

Введение Одним из перспективных способов расширения, улучшения и изменения свойств синтетических волокон, является их модификация. Выбор метода модификации зависит от строения полимера и других компонентов материала, экономическими соображениями и целями использования [4]. Все методы модифицирования волокон и нитей можно подразделить на несколько основных групп: – методы химического модифицирования; – физические (структурные) методы модифицирования; – методы композитного модифицирования; – методы электрофизического поверхностного модифицирования [5]. По характеру протекающих процессов модификацию волокнистых полимеров условно можно объединить на две большие группы: химическую и физическую. Такое общепринятое разделение достаточно условно, поскольку химические и физические процессы в полимерных материалах всегда взаимосвязаны и взаимообусловлены.

1. Химическая модификация волокон и нитей

Химическая модификация волокон – направленное изменение химического строения волокнообразующих полимеров путем сополимеризации при получении исходного полимера или путем введения в него новых функциональных групп, а также новых веществ, реагирующих с волокнами при их обработке непосредственно после формования. Химическое модифицирование волокон чаще всего проводятся на стадии синтеза волокнообразующих полимеров тремя возможными путями: 1) сополимеризацией базовых (основных) исходных волокнообразующих мономеров со вторыми сомономерами, содержащими необходимые функциональные группы, являющимися носителями новых свойств; 2) полимераналогичными превращениями боковых функциональных групп; 3) прививочной полимеризацией волокнообразующих полимеров. Модификация путем простой сополимеризации практически исчерпала себя, так, на сегодняшний день, используются смешанные способы химической модификации, одновременно включающие все три вышеперечисленных пути. Синтез привитых сополимеров состоит в прививке к реакционноспособным группам основного полимера боковых звеньев сополимера, обладающего иными свойствами. В результате таких модификаций волокна приобретают свойства, характерные как для основного полимера, так и для дополнительного полимера, например улучшение окрашивания, повышение эластичности, упругости, гигроскопичности, износостойкости, огнестойкости, бактерицидности и т.д. [2]. Прививку можно проводить либо в массе полимера, либо к поверхностному слою волокна и пленки. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и недостатки. В условиях проведения привитой полимеризации в ряде случаев может происходить некоторое ухудшение механических свойств модифицированного волокна по сравнению с исходным волокном. Процесс привитой полимеризации часто сопровождается образованием гомополимера (нежелательная примесь в волокне), поэтому реакцию прививки следует проводить в таких условиях, при которых образования гомополимера не

происходит или он получается в небольших количествах. Регулируемое окисление, приводящее к образованию полярных кислородосодержащих групп на поверхности полимера, является одним из методов привитой полимеризации и способствует повышению адгезионной активности полиолефинов [6]. В работе Кочнева А.М. содержатся сведения о способах химической модификации свойств с помощью реакций в цепях полиолефинов – о галогенировании, сульфохлорировании, фосфоринировании, окислительной и термической деструкции и реакций, протекающих при введении функциональных групп, а также о радиационно-химических и фотохимических методах, при использовании которых образуются полимеры с пространственной структурой (сеткой). Структурирование – образование межмолекулярных химических связей в результате обработки волокон или нитей бифункциональными или полифункциональными соединениями. Структурирование, если оно не сопровождается деструкцией, приводит к увеличению прочности, начального модуля, теплостойкости, температуры плавления, уменьшению удлинения, текучести под нагрузкой, растворимости и улучшению других свойств полимерных материалов [7]. Для полиолефинов наиболее широкое распространение получили методы структурирования, основанные на применении источников высокой энергии. В связи с отсутствием в полиолефинах реакционноспособных функциональных групп применение химических методов затруднено. Только при высоких температурах под влиянием некоторых реагентов протекает структурирование макромолекул, однако процесс сопровождается многими побочными реакциями и сильной деструкцией полимера. Структурирование может проводиться под влиянием ультрафиолетовых лучей [3]. Еще одним способом химической модификации синтетических нитей является получение волокон из смесей полимеров [8]. Однако, как показал анализ примеров различных способов химической модификации, при этом существенно усложняется технология получения волокнообразующих полимеров и самих волокон и нитей. Вводятся дополнительные производственные операции в процесс синтеза, или организуется дополнительный процесс последующей модификации, обычно включающий несколько стадий. Следовательно, повышается расход химических веществ, что, как правило, в условиях многотоннажных производств, приводит к сложным экологическим проблемам. Методы химического модифицирования, для полноты протекания реакций, требуют значительного времени, что также затрудняет их включение в технологический процесс получения волокон. Кроме того, изменение химического состава при данном способе модификации зачастую приводит к улучшению одних свойств волокон и нитей при ухудшении других свойств.

