

## **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИПОЛИСУЛЬФОНОВОЙ МАТРИЦЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФУРФУРОЛАЦЕТОНОВЫМ ОЛИГОМЕРОМ**

Алексей Валерьевич Кирейнов

*Аспирант 1 года обучения,  
кафедра «Технологии обработки материалов»  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: И.В. Бессонов,  
ведущий инженер МИЦ КМ.*

Пластики, армированные непрерывными волокнами, нашли широкое применение в разных отраслях техники [1,2]. Однако в настоящее время такие материалы должны обладать не только высокой прочностью, но и рядом специфических свойств, например, высокой трещиностойкостью, стойкостью к удару и высокими барьерными характеристиками.

Для решения поставленных задач все шире применяют теплостойкие термопласты [3]. Однако использование этих полимеров в качестве модификаторов для эпоксидных смол связано с рядом технологических проблем и прежде всего с высокой вязкостью системы эпоксидная смола – термопласт [4]. Существует два пути их решения. Первый заключается в применении легколетучих растворителей. Основной недостаток этого способа - высокая пористость полученного изделия. Второй - в применении активного разбавителя, который хорошо совмещается с эпоксиполисульфоновой системой. Один из таких разбавителей - фурфуролацетонная смола ФА5 [5,6,7], синтезированная в лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана. Синтетические смолы на основе фурфурола нашли широкое применение в качестве связующих благодаря таким свойствам, как устойчивость к горению и кислотам, малая вязкость, хорошие физико-механические свойства, низкая цена.

В работе исследуются реологические свойства эпоксиполисульфоновых связующих, модифицированных ФА5 и физико-механические свойства стеклопластиков на их основе.

В качестве связующего использовали эпоксидный олигомер LY-556 (HUNTSMAN). Модификаторами служили полисульфон ПСК-1, концентрация которого составляла 10 и 20 м.ч. и фурановая смола ФА5, содержание которой составляло 10 м.ч. от LY-556. Полимерные смеси получали перемешиванием компонентов при температуре 100 °С в течение 2-6 ч. В результате они полностью совмещались. Приготовленные смеси исследовали на ротационном вискозиметре Реотест 2-11 при температурах от 80 °С до 120 °С в широком диапазоне скоростей сдвига. Далее в приготовленные системы вводили отвердитель триэтаноламинотитанат (10 м.ч. от LY-556). Стеклопластики изготавливали методом намотки стеклянной ровницы РВМПН 10-420-80 на цилиндрические оправки. Затем намотанные образцы отверждали 2 ч при температуре 120 °С и 6 ч при 160 °С. Кольцевые образцы разрезали на сегменты в зависимости от вида испытания.

Прочность при сдвиге определяли методом короткой балки [8] при квазистатической и динамической скоростях нагружения. Удельную вязкость разрушения  $G_{IR}$  измеряли по методу расслоения двухконсольной балки [9].

Показано, что при введении 10 м.ч. ФА5 значительно снижается вязкость эпоксиполисульфонового связующего. Такое снижение вязкости позволило перейти к традиционной намотке [4] стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной 10 м.ч. ПСК-1 и 10 м.ч. ФА5. При более высокой концентрации ПСК-1 (20 м.ч.) в эпоксидном связующем, содержащем 10 м.ч. фуранового олигомера, отказаться от технологии намотки для высоковязких связующих [4] не удалось. Однако, добавление ФА5 позволило снизить температуру намотки на 20 °С без потери качества стеклопластиков.

Все образцы стеклопластиков имели практически одинаковую пористость, около 1 об. %. Содержание волокна составляет около 70 об. %. Модифицирование эпоксидного олигомера

полисульфоном ПСК-1 и фурфуролацетоновым олигомером ФА5 мало влияет на прочность стеклопластиков при сдвиге. Добавление 10 м.ч. ФА5 в эпоксидную матрицу снижает трещиностойкость на 20 % (см. рис. 1). Введение 10 м.ч. ПСК-1 в LY-556 повышает трещиностойкость стеклопластика на 61 %. Однако, совместное использование компонентов в этом случае не приводит к значительному росту трещиностойкости. Эффект от совместного введения фуранового олигомера и полисульфона достигается при использовании эпоксидных композиций, содержащих 10 м.ч. частей ФА5 и 20 м.ч. ПСК-1. Значение  $G_{IR}$  удалось повысить на 78 %. Следует отметить, что разница между композициями LY556 + 20 м.ч. ПСК-1 и LY556 + 20 м.ч. ПСК-1 + 10 м.ч. ФА5 небольшая и соизмерима с разбросом данных.

