

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОЙ МОДИФИКАЦИИ  
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
АРАМИДНОГО ВОЛОКНА\***

**APPLICATION OF PLASMA MODIFICATION  
FOR IMPROVEMENT OF STRENGTH CHARACTERISTICS  
OF ARAMIDE FIBER**

*Е.А. СЕРГЕЕВА, А.Р. ИБАТУЛЛИНА, К.Д. КОСТИНА*  
*E.A. SERGEEVA, A.R. IBATULLINA, K.D. KOSTINA*

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)  
(Kazan National Research Technological University)  
E-mail: katserg@rambler.ru, twopizzas@mail.ru, karikostina@mail.ru

*Работа направлена на решение актуальной проблемы модификации арамидных волокнистых материалов путем обработки в плазме ВЧЕ-разряда пониженного давления, позволяющей снижать гидрофильность, повышать показатели их механических свойств. Установлено, что увеличения показателя прочности для арамидных волокон Русар-НТ, Кевлар в 1,2 раза можно достичь при обработке волокон в смеси газов аргон – пропан-бутан; при этом уменьшение значения капиллярности составляет 1,8 раза для марки Русар-НТ и 1,7 раза – для марки Кевлар.*

*Work is directed on actual problem decision modification of aramid fiber materials by high frequency capacitive discharge plasma treatment in low pressure, which allows to reduce the hydrophilicity, improve indicators of their mechanical properties. It has been established that the increase of the strength of the aramid fibers Rusar-NT, Kevlar in 1.2 times can be obtained by treatment of the fibers in argon – propane-butane mix of gases; while decreasing the value of capillarity is established in 1.8 times of for the brand Rusar-NT and in 1.7 times – for the brand Kevlar.*

**Ключевые слова:** арамидное волокно, прочность, капиллярность, плазменная полимеризация.

**Keywords:** aramid fiber, strength, capillarity, plasma polymerization.

Арамидные волокна обладают уникальным сочетанием свойств. Они имеют одни из самых высоких значений прочности и модуля упругости среди других волокон, устойчивы к пламени и высокотемпературным воздействиям, к органическим растворителям, нефтепродуктам и различным минеральным маслам. Кроме того, комбинирование в защитных текстильных изделиях арамидных волокон

с другими видами волокон (например, углеродными) увеличивает износостойкость изделий и в случае использования в качестве обмотки защищает от повреждений волокна-компаньоны [1]. Все это обеспечило материалам из арамидных волокон широкое применение в качестве технического текстиля, а именно при производстве спецодежды, рукавных фильтров, пожарных рукавов, при арми-

\* Работа выполнена в Казанском национальном исследовательском технологическом университете при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение №14.В37.21.0731).

ровании железобетонных конструкций, труб, автомобильных и велошин, а также для производства бронежилетов.

При использовании арамидных волокнистых материалов в текстильных изделиях бытового и технического назначения актуальной остается проблема регулирования показателей их механических и физических свойств, в частности, показателей прочности и гидрофильности (гидрофобности). Для улучшения показателей некоторых свойств арамидных волокон и материалов из них целесообразно применение плазменной модификации. Так, в частности, обработка в плазме высокочастотного емкостного ВЧЕ-разряда пониженного давления не вызывает объемной деструкции волокна и позволяет регулировать поверхностные и физико-механические свойства полимерных волокнистых материалов [2].

Работа направлена на решение актуальной проблемы модификации арамидных волокнистых материалов путем обработки в плазме ВЧЕ-разряда пониженного давления, позволяющей снижать гидрофильность, повышать показатели их механических свойств.

В качестве объектов исследования были выбраны арамидные волокна марок Русар-НТ, Кевлар, обладающие гидрофильностью в исходном состоянии. Входные параметры плазменной установки варьировались в следующих пределах: мощность  $W_p$  от 0,6 до 2,2 кВт; продолжительность обработки  $t$  от 60 до 600 с; давление в рабочей камере  $P=26,6$  Па; расход плазмообразующего газа  $G=0,04$  г/с; вид плазмообразующего газа аргон и смеси газов аргон-воздух, аргон-азот, аргон-пропан-бутан в процентном соотношении 70:30.

