

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Сопотова Ростислава Игоревича «**Связующие для композиционных  
материалов на основе эпоксидного олигомера, модифицированного  
смесью термопластов**»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов

### **Актуальность работы**

Разработка новых высокопрочных армированных пластиков на основе эпоксидных полимеров является одним из перспективных направлений современной науки и технологии. Несмотря на то, что разработка композиционных материалов на основе эпоксидных олигомеров ведется давно, модифицирование эпоксидных связующих для улучшения эксплуатационных свойств остается перспективным направлением химии и технологии полимеров. Поскольку пластики на основе эпоксидных олигомеров используются для создания ответственных деталей и конструкций в машиностроении, в авиационной и космической индустрии, в строительстве и т.п., то они должны обладать высокой стойкостью к ударным нагрузкам и сопротивлению к растрескиванию. Поэтому **актуальность** работы не вызывает сомнений.

### **Научная новизна работы**

**Научная новизна** работы Сопотова Ростислава Игоревича состоит в том, что разработаны и изучены композиционные материалы на основе модифицированных эпоксидных связующих, предложен оригинальный подход к исследованию кинетики отверждения эпоксидного связующего при добавлении термопластов, найдена корреляция между морфологией отвержденной композиции и ее прочностными характеристиками.

**Практическая ценность** работы Ростислава Игоревича отмечена в получении композиционных материалов в виде колец методом мокрой намоткой по безрастворной технологии. Расширенные испытания показали перспективность данных материалов благодаря высокой трещиностойкости, теплостойкости и прочности.

### **Структура диссертации**

Диссертация включает в себя введение, где указана актуальность модификации эпоксидных олигомеров термопластами; обзор литературы, посвященный рассмотрению современного состояния изучаемой проблемы и достижений по созданию полимерных композиционных материалов и изучению их свойств; раздел, в котором изложены результаты экспериментов и их обсуждение; выводы; библиографический список из 134 наименований. Диссертация изложена на 190 страницах машинописного текста, включая 122 рисунка и 14 таблиц.

Общее содержание работы достаточно полно отражено в рисунках и таблицах. Полученные результаты обсуждены в соответствующих разделах и обобщены в выводах.

В **первой главе** литературного обзора диссертант дает анализ современного уровня научных исследований в области модификации эпоксидных олигомеров термопластами. Приведены данные о влиянии химической природы, содержания термопластов на физико-химические свойства эпоксидных полимеров. Представлены возможные механизмы процесса отверждения эпоксидных связующих, а также разрушения при действии нагрузки при введении в систему термопластичных модификаторов. Также рассмотрены теоретические основы получения армированных пластиков на основе связующего и волокнистых наполнителей, теоретические подходы изучения свойств отверждающихся систем до наступления гелеобразования.

Автор подтвердил актуальность диссертации в направлении разработки композитных материалов на основе эпоксидного связующего с повышенным сопротивлением образованию трещин и действию ударных нагрузок.

Во **второй главе** диссертации приведены физико-химические характеристики основных объектов исследования: эпоксидного олигомера ЭД-20, отвердителя ДАДФС, термопластов ПЭИ, ПК, ПСФ, ПЭСФ, стекловолокна РВМН-10-420-80, описан метод мокрой намотки для получения однонаправленных композитов на основе модифицированных эпоксидных олигомеров, а также представлены методики исследования морфологии (сканирующая электронная микроскопия) и свойств композиционных материалов (дифференциальная сканирующая спектроскопия, вискозиметрия, термомеханический метод, методы определения адгезионной прочности, а также различные методики испытания на прочность). Перечень используемых методик позволяет утверждать об их достаточности для решения поставленной задачи в диссертации.

