теоретических расчетов моделей. Научные положения и выводы интерпритированны с точки зрения современных апробированных теорий и уровня развития экспериментальных исследований.

В целом работа Дибировой К.С. является законченной научно-квалификационной работой, вносящий вклад в физикуполимеров и нанокомпозитов на их основе. Автореферат и опубликованные статьи полностью отражают содержание диссертации. Основные результаты работы опубликованы в научных журналах, сборниках и доложены на конференциях. В качестве замечания можно отметить следующие недостатки:

- Соискатель использует для обозначения одних и тех же величин различные размерности, что создает определенные затруднения в анализе данных. Так, модуль упругости в некоторых местах работы оценивается в МПа, в других ГПа.

- На рисунках не представлены погрешности экспериментальных результатов.

- В диссертации и автореферате имеются опечатки и стилистические неточности, в том числе и в терминологии.

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Дибировой Камили Солтахановны «Наноструктуры и свойства аморфно-

