

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО СШИВАНИЯ НА ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ АРМИРОВАННОГО УГЛЕРОДНЫМИ ВОЛОКНАМИ СОПОЛИМЕРА ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С ЭТИЛЕНОМ

© 2022 г. В. П. Селькин^a, *, С. В. Копылов^b

^aИнститут механики металлокомпозитных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларусь, ул. Кирова, 32А, Гомель, 246050 Беларусь

^bМосковский политехнический университет, ул. Б. Семеновская, 38, Москва, 107023 Россия

*E-mail: selkin_v@mail.ru

Поступила в редакцию 12.04.2022 г.

После доработки 10.05.2022 г.

Принята к публикации 15.05.2022 г.

DOI: 10.31857/S0023119322050151

ВВЕДЕНИЕ

Углеродные волокна являются эффективным инструментом повышения механических характеристик полимерных материалов [1]. Используются они и для армирования фторсодержащих полимеров, в частности сополимера тетрафторэтилена с этиленом (ЭТФЭ) [2]. Влияние степени содержания углеродных волокон на механические характеристики композитов на основе матрицы ЭТФЭ рассмотрено в работе [3]. В то же время широко применяемым на практике путем повышения термостойкости и предела текучести ЭТФЭ является его сшивание потоком ускоренных электронов [4]. Однако особенности влияния радиационного модифицирования на механические характеристики наполненных углеродными волокнами композитов с ЭТФЭ-матрицей изучены недостаточно. Цель работы – исследование зависимости предела текучести при растяжении в высокотемпературной области армированного углеродным волокном ЭТФЭ от поглощенной дозы ионизирующего излучения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлся отечественный ЭТФЭ – фторопласт-40 (Ф-40) марки П (ТУ 301-05-17-89). Получение композита осуществляли путем его смешивания с волокнами, полученными дроблением на молотковой мельнице углеродного жгута марки Togay 3K T300 производства Togay Industries, Inc. Среднечисловое значение длины волокон составляло около 100 мкм. Как показано в работе [3] данная длина углеродных волокон позволяет обеспечить достаточный армирующий эффект в композитах на основе ЭТФЭ. Образцы изготавливали методом

прессования при температуре 290–300°C и давлении 20 МПа. Размеры образцов: 100 × 10 × 0.5 мм. Радиационное сшивание осуществляли генерируемым ускорителем ЭЛВ-4 излучением электронов с энергией 1.0 МэВ, обеспечивающей их линейный пробег в ЭТФЭ больше, чем толщина испытываемых образцов. Мощность поглощенной дозы – 10⁴ Гр/с. Поглощенную композитом дозу излучения контролировали с помощью пленочных детекторов ДПЭ-50/2000 [5]. Предел текучести при растяжении и относительное удлинение при разрыве определяли по ГОСТ 14236 на испытательной машине SHIMADZU Autograph AGS при 200 ± 3°C (максимальная температура эксплуатации радиационно-сшитого ЭТФЭ). Скорость растяжения 10 мм/мин. Выборка по 10 образов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установлено, что воздействие потока ускоренных электронов оказывает существенное влияние на высокотемпературный предел текучести армированного углеродными волокнами Ф-40 при всех исследованных степенях наполнения композита (рис. 1). При этом зависимости носят незначительно выраженный экстремальный характер с пиком около 200 кГр. Увеличение предела текучести на начальном этапе можно объяснить повышением плотности трехмерной сетки в Ф-40 с ростом поглощенной дозы [6]. В тоже время после достижения величины поглощенной дозы 200 кГр предел текучести относительно стабилизируется, а в случае с низкой степенью наполнения композита углеродными волокнами (5 мас. %) заметно снижается. Отмеченное уменьшение, по-видимому, обусловлено тем, что эффект радиацион-

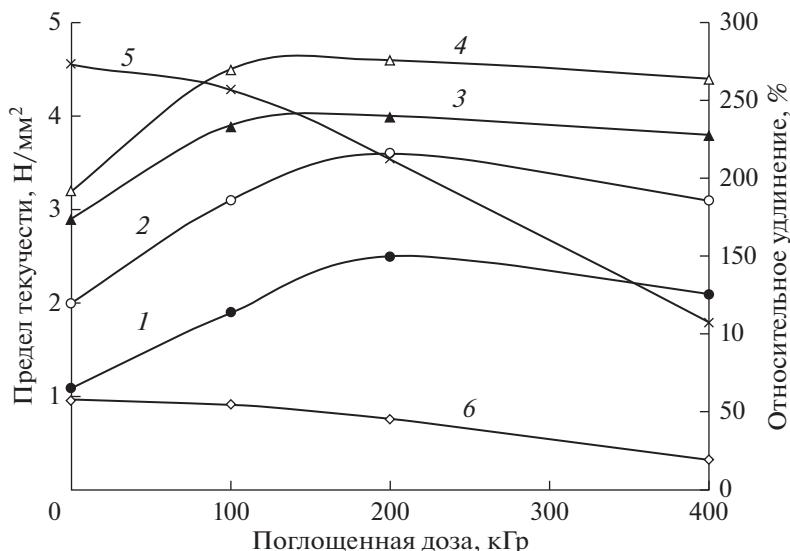


Рис. 1. Зависимость предела текучести при 200°C (1–4) и относительного удлинения при разрыве при 200°C (5, 6) ненаполненного Ф-40 (1) и композитов Ф-40 с 5 (2, 5), 10 (3, 6) и 15 (4) мас. % углеродного волокна от поглощенной дозы потока ускоренных электронов.

ного шшивания нивелируется накапливающимися в материале повреждениями вследствие протекания в нем конкурирующих со шшиванием процессов деструкции. В то же время при высокой степени наполнения волокнами полимерной матрицы (10–15 мас. %) уменьшение менее заметно ввиду значительного армирующего эффекта каркаса из углеродных волокон. По этой же причине и повышение предела текучести у высоконаполненных композитов менее выражено. Так, если для Ф-40 содержащего 5 мас. % волокон предел текучести при облучении до поглощенной дозы 200 кГр увеличивается в 1.8 раз, то для содержащих 10–15 мас. % только в 1.4 раза. В то же время относительное удлинение при разрыве композита с 5 мас. % волокон (кривая 5 на рис. 1) при данной поглощенной дозе сохраняет высокое значение (более 200%). Таким образом, обработка потоком ускоренных электронов Ф-40 с низкой степенью наполнения углеродными волокнами позволяет получить материал, обладающий как высоким высокотемпературным пределом текучести (кривая 2 на рис. 1), так и достаточным относительным удлинением при разрыве, что выгодно отличает его от высоконаполненных (10 и более мас. % волокон) композитов на основе Ф-40, которые изначально обладают низким значением относительного удлинения при разрыве еще больше снижающимся при радиационном воздействии (кривая 6 на рис. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что обработка потоком ускоренных электронов армированного углеродными волокнами Ф-40 позволяет до 1.8 раз увеличить предел текучести композита при его растяжении в области температур близких к максимальным температурам эксплуатации радиационно-швивого ЭТФЭ (200°C). При этом модифицирование потоком ускоренных электронов Ф-40 с 5 мас. % углеродного волокна позволяет получить материал превосходящий по комплексу механических характеристик более высоконаполненные композиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Михайлин Ю.А. // Конструкционные полимерные композиционные материалы. СПб: Научные основы и технологии, 2008. 822 с.
- Sina Ebnesajjad // Fluoroplastics. V. 2. Second Edition: Melt processible fluoropolymers. The definitive user's guide and data book. Elsevier. 2015. 766 p.
- Селькин В.П., Копылов С.В. // Полимерные материалы и технологии. 2021(7). № 2. С. 89.
- Экструдируемые фторполимеры и фторэластомеры компании AGC Chemicals [Электронный ресурс]. <https://www.plastics.ru/pdf/replast/2019/AGC.pdf>.
- Selkin V., Pleskachevsky Yu., Smirnov V., Gochaliev G., and Rubin B. // Radiation Physics and Chemistry. 1990 (35). № 4. P. 750.
- Шатова Е.В., Скрозников С.В., Лямин Д.И. и др. // Успехи в химии и химической технологии. 2012 (26). № 3. С. 30.