2. Физическая модификация волокон Физическая модификация синтетических волокон и нитей заключается в направленном изменении надмолекулярного строения, формы и внешней поверхности нитей (без

изменения химического состава), технологии производства и переработки. Наибольшее распространение получили следующие методы физической модификации: 1) ориентация и вытягивание волокон на стадии формования и отделки нитей для повышения прочности и устойчивости к многократным деформациям; 2) изменение поперечного сечения, поверхности или внешней формы волокон и нитей. Часто эти два пути применяются одновременно [9]. Профилирование волокон достигается применением при их формировании фильер, имеющих отверстия различной формы: треугольника, многолучевой звездочки, трилистника, двойного ромба, щелевидные разной конфигурации и т. д. Этим способом модификации поверхности волокон придается шероховатость, повышенная цепкость. Текстильные нити и материалы из таких волокон приобретают повышенную объемность и пористость. Создание полых синтетических волокон, имеющих один или несколько каналов или объемные полости, значительно повысили показатели гигроскопических и теплозащитных свойств. [1]. При получении волокон и нитей с различными физико-механическими свойствами и многообразного ассортимента широко варьируются условия процессов формования, вытягивания и последующих термических и термопластических обработок. Для повышения прочности волокон из СВМПЭ реакторный порошок до стадии ориентационного упрочнения подвергают компактированию, спеканию, чтобы «залечить» межчастичные границы, по возможности сохранив их внутреннюю структуру. Также для порошка СВМПЭ в качестве физической обработки применяется предварительный отжиг [10]. Специалистами НИИ синтетического волокна совместно с сотрудниками Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева [11] показано, что на стадии ориентационного вытягивания сформованных по гель-технологии СВМПЭ волокон удастся на порядок повысить их прочность. В работе иностранных авторов при получении полиэфира медленным охлаждением расплава кристаллическая фаза приобретает эффективные упругие свойства. В работе Патлажана С.А. рассматриваются структурные изменения в полиэфире при значительных степенях растяжения и их влияние на механические свойства [12]. Активирующему воздействию механической нагрузки на ПА пленки посвящена работа Головина В.В., где показано изменение вязкоупругих свойств по мере увеличения степени вытяжки [13]. Среди современных способов модификации можно отметить крейзообразование, сочетающее элементы химической и физической модификации. Например, при растяжении полимерных волокон в жидкостях с физико-химической активностью, в объеме волокон возникают так называемые «крейзы» - ветвящиеся трещины размером 1-100 нм, что позволяет затем распределить в этих нанотрещинах любые, несовместимые с полимером модифицирующие добавки. Физическая модификация, с одной стороны, имеет следующие преимущества по сравнению с химической: – отсутствуют дополнительные операции в технологическом процессе по очистке от остатков

реагентов, а также по обезвреживанию сточных вод, так как химические реагенты не применяются; – не требуются большие затраты труда; – непродолжительная обработка; – процесс экологически безвреден. С другой стороны, вводится ряд дополнительных операций (вытягивание, сдвиг, нагревание, охлаждение и др.) на стадии ориентирования волокон и нитей, что усложняет технологический процесс и затрудняет экспериментальное обоснование влияния параметров физической модификации на структуру и свойства готовых волокон.

3. Модифицирование волокон композитными методами

Методы композитного модифицирования, или методы смешения, когда к основному волокнообразующему полимеру добавляются совместимые с полимером компоненты или мелкодисперсные добавки – носители новых свойств. Добавки вводят на стадии подготовки расплава к формованию или непосредственно перед формованием. В качестве добавок используют низкомолекулярные реагенты, обладающих специфическими свойствами, которые, играют роль зародышей кристаллизации полимера или распределяющихся по границам между структурными образованиями, но при этом химически не изменяются в условиях высокотемпературного формования из расплава и последующих термических обработок [14]. С помощью добавок можно повысить устойчивость к термической, термоокислительной, фотохимической деструкции; увеличить усталостную прочность (введение наполнителей); придать матовость (добавление диоксида титана); повысить степень белизны (добавление оптического отбеливателя), придать бактерицидные, огнестойкие и другие свойства. На основе метода поликонденсационного наполнения профилированных полипропиленовых нитей с измененной геометрией поперечного сечения получены катионообменные волокнистые материалы. В работах Кулиева М.М. изучена возможность модификации ПЭ добавками органической природы [15], например фиброином, обогащенным антиоксидантом для регулирования зарядового состояния, диэлектрических, механических ПЭ пленок. К недостаткам композитного модифицирования волокон можно отнести необходимость использования веществ, химически не изменяющихся в условиях высокотемпературного формования из расплава и последующих термических обработок, разработки принципиальных схем введения добавок, осуществления равномерного распределения их по объему полимера. В последнее время особое внимание уделяется нанотехнологии в области производства синтетических волокон и КМ на их основе. Первые исследования наноматериалов показали, что в них изменяются по сравнению с обычными материалами такие характеристики, как удельная теплоемкость, модуль упругости, коэффициент диффузии, магнитные свойства и др. Уменьшение размеров приводит к уменьшению массы и площади контактов, значительно возрастает прочность, а механические напряжения и связанные с ними деформации уменьшаются [16]. В работах [17], используют

наночастицы с целью придания волокнам новых уникальных свойств, характеристик проводников и полупроводников, ведутся исследования изменения поверхностных свойств волокон и полимеров, получения сверхпрочных волокон. Несомненно, применение нанотехнологий в производстве синтетических волокон имеет огромные преимущества в развитии этого направления. Но на данный момент технологