

Е. А. Сергеева, Л. А. Зенитова, И. П. Ершов,  
М. Ф. Шаехов

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРОЧНОСТИ СВЯЗИ АРМИРУЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ С МАТРИЦЕЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

*Ключевые слова:* Волокно, плазменная модификация, прочность, текстильный корд, адгезия.

*Исследовалось влияние плазменной модификации на прочность в системе резина - текстильный корд без пропитки специальными адгезивами. Определены оптимальные режимы обработки, при которых улучшение процесса смачивания волокон, обработанных плазмой, находится в соответствии с ростом прочностных показателей волокон.*

*Keywords:* Fiber, plasma modification, strength, textile cord, adhesion.

*Studied the effect of plasma modification of the strength of the system rubber - textile cord without special adhesives impregnation. The optimal treatment regimens in which the improvement of the process of wetting of fibers treated with plasma, is in line with the increase of strength characteristics of fibers.*

Полиэфирные (ПЭФ) волокна и полиамидные (ПА) нити широко применяются в качестве армирующего наполнителя, а именно текстильных кордов, в шинной промышленности. Для исключения применения химических адгезивов при соединении корда с резиной интерес представляет активация поверхности волокон и нитей. Исследовалось влияние плазменной модификации на прочность в системе резина - текстильный корд без пропитки специальными адгезивами. Целью исследования было нахождение оптимального режима обработки ПЭФ и ПА кордов для увеличения их адгезионных свойств с резиной [1,2].

Варьируемыми величинами в процессе плазменной обработки выступали напряжение на аноде, время обработки и сила тока на аноде. В качестве плазмообразующих газов использовался аргон, азот и смесь газов аргон-воздух в соотношении 70:30. Расход газа составлял 0,04 г/с, давление 26,6 Па. Время обработки варьировалось от 1 до 5 мин, напряжение на аноде от 1,5 до 7 кВ, сила тока на аноде от 0,3 до 0,7 А. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что увеличение параметров модификации выше указанных пределов приводит к ухудшению прочности связи с резиной, что связано с оплавлением волокон. При значениях параметров плазменной обработки ниже указанных в диапазоне, модификация не достаточна и существенных улучшений прочности связи с резиной не происходит. Установленные диапазоны параметров плазменного воздействия были подтверждены в работах с другими волокнистыми армирующими наполнителями [3,4].

В таблице 1 приведены режимы, при которых достигается максимальное увеличение прочности резины с кордом, которые были реализованы в различных плазмообразующих средах: аргоне, смеси аргон - воздух (70:30%), азоте. Для того чтобы более полно изучить влияние описанных выше режимов модификации на различные свойства ПЭФ волокон и ПА нитей, была проведена серия опытов

по оценке смачиваемости, водопоглощения и термоусадки модифицированных образцов (табл. 2).

**Таблица 1 - Результаты влияния обработки текстильного корда нерасновесной низкотемпературной плазмой (ННТП), в различных плазмообразующих газах, на адгезию корда к резине**

| № | Режим обработки                                                           | Прочность связи резина-корд, Н |      |
|---|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------|
|   |                                                                           | Тип корда                      |      |
|   |                                                                           | ПЭФ                            | ПА   |
| 0 | Контрольные образцы                                                       | 11,7                           | 24,0 |
| 1 | Ja=0,5A, Ua=2 кВ, P=26,6 Па, G <sub>Ar</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин           | 38,0                           | 33,3 |
| 2 | Ja=0,5A, Ua=2 кВ, P=26,6 Па, G <sub>Ar70%+возд30%</sub> =0,04 г/с τ=3 мин | 31,0                           | 32,3 |
| 3 | Ja=0,5A, Ua=2 кВ, P=26,6 Па, G <sub>N2</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин           | 20,7                           | 36,0 |
| 4 | Ja=0,5A, Ua=5 кВ, P=26,6 Па, G <sub>Ar</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин           | 22,9                           | 33,0 |
| 5 | Ja=0,5A, Ua=5 кВ, P=26,6 Па, G <sub>Ar70%+возд30%</sub> =0,04 г/с τ=3 мин | 27,5                           | 34,0 |
| 6 | Ja=0,5A, Ua=5 кВ, P=26,6 Па, G <sub>N2</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин           | 21,3                           | 35,0 |
| 7 | Ja=0,5A, Ua=7 кВ, P=26,6 Па, G <sub>Ar</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин           | 30,2                           | 29,8 |
| 8 | Ja=0,5A, Ua=7 кВ, P=26,6 Па, G <sub>Ar70%+возд30%</sub> =0,04 г/с τ=3 мин | 24,1                           | 29,0 |
| 9 | Ja=0,5A, Ua=7 кВ, P=26,6 Па, G <sub>N2</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин           | 14,7                           | 33,0 |

Улучшение процесса смачивания волокон, обработанных ННТП, находится в соответствии с ростом прочностных показателей. Чем выше смачи-

