

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ТКАНЕВОГО МАТЕРИАЛА ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРАМИ

*Авторы:* Борисова В.А., ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Университет  
Государственной Противопожарной Службы МЧС России, г. Санкт-Петербург

Зелинская И.А., ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Университет Государственной  
Противопожарной Службы МЧС России, г. Санкт-Петербург

*Научный руководитель:* Иванов А.В., ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Университет  
Государственной Противопожарной Службы МЧС России, г. Санкт-Петербург

Специальная защитная одежда – важный элемент безопасности труда. От качества ее изготовления и полноты выполнения защитных функций зависят жизнь и здоровье не только ее обладателя, но и окружающих. Это свидетельствует о необходимости создания и дальнейшего совершенствования уникального по своей прочности и термостойкости материала, способного выдерживать как открытое пламя, так и механическое воздействие. Такими свойствами обладают высокопрочные и высокомолекулярные защитные синтетические ткани – полиарамиды. Полиарамидные волокна (русар, кевлар и др.) служат для изготовления элементов защитной формы одежды специальных и спасательных служб. Но, несмотря на все свои преимущества, материалы, изготовленные на основе полиарамидных волокон, подвержены разрушению и преждевременному старению под влиянием ряда факторов. Поэтому для предотвращения повреждения тканей защитной формы одежды, а также для повышения огнезащитных и других ее свойств применяется модификация нитей и волокон полиарамидов углеродными наноструктурами.

Модификаторы - углеродные нанотрубки - получают методом каталитического пиролиза на установке «CVDomna» с диаметром  $d=25...50$  нм и длиной  $l=5...40$  мкм. В качестве базовой жидкости (растворителя) используется этанол. Подготовка растворов проводится при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и нормальном атмосферном давлении путем депонирования углеродных наночастиц в этанол при воздействии источника ультразвука (время обработки 120 мин.). После подготовки модифицирующего вещества, модифицируемые образцы погружаются в полученный раствор на 24 часа, после чего высушиваются при комнатной температуре в течение 72 часов.

Модифицированные нити кевлара и хлопка, вымоченные в растворах наножидкостей на основе этилового спирта в сочетании с углеродными наноструктурами, обладают целым рядом преимуществ по сравнению с немодифицированными нитями тканевого состава защитной одежды. Введение модификаторов в виде углеродных нанотрубок в тканевую структуру защитной формы одежды позволяет снизить тепловой эффект реакции горения как кевлара и хлопка, так и их смеси. Перспективной для целей эксплуатации защитной формы одежды будет являться модификация тканей на основе углеродных нанотрубок, так как это позволяет стабилизировать процесс горения как хлопковых, так и полиарамидных нитей, что приводит к снижению показателей горючести и увеличению стойкости образцов в процессе нагревания.

Кевлар является термически стойким материалом, что обусловлено наличием прочных молекулярных кислородных и водородных связей бензольных групп и групп  $-\text{NH}-\text{CO}-$ . Благодаря данному свойству материала полного прекращения термических реакций в диапазоне температур до  $500^{\circ}\text{C}$  наблюдаться не будет, и термическая деструкция окончательно завершится при более высоких температурах. В интервалах температур  $100-400^{\circ}\text{C}$  заметной разницы в тепловых эффектах между образцами не наблюдается, но можно отметить, что в интервале температур  $150-350^{\circ}\text{C}$ , наибольший тепловой эффект наблюдается для образца эталонного, необработанного кевлара. При сравнении характера процесса потери массы образцов кевларовых нитей наблюдается следующее: для

немодифицированного образца масса начинает резко сокращаться при достижении температуры 300 °С, в то время как у кевлара, насыщенного углеродными нанотрубками, потеря массы происходит размеренно, без резких скачков и пиков, а также в меньших объемах, что позволяет сделать вывод о большей устойчивости образцов по сравнению с исходным материалом.

Термогравиметрические кривые немодифицированного образца хлопка имеют пики, при которых происходит термическая деструкция отдельных компонентов образца, соответствующие температурам 75°С, 185°С, 295°С и 395°С, после чего для образца наблюдается ярко выраженная деструкция и полное прекращение экзотермических реакций. При этом для модифицированных образцов пики, ярко свидетельствующие о воспламенении составляющих хлопковых волокон, не наблюдаются, что говорит о снижении показателя горючести по сравнению с немодифицированным веществом. При использовании в качестве модификатора хлопковой нити углеродных наноструктур наблюдается плавное распределение зависимости разности температур при нагреве, что говорит о многократном снижении теплового эффекта реакции горения по сравнению с показателем, наблюдаемым при исследовании немодифицированного образца.

Сравнительный анализ данных образцов показал, что добавление нанотрубок снижает тепловой эффект реакции горения, а также сокращает показатель потери массы при нагреве. Данный эффект положительно сказывается на прочностных характеристиках ткани из смеси кевлара и хлопка.

Таким образом, модификация материалов, используемых для создания защитной формы одежды, при помощи углеродных наноструктур представляет собой новый подход к обеспечению безопасности человека в условиях воздействия высоких температур.