**Перспективные композиты на основе СВМПЭ волокон, модифицированных ионными пучками**

**Якушева Д.Э., Якушев Р.М., Стрельников В.Н.**

Институт технической химии УрО РАН, Россия, 614013, г.Пермь, ул. Ак. Королёва, 3. [dinayakusheva@yandex.ru](mailto:dinayakusheva@yandex.ru)

Модифицирование поверхностного слоя полимерных волокон с целью повышения прочности адгезионного соединения с полимерными связующими и упрочнения композитов является актуальной задачей современного материаловедения. Применение высокопрочных высокомодульных СВМПЭ волокон в качестве армирующего наполнителя в полимерных композитах ограничивается их низкой адгезией к распространённым связующим. Необходимость сохранения прочностных свойств СВМПЭ волокон, и, следовательно, высоко ориентированной структуры, существенно сужает круг физических методов, применимых для активирования их поверхности. Например, нежелательным последствием облучения СВМПЭ волокон γ-лучами (Со-60) на воздухе является разрыв цепей в ходе окислительной деструкции и падение прочностных свойств, причём было показано, что окисление затрагивает поверхностный слой толщиной 2 мкм [1]. В работе [2] показано, что в результате обработки СВМПЭ-волокна холодной плазмой, повышается его адгезия к эпоксидной матрице в намоточном кольцеобразном композите. Метод ионно-лучевой обработки (ИЛО) при определённом сходстве с плазменной обработкой имеет преимущество точного дозирования и возможности установления импульсного режима, снижающего степень разогрева материала.

В данной работе поверхностное модифицирование СВМПЭ волокон марки Dyneema SK 60 в виде тканого материала осуществлялось методом импульсной ИЛО на установке (разработка Института электрофизики УрО РАН, Екатеринбург), генерирующей широкие пучки ионов газов с энергией 30-60 КэВ. Существенное повышение прочности (в 5 раз) на отслаивание ламинатов из обработанной СВМПЭ ткани и полиуретанового связующего наблюдалось при достаточно низких дозах обработки ионами азота с энергией 30 КэВ – 2·1013ион/см2.

Применение комбинированной обработки путем реализации привитой полимеризации акриловых мономеров на активированную ионным пучком поверхность СВМПЭ волокон оказалось более эффективным методом повышения адгезии волокон к связующему. Привитая полимеризация проводилась обработкой парами акриловых производных после ИЛО в камере ионного источника без доступа воздуха. К поверхности СВМПЭ волокон прививались акрилонитрил, метилметакрилат, акриловая и метакриловая кислоты. Показано, что адгезия волокон, модифицированных акриловыми мономерами, к эпоксидному и полиуретановому связующему резко возрастает (рисунок 1). При использовании в качестве связующего ненасыщенного полиэфира изменения не столь значительны. Появление функциональной пленки на поверхности волокна повышает значение прочности на отслаивание в некоторых случаях на порядок (метакриловая и акриловая кислоты). В случае акрилонитрила и метилметакрилата прочность возрастает в 1.5 – 2 раза, что меньше соответствующих значений, полученных для СВМПЭ волокон после ИЛО. В данном случае дополнительная стадия химической обработки привела к снижению адгезионных характеристик СВМПЭ волокон.

**1.2**

**8.6**

**7.1**

**1.4**

**5**

**0.7**

**0.8**

**2**

**2.2**

**0.9**

**1.7**

**0.3**

**1.2**

**9.3**

**7.6**

**1.1**

**3.1**

**0.5**

**0**

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

**Акрилонитрил**

**Метакриловая**

**кислота**

**Акриловая кислота**

**Метилметакрилат**

**Облученное**

**волокно**

**Исходное волокно**

**Адгезионная прочность, кгс/см**

**Полиуретан**

**Полиэфир**

**Полиэпоксид**

Рисунок 1 – Адгезионная прочность композита на основе полиуретанового, полиэфирного и полиэпоксидного связующих в зависимости от типа модифицирующего мономера.

В результате анализа СВМПЭ волокон, подвергнутых комбинированному методу модификации, включающему последовательное воздействие пучка ускоренных ионов азота и обработку акриловыми мономерами, а также испытаний модельных ламинированных композитов была выработана стратегия получения максимального модифицирующего эффекта с точки зрения адгезии. Оптимальными условиями является облучение сравнительно малыми дозами ионов азота (~1013 ион/см2) и обработка бифункциональными реакционноспособными соединениями.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Y.Zhao, M.Wang, Z.Tang, G.Wu. Radiation Physics and Chemistry, 2011, Vol.80, 274-277.
2. Корнеева Н. В., Кудинов В. В., Баженов С. Л., Солодилов В. И., Павловский Д. В., Зеленский Э. С. Механика композитных материалов. 2002. Т. 38. N 6. стр. 837-846.