

## ОТЗЫВ

официального оппонента Кондрашова Станислава Владимировича  
на диссертационную работу Петровой Туяры Валерьевны  
«Низковязкие эпоксидно-полимерные связующие для намоточных  
армированных пластиков с повышенной трещиностойкостью»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
1.4.7 – Высокомолекулярные соединения

Диссертация Петровой Туяры Валерьевны посвящена важной научно-практической проблеме создания армированных пластиков с повышенной трещиностойкостью. Высокую трещиностойкость пластикам, армированным непрерывными волокнами, обеспечивает полимерная матрица. В настоящее время при изготовлении высокопрочных армированных пластиков в основном применяют эпоксидные связующие. В отвержденном состоянии эпоксидные олигомеры характеризуются достаточно низкой трещиностойкостью.

Известно, что для повышения сопротивления эпоксидных матриц росту трещин в связующие добавляют различные модификаторы. Это могут быть частицы разной природы, каучуки, теплостойкие термопластичные полимеры и др. Из перечисленных модификаторов наиболее перспективно использование теплостойких термопластов, которые не снижают теплостойкость терморезистивных матриц и значительно повышают значения трещиностойкости. Добавление термопластов в эпоксидные связующие существенно повышает их вязкость, что снижает технологичность смесевых композиций. Использование летучих растворителей для снижения вязкости смесевых связующих может привести к образованию пор в матрице армированных пластиков. Таким образом, разработка низковязких эпоксидно-полимерных связующих без использования летучих растворителей, обеспечивающих высокую трещиностойкость армированных пластиков на их

основе, несомненно актуальна. Цель представленной диссертации заключается в разработке принципов создания низковязких эпоксиполимерных связующих и армированных пластиков с повышенной трещиностойкостью. При этом в работе применен комплексный подход к достижению поставленной цели, последовательно включающей в себя все этапы разработки материала: от подбора и исследования смесевых связующих, определение свойств и механизмов разрушения гибридных многокомпонентных матриц и собственно создание и исследования свойств и механизмов разрушения армированных пластиков.

Диссертационная работа имеет классическое построение и состоит из введения, семи глав, заключения, списка сокращений и использованной литературы. В первой главе работы приведен литературный обзор, вторая глава описывает экспериментальную часть, в остальных пяти главах приведены результаты работы автора и их обсуждение. Диссертация изложена на 153 страницах, содержит 30 формул, 22 таблиц, 51 рисунок, 130 цитируемой литературы.

В литературном обзоре (глава 1) последовательно рассмотрены способы повышения трещиностойкости терморезистивных матриц. Проведены сравнения эффектов увеличения трещино- и ударостойкости матриц и армированных пластиков в зависимости от типа модификатора. Обоснован выбор в качестве модифицирующей добавки термостойких термопластов. Рассмотрены механизмы разрушения матриц и армированных пластиков при введении в эпоксидное связующее термопласта. Описаны проблемы, связанные с переработкой смесевых связующих. Последовательность литературного обзора приводит к обоснованию выбранной цели и задач диссертационной работы, а также выбору использованных в работе материалов для изготовления связующих, матриц и армированных пластиков.

В экспериментальной части диссертации (глава 2) описаны свойства материалов, методы получения связующих, матриц и однонаправленных

армированных пластиков. Подробно описан весь комплекс методик испытаний на всех этапах создания полимерных композиционных материалов на основе многокомпонентных гибридных матриц. Многокомпонентные гибридные связующие исследованы с помощью реологических и реокинетических методов. Матрицы были исследованы методами дифференциально-сканирующей калориметрии, динамического механического анализа. Проведены испытания для определения упруго-прочностных свойств как матриц, так и армированных пластиков. Подробно исследованы поверхности разрушения образцов методом сканирующей электронной микроскопии.

Результаты работы и их обсуждение приведены в пяти главах 3-7. В третьей главе описаны результаты исследования эпоксиполисульфоновых связующих, модифицированных активным разбавителем. Подобран активный разбавитель фурфурилглицидиловый эфир, доказана его совместимость с эпоксиполисульфоновой смесью в диапазоне температур переработки связующего. Определены оптимальные температурные диапазоны переработки гибридных связующих. Показано, что введение активного разбавителя в эпоксиполисульфоновые связующие снижает температуру переработки таких смесей на 20°C по сравнению с немодифицированными. При этом полученные связующие успешно переработаны классическими методами изготовления намоточных армированных пластиков. Четвертая глава описывает исследования эпоксидных матриц, модифицированных полисульфоном и фурфурилглицидиловым эфиром. Показано, что добавление фурфурилглицидилового эфира в эпоксиполисульфоновые смеси оказывает пластифицирующий эффект на термореактивную фазу гибридных матриц. Трещиностойкость модифицированных эпоксиполисульфоновых матриц в три раза выше исходной эпоксидной матрицы. В пятой главе приведены физико-механические свойства однонаправленных угле- и стеклопластиков. Как и для матриц, трещиностойкость армированных пластиков на основе