**Таблица 2 - Влияние плазменной обработки на гигроскопические и термоусадочные свойства текстильного корда**

| № | Режим обработки                                                              | Смачиваемость, сек. |     | Водопоглощение, % |      | Термоусадка, % |      |
|---|------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|-------------------|------|----------------|------|
|   |                                                                              | ПЭФ                 | ПА  | ПЭФ               | ПА   | ПЭФ            | ПА   |
| 0 | Контрольные образцы                                                          | 3,0                 | 6,0 | 25,4              | 23,2 | -1,0           | -4,9 |
| 1 | Ja=0,5A, Ua=2 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>Ar</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин            | 1,0                 | 4,0 | 31,0              | 31,8 | -1,7           | -4,7 |
| 2 | Ja=0,5A, Ua=2 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>Ar</sub> 70%+возд30%=0,04 г/с, τ=3 мин | 1,0                 | 0,5 | 31,3              | 24,1 | -2,3           | -5,0 |
| 3 | Ja=0,5A, Ua=2 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>N2</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин            | 1,0                 | 1,0 | 20,2              | 35,8 | -2,0           | -3,0 |
| 4 | Ja=0,5A, Ua=5 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>Ar</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин            | 1,0                 | 6,0 | 21,8              | 25,4 | -2,0           | -3,5 |
| 5 | Ja=0,5A, Ua=5 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>Ar</sub> 70%+возд30%=0,04 г/с, τ=3 мин | 1,0                 | 7,0 | 27,0              | 23,2 | -2,0           | -3,7 |
| 6 | Ja=0,5A, Ua=5 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>N2</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин            | 2,0                 | 3,0 | 27,4              | 21,0 | -1,2           | -6,3 |
| 7 | Ja=0,5A, Ua=7 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>Ar</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин            | 0,5                 | 6,0 | 37,9              | 24,8 | -2,7           | -4,7 |
| 8 | Ja=0,5A, Ua=7 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>Ar</sub> 70%+возд30%=0,04 г/с, τ=3 мин | 1,0                 | 7,0 | 27,1              | 24,9 | -1,7           | -5,0 |
| 9 | Ja=0,5A, Ua=7 кВ, P=26,6 Па<br>G <sub>N2</sub> =0,04 г/с, τ=3 мин            | 1,0                 | 4,0 | 28,4              | 30,2 | -1,7           | -4,3 |

ваемость кордов, тем более прочные образуются композиции с резиной. Уменьшение времени, за которое впитывается капля воды и увеличение водопоглощения модифицированных образцов ПЭФ и ПА корда можно объяснить разрыхлением поверхностного слоя волокон с образованием активных центров гидрофильного характера, способствующих лучшему проникновению жидкости в поверхность волокон и нитей, что отражается на повышении прочности их связи с резиной. Некоторое увеличение термоусадки ПА и ПЭФ кордов можно связать с незначительным оплавлением волокон и нитей при 151°C в течение 40 мин.

Исходя из прочности связи ПЭФ волокон и ПА нитей с резиной (табл. 1) и показателей, представленных в табл. 2, были выбраны следующие режимы:

- для ПЭФ корда:

режим №1 Ja = 0,5 А, Ua = 2 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>Ar</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин;

режим №7 Ja = 0,5 А, Ua = 7 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>Ar</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин.

- для ПА корда:

режим №3 Ja = 0,5 А, Ua = 2 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>N2</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин;

режим №6 Ja = 0,5 А, Ua = 5 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>N2</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин;

режим №9 Ja = 0,5 А, Ua = 7 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>N2</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин.

Наилучшие результаты для ПЭФ волокон достигаются при использовании аргона в качестве плазмообразующего газа. Не смотря на то, что аргон является инертным газом, в данной среде наблюдается значительный усиливающий эффект. Для ПА нитей наиболее подходящей средой является азот.

С точки зрения экономии энергии, оптимальными для плазменной обработки были выбраны режимы с Ua = 2 кВ: для ПЭФ корда: режим №1 Ja = 0,5 А, Ua = 2 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>Ar</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин, при котором достигается увеличение прочности резины с кордом в 3,25 раза; для ПА корда: режим №3 Ja = 0,5 А, Ua = 2 кВ, P = 26,6 Па, G<sub>N2</sub> = 0,04 г/с, τ = 3 мин, при котором достигается увеличение прочности резины с кордом в 1,5 раза.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (Соглашение № 14.B37.21.0731).

## Литература

- Сергеева, Е.А. Влияние обработки неравновесной низкотемпературной плазмой на свойства текстильных кордов / Е.А. Сергеева, Л.А. Зенитова // Дизайн. Материалы. Технология. - № 3 (14). - С. 64-68.
- Сергеева, Е.А. Повышение адгезии текстильного корда к резине за счет плазменной модификации / Е.А. Сергеева, Л.А. Зенитова, Д.И. Фазылова // Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение.

Экология. («Композит 2010»): сб. тр. 5ой межд. конф. – Саратов: СГТУ, 2010.- С.210-212.

3. Сергеева, Е.А. Гидрофилизация поверхности тканей на основе волокон из сверхвысокомолекулярного полиэтилена с помощью плазменной обработки / Е.А. Сергеева, Ю.А. Букина, И.П. Ершов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 17. – С. 110 – 112.
4. Сергеева, Е.А. Повышение адгезионной способности сверхвысокомолекулярного полиэтиленового волокна с помощью плазменной обработки / Е.А. Сергеева, А.Р. Ибатуллина, Ф.Ф. Кадыров // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – № 17. – С. 123 – 126.

---

© **Е. А. Сергеева** – д.т.н., проф., гл. науч. сотр. НИО КНИТУ, katserg@rambler.ru; **Л. А. Зенитова** - д-р техн. наук, проф., дир. Казанского научно-исследовательского института полимеров и спецкаучуков КНИТУ, zenit@kstu.ru; **И. П. Ершов** – асп. каф. технологии синтетического каучука КНИТУ, ershovip@gmail.ru; **М. Ф. Шаехов** - д-р техн. наук, проф. каф. плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов КНИТУ, shaechov@kstu.ru.