Известно, что основным недостатком эпоксидных полимеров является хрупкость, низкая устойчивость к растрескиванию. Наиболее эффективным способом устранения этих недостатков может быть модификация эпоксидных связующих соответствующими добавками. Для решения этой задачи в **третьей главе** диссертационной работы Сопотова Р.И. был рассмотрен ряд термопластов для комплексного улучшения свойств композитов на основе эпоксиамидных олигомеров. Для изучения влияния вводимых добавок был использован оригинальный реокинетический подход анализа протекания отверждения модифицированных эпоксидных связующих. При проведении вискозиметрических исследований было показано, что при введении термопластов наблюдается изменение скорости процесса отверждения, зависящее от температуры проведения эксперимента. Кроме этого в зависимости от природы модификатора-термопласта, например, в случае полиэфиримида и полисульфона, происходит фазовое разделение в эпоксидной системе, сопровождающееся снижением вязкости. Было показано, что степень

фазового разделения можно регулировать путем изменения соотношения термопластов, обладающих разной совместимостью по отношению к эпоксидному связующему.

Автором было установлено, что время гелеобразования эпоксидного связующего зависит от ряда факторов, а именно от температуры процесса, содержания и природы термопластов, их соотношения. Описание процесса отверждения эпоксидной системы в работе проводилось, разделяя две стадии – гелеобразование и процесс сшивки, которые описываются соответствующими уравнениями.

Более детальное исследование отверждения модифицированных эпоксидных связующих проводилось на составах, характеризующихся разной степенью фазового разделения компонентов. Было установлено, что термопластичные модификаторы влияют на скорость отверждения связующего. Исследования физико-механических свойств показали, что модифицированные термопластами эпоксидные полимеры обладают более высокими значениями трещиностойкости (рост в 1,5 раза), ударной вязкости (рост в 3-5 раза) по сравнению с ненаполненной системой. Наилучшими прочностными характеристиками обладают эпоксидные полимеры, содержащие смесь модификаторов, например, полиэфирдида (5 м.ч.) и поликарбоната (5 м.ч.).

Все научные положения, сформулированные в работе Сопотова Р.И., и сделанные на их основе выводы и рекомендации вполне обоснованы и достоверны, т.к. базируются на экспериментальном материале, выполненном на высоком научном уровне с привлечением надежных современных физико-химических методов исследования.

По работе можно сделать следующие замечания и рекомендации:

1. В работе одним из важных факторов, влияющих на процесс отверждения эпоксидного связующего и на свойства полимера, указана степень фазового разделения компонентов. Однако автор не провел анализ литературных данных по этому вопросу. Кроме этого, было бы полезно оценить степень фазового разделения при введении

термопластичных модификаторов в эпоксидный олигомер другими методами. Также не сделан анализ влияния степени фазового разделения в системе эпоксидное связующее-термопластичный модификатор на скорость отверждения в системе.

2. Было показано, что размер частиц фазы модификатора влияет на ударную вязкость. Однако следовало представить методику определения размера частиц дисперсной фазы.
3. В работе нет обоснования выбора термопластичных модификаторов.

Несмотря на указанные недостатки, рецензируемая работа заслуживает положительной оценки. Диссертация Сопотова Р.И. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны связующие для стеклопластиков с высокими прочностными характеристиками. По своей новизне, значимости полученных результатов, личному вкладу автора диссертация соответствует критериям, установленным п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 и содержит научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для разработки связующих для композиционных материалов.

Работа соответствует паспорту специальности 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов в пунктах 2. Физико-химические основы технологии получения и переработки полимеров, композитов и изделий на их основе, включающие стадии синтеза полимеров и связующих, смешение и гомогенизацию композиций, изготовление заготовок или изделий, их последующей обработки с целью придания специфических свойств и формы и

3. Физико-химические основы процессов, происходящих в материалах на стадии изготовления изделий, а также их последующей обработки.

Основные результаты изложены в 8 печатных работах: в том числе 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, 4 тезисах докладов конференций и симпозиумов.

Автор диссертации Сопотов Ростислав Игоревич достоин присуждения  
искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов.

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
лаборатории криохимии  
(био)полимеров Института  
элементоорганических соединений  
им. А.Н. Несмеянова

Подорожко Елена Анатольевна

Подпись Е.А. Подорожко заверяю

*специалист*



Кандидат технических наук

Старший научный сотрудник лаборатории криохимии (био)полимеров  
ИНЭОС РАН им. А.Н. Несмеянова

адрес: 119991, Россия, ГСП-1, г. Москва, В-334, ул. Вавилова, д. 28,

телефон: (499) 135 13 85

e-mail: epodorozhko@mail.ru