модифицированных композиций осталась на высоком уровне. Ударостойкость армированных пластиков практически не меняется как при добавлении активного разбавителя, так и при добавлении полисульфона. В шестой главе описаны механизмы разрушения гибридных матриц и армированных пластиков. Установлена связь между конечной фазовой структурой и значениями трещиностойкости модифицированных матриц и армированных пластиков. Показано, что значительное повышение трещиностойкости модифицированных эпоксиполисульфоновых матриц и армированных пластиков на их основе происходит в случае формирования протяженных фаз термопласта в эпоксидной матрице и их высокой степени вовлеченности в процесс образования трещины. В седьмой главе установлена зависимость сопротивления росту трещин модифицированных эпоксиполисульфоновых матриц и армированных пластиков на их основе.

**Научная новизна** диссертации Петровой Т.В. не вызывает сомнения. Она заключается в создании гибридного смесового связующего с регулируемой структурой, переработка которого осуществляется при пониженной температуре. При этом установлено, что значительное (от 2-х до 4-х раз) повышение трещиностойкости гибридных матриц достигается при образовании протяженных структур, образованных фазой, обогащенной термопластом. При этом добавление активного разбавителя имеет регулируемую функцию при формировании фазовой структуры эпоксиполисульфоновых матриц, как в свободном объеме, так и в условиях стеснения армирующими волокнами.

Также к научной новизне следует отнести установленные в работе закономерности разрушения гибридных матриц и армированных пластиков на их основе, что делает возможным получение армированных пластиков с заданными упруго-прочностными свойствами.

Полученные результаты имеют **практическую значимость** для создания изделий из полимерных композиционных материалов на основе низковязких гибридных смесовых связующих с направленным

регулированием их конечной структуры, обеспечивающей повышенные значения трещиностойкости. Кроме этого, полученные данные и зависимости могут быть использованы при моделировании и прогнозировании свойств гибридных полимерных композиционных материалов. Практическая значимость работы подтверждена патентом на изобретение.

Работа выполнена на высоком научном уровне, выводы основаны на достоверных экспериментальных результатах и последовательно изложены. Достоверность результатов и выводов диссертации обеспечена соблюдением соответствующих методик, использованием современных методов исследования и анализом точности измерений. По результатам диссертационной работы опубликованы 4 статьи в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК, 1 патент, 8 тезисов докладов. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Однако при прочтении диссертации возникли следующие замечания:

1. В тексте диссертации стр.45, табл.11 примечание и автореферата стр.9, табл.2, примечание указано, что «19, 38,57 мас.% ПСФ и ФГЭ эквивалентно 10,20,30 мас.% соответственно». В данном контексте использование слова «эквивалентно», с точки зрения оппонента, не корректно.
2. В тексте диссертации табл.15 указано, что температура стеклования смеси П15/Ф20 составляет 108°C, что больше чем  $T_g$  для смеси (П20/Ф0). С другой стороны, из графика 33 на стр 91 видно, что температура стеклования для смеси П15/Ф20 оказывается меньшей по сравнению со смесью сравнения. Почему температура стеклования гетерогенных матриц, определенная методом ДСК, отличается от значений температуры стеклования, полученных методом ДМА.
3. В работе автор использовал два основных класса армирующих волокон для создания ПКМ – углеродные и стеклянные. Сохранится ли эффект увеличения трещиностойкости в случае армирования

гибридных матриц органическими волокнами, например арамидными?

Указанные замечания не снижают высокую оценку диссертационной работы. Диссертация Петровой Т.В. представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, в котором решены важные научные и практические задачи в области создания полимерных композиционных материалов с повышенной трещиностойкостью.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Петрова Туяра Валерьевна заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.4.7 – Высокомолекулярные соединения.

#### Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), доктор технических наук (2.6.17)

«16» января 2024 г.

Кондрашов Станислав Владимирович

Подпись д.т.н. Кондрашова Станислава Владимировича заверяю



И. НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ  
ПЕТРОВА О. В.  
ЕП. 8-499-263-60-48

105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

Тел.: 8-909-927-77-10, email: stasru\_59@mail.ru