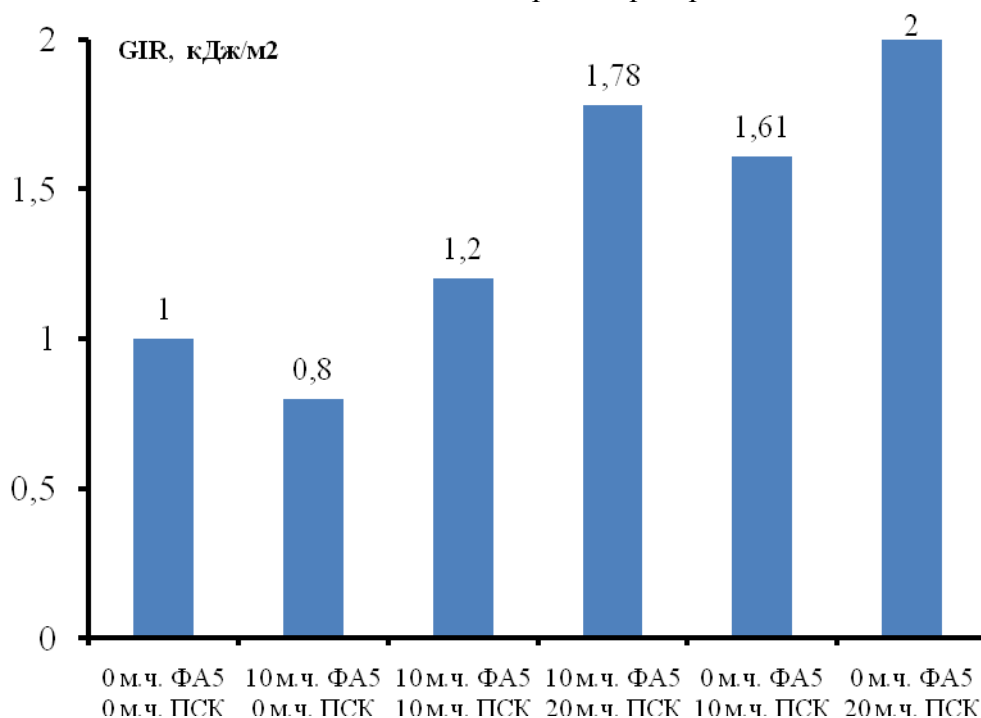


Рис. 1. Трещиностойкость  $G_{IR}$  стеклопластиков на основе эпоксидной матрицы, модифицированной фурановым олигомером ФА5 и полисульфоном ПСК-1.

Таким образом модифицирование эпоксиполисульфонового связующего фурфуролацетоновой смолой ФА5 позволяет существенно снизить вязкость гибридной композиции и значительно улучшить трещиностойкость стеклопластиков на ее основе.

### Литература

1. Нелюб В.А., Гращенков Д.В., Коган Д.И., Соколов И.А. Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков //Химическая технология. 2012. № 12. С.735-739.
2. Нелюб В.А. Технологии производства деталей опор линий электропередач из эпоксидных связующих методами намотки // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №6. С.25-29.
3. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: 2006. 610 с.
4. В. И. Солодилов, Ю. А. Горбаткина. Свойства однонаправленных стеклопластиков на основе эпоксидной смолы, модифицированной полисульфоном или эпоксиуретановым олигомером // Механика композитных материалов.— 2006.— т. 42, № 6. — с. 739—758.

5. *И.В. Бессонов, М.Н. Копицына, В.А. Нелюб.* Использование фурфурилиденацетонов в качестве активных разбавителей для снижения вязкости эпоксидных смол. Журнал общей химии, 2014, № 12. С. 2023-2028.
6. *Полежаев А.В., Бессонов И.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.С., Бородулин А.С.* Исследование реакции конденсации фурфурола с ацетоном // Энциклопедия инженера-химика. 2013. № 1. С.36-43.
7. *Бессонов И.В., Нелюб В.А., Буянов И.А., Чуднов И.В., Бородулин А.С.* Разработка технологической базы для производства синтетических связующих на основе растительного биовозобновляемого сырья // Клеи. Герметики. Технологии. 2012. №8. С.47-48.
8. Композиционные материалы / Под ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнапольского. — М.: Машиностроение, 1990. — 512 с.
9. *В.И Солодилов, С.Л Баженов, Ю.А Горбаткина, А.М. Куперман.* Определение энергии межслоевого разрушения стеклопластика на образцах в виде сегментов кольца // Механика композитных материалов. – 2003.- т. 38. - № 5 – с. 615 - 626.