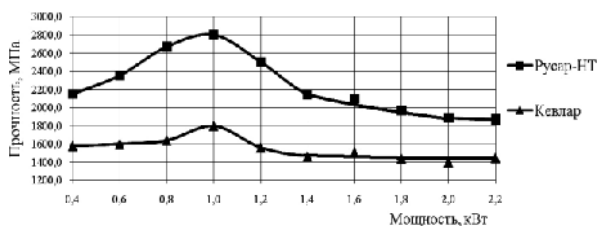


Рис. 1

Разрывную нагрузку и относительное удлинение при разрыве арамидных мультифиламентных волокон определяли с помощью разрывной машины с компьютерным управлением РМ-50 (ООО "МашПласт", Россия). Данная машина отвечает требованиям ГОСТа 28840–90 и имеет назначение измерения прочности при растяжении и разрывного удлинения плечочных и волокнистых материалов.

Исследования показали, что при обработке арамидных волокон в плазме ВЧЕ-разряда пониженного давления в различных режимах в аргоне прочность практически не изменяется, при обработке в смеси аргона с воздухом и смеси аргона с азотом в соотношении 70:30 прочность волокон уменьшается на 15% и более, при обработке в смеси аргона с пропан-бутаном в соотношении 70:30 прочность волокна повышается на 10% и более.

Исходя из полученных экспериментальных данных для модификации арамидных волокон и материалов на их основе, предназначенных для использования в техническом текстиле в качестве плазмообразующего газа, целесообразно применение смеси аргона с пропан-бутаном в соотношении 70:30. Далее варьированием подаваемой мощности осуществляли поиск параметров плазменной модификации (рис. 1 – зависимость прочности арамидных волокон от мощности разряда плазменной модификации ( $P=26,6$  Па;  $t=180$  с;  $G=0,04$  г/с; плазмообразующий газ аргон – пропан-бутан)).

Далее в выбранных режимах варьировали время модификации (рис. 2 – зависимость прочности арамидных волокон от времени обработки ( $P=26,6$  Па;  $G=0,04$  г/с; плазмообразующий газ аргон – пропан-бутан)).

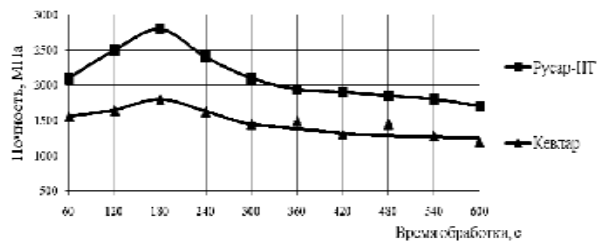


Рис. 2

Как видно из рис. 1 и 2, наибольшее значение прочности для арамидных волокон марки Русар-НТ и Кевлар достигается в режиме:  $W_p=1,0$  кВт;  $P=26,6$  Па;  $t=180$  с;  $G=0,04$  г/с; плазмообразующий газ аргон – пропан-бутан.

Кривые разрушения образцов арамидных волокон марок Русар-НТ и Кевлар до и после плазменной модификации в оптимальных режимах в смеси газов аргон–пропан-бутан представлены на рис. 3

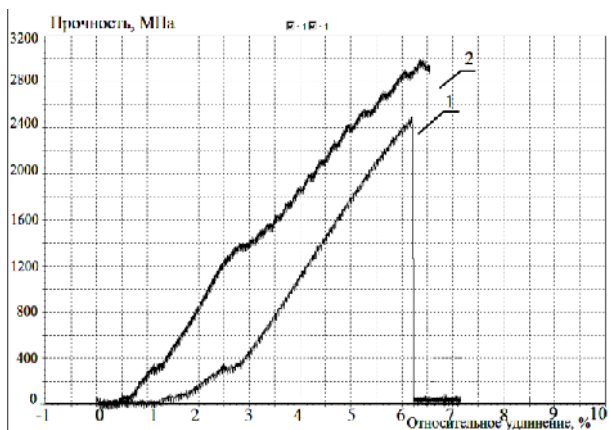


Рис. 3

При обработке волокон (Русар-НТ, Кевлар) в плазмообразующем газе аргон–пропан-бутан в соотношении 70:30 в режиме:  $W_p=1,0$  кВт;  $P=26,6$  Па;  $t=180$  с;  $G=0,04$  г/с достигается повышение прочности волокон в 1,2 раза. При этом уменьшение значения капиллярности составляет 1,8 раза для марки Русар-НТ и 1,7 раза – для марки Кевлар.

