

Композиционные материалы (КМ) стали неотъемлемой частью многих капиталоемких отраслей современной промышленности (авиа- и автомобилестроительной, военной и др.). В условиях возрастающих требований к таким изделиям, как детали самолетов, средства баллистической защиты, актуальным является улучшение свойств материалов, применяемых при их изготовлении. В работе [1] рассмотрены основные методы регулирования свойств КМ, армированных высокопрочными высокомодульными волокнами. Плазменная модификация в зависимости от потребностей потребителя конечного продукта позволяет придавать волокну требуемые свойства [2], расширяя тем самым ассортимент выпускаемой продукции. Для исследования свойств полимерных материалов широко применяется ИК спектроскопия [3]. Метод основан на оценке оптической плотности по ИК-спектру поглощения или отражения в инфракрасном диапазоне излучения путем измерения ее максимума в полосе поглощения или интегральной интенсивности в характеристических для фазы участках спектра. Принцип работы ИК-фурье спектрометров описан в работе [4]. Важным достоинством этого метода является простота проведения анализа и отсутствие процедуры пробоподготовки. Необходимо лишь обеспечение контакта объекта исследования с кристаллом приставки. Принцип проведения анализа основан на связи состава образца с инфракрасным спектром поглощения. Расположение полос поглощения в спектре говорит о химическом составе исследуемого объекта, за интенсивность полос отвечают концентрации соответствующего элемента. Чтобы количественно проанализировать образец объекта исследования, требуется знание зависимостей между интенсивностью полос поглощения и концентрацией элементов. Время проведения анализа составляет 2-3 минуты. Итоги анализа отображаются соответствующим программным обеспечением на мониторе компьютера. В качестве объектов исследования были выбраны арамидные волокна марок Русар-С, Русар-НТ, Кевлар. Для получения ИК-спектров применяли ИК-фурье спектрометр ФСМ-1202, режим съемки: диапазон волновых чисел 400-4000 см<sup>-1</sup>, разрешение 0,5 см<sup>-1</sup>, скорость сканирования 10 КГц. Отступление линии абсолютного пропускания от номинального значения (среднее по интервалу ±100 см<sup>-1</sup>) - 0,1 %. Предел допустимого значения абсолютной погрешности измерения волнового числа составляет 1,0 см<sup>-1</sup> (среднее по интервалу ±100 см<sup>-1</sup>). Полученные спектры интерпретировали по информационным справочным данным. ИК спектр исходного образца арамидного волокна Русар-С (рисунок 1) имеет характерные полосы поглощения в области 3420 см<sup>-1</sup> (связанные водородной связью валентные NH-колебания), 2850 и 2900 см<sup>-1</sup> (колебания C=N), 1710 см<sup>-1</sup> (колебания C=O), 1620 см<sup>-1</sup> (колебания группы C-N), 1046 см<sup>-1</sup> и 625 см<sup>-1</sup> (деформационные колебания C-H ароматического кольца). а б в Рис. 1 - ИК спектры образцов арамидного волокна Русар-С: 1 - без плазменного воздействия;

2 - после обработки плазмой: а) в среде аргона; б) в смеси газов аргон - пропан-бутан; в) в смеси газов аргон - воздух По данным ИК спектроскопии при обработке арамидного волокна в плазме ВЧЕ разряда пониженного давления в среде аргона химических изменений не наблюдается (рис. 1а). Вероятно, ИК-спектрометр не улавливает изменений, происходящих в поверхностном нанослое волокна. По результатам ИК-спектроскопии арамидного волокна Русар-С, обработанного в среде аргон - пропан-бутан, можно говорить о более существенных изменениях в составе и структуре, по сравнению с волокном, обработанным в среде чистого аргона (рис. 1б). Наблюдается уменьшение интенсивности полос поглощения, характеризующих колебания групп N-H, C=N, C=O, C-N, что может говорить о прививке ионов пропана или бутана к образовавшимся в результате ионной бомбардировки в поверхностном слое волокна свободным радикалам, с формированием поверхностной сетки на волокнообразующем полимере. Такое упрочнение поверхностного слоя волокна сшитыми и сетчатыми структурами при обработке в плазмообразующем газе аргон-пропан-бутан приводит к более существенному росту прочности волокон, по сравнению с обработкой в аргоне, что установлено экспериментально [2].

После обработки волокна Русар-С в смеси газов аргон-воздух (рис. 1в) на ИК-спектрах наблюдается практически полное исчезновение полос поглощения, характеризующих колебания групп C=N, C=O и NH и свидетельствует о сильном ослаблении водородных связей в результате плазменного травления, что вызывает увеличение показателей гидрофильности и резкое падение прочности волокна. На рисунке 2 представлены совмещенные ИК-спектры арамидного волокна Русар-НТ до и после его плазменной модификации. а б Рис. 2 - ИК спектры образцов арамидного волокна Русар-НТ: 1 - без плазменного воздействия; 2 - после обработки плазмой: а) в среде аргона; б) в смеси газов аргон - пропан-бутан. Волокно марки Русар-НТ отличается от волокна марки Русар-С большей капиллярности, что связано с различием количественного соотношения исходных диаминов в волокнообразующих полимерах и, вероятно, с меньшим количеством замасливателя и гидрофобизатора на волокне марки Русар-НТ. ИК спектр исходного образца арамидного волокна Русар-НТ имеет полосы поглощения в области 1710 см<sup>-1</sup> (колебания C=O), 1420 см<sup>-1</sup> (колебания группы C-N), 1150 см<sup>-1</sup>, 1075 см<sup>-1</sup>, 820 см<sup>-1</sup>, 575 см<sup>-1</sup> (деформационные колебания C-N ароматического кольца). После обработки волокна Русар-НТ в среде аргона происходит увеличение интенсивности полос поглощения, характеризующих внеплоскостные деформационные колебания групп C-N бензольного кольца с одновременным смещением их в более высокочастотную область, что может говорить о слабых процессах плазменного травления, вызывающего небольшое снижение прочности волокна. Согласно данным ИК-спектроскопии после обработки волокна Русар-НТ в смеси газов аргон - пропан-бутан происходит увеличение интенсивности полос поглощения,

характеризующих плоскостные деформационные колебания групп С-Н бензольного кольца. У волокна Русар-НТ ввиду меньшего количества замасливателя и гидрофобизатора обработка происходит интенсивнее, происходит больше разрывов связей с образованием свободных радикалов, к которым прививается большее количество ионов пропана или бутана, образующих поверхностную сетку. ИК спектр исходного образца арамидного волокна Кевлар (рис.к 3) имеет полосы поглощения в области 1950 см<sup>-1</sup> (деформационные колебания NH), 1850 см<sup>-1</sup> (колебания С=O), 1590 см<sup>-1</sup> (колебания группы С-N), 1050 см<sup>-1</sup> (валентные колебания ароматического кольца), в области частот ниже 950 см<sup>-1</sup> (деформационные колебания С-Н ароматического кольца). а б Рис. 3 - ИК спектры образцов арамидного волокна Кевлар: 1 - без плазменного воздействия; 2- после обработки плазмой: а) в среде аргона; б) в смеси газов аргон - пропан-бутан Согласно данным ИК-спектроскопии при обработке волокна Кевлар в среде чистого аргона происходит увеличение интенсивности полос поглощения, характеризующих деформационные колебания групп С-Н, что может говорить о слабых процессах плазменного травления с разрыхлением молекулярной структуры, вызывающего небольшое снижение прочности волокна и увеличение степени его гидрофильных и адгезионных свойств. После обработки волокна Кевлар в смеси газов аргон-пропан-бутан существенных химических изменений не происходит.