Полученный эффект увеличения прочности и уменьшения гидрофильных свойств волокон Русар-НТ и Кевлар при использовании полимеробразующей плазмы (плазмообразующий газ аргон-пропан-бутан) объясняется протеканием на поверхности волокна плазменной полимеризации. Процесс плазменной полимеризации происходит по свободно-радикальному механизму, согласно которому на поверхности полимера в результате бомбардировки ионами плазмы возникают свободные радикалы, способные присоединять осколки молекул пропан-бутана.

(прочность волокна Русар-НТ, модифицированного в смеси газов аргон–пропан-бутан (70:30): кривая 1 – без плазменной модификации; 2 – модифицированный образец ( $W_p=1,0$  кВт;  $P=26,6$  Па;  $t=180$  с;  $G=0,04$  г/с)) и рис. 4 (прочность волокна Кевлар, модифицированного в смеси газов аргон–пропан-бутан (70:30): кривая 1 – без плазменной модификации; 2 – модифицированный образец ( $W_p=1,0$  кВт;  $P=26,6$  Па;  $t=180$  с;  $G=0,04$  г/с)).

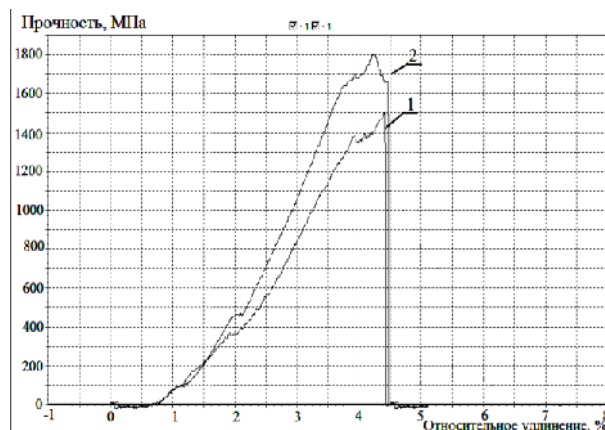


Рис. 4

Таким образом, создаются центры роста полимерной пленки, которая способствует уменьшению гидрофильных свойств и увеличению прочностных характеристик волокна. В то же время при плазменной модификации происходят конформационные изменения, приводящие к упорядочиванию макромолекул аморфной фазы волокнообразующего полимера и увеличению степени кристалличности волокна, что также способствует упрочнению арамидных волокон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курамшин А.Р., Родионов В.А., Додонкин Ю.В. Разработка технологии получения комбинированных нитей для защитных изделий // Химические волокна. – 2007, № 3. С. 30...32.
2. Сергеева Е.А., Ибатуллина А.Р., Кадыров Ф.Ф. Повышение адгезионной способности сверхвысокомолекулярного полиэтиленового волокна с помощью плазменной обработки // Вестник Казанского технологического университета. – 2012, №17. С. 123...126.

## REFERENCES

1. Kuramshin A.R., Rodionov V.A., Dodonkin Ju.V. Razrabotka tehnologii poluchenija kombinirovannyh nitej dlja zashhitnyh izdelij // Himicheskie volokna. – 2007, № 3. S. 30...32.
2. Sergeeva E.A., Ibatullina A.R., Kadyrov F.F. Povyshenie adgezionnoj sposobnosti sverhvysokomolekuljarnogo polijetilenovogo volokna

s pomoshh'ju plazmennoj obrabotki // Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta. – 2012, №17. С. 123...126.

Рекомендована кафедрой плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов.  
Поступила 30.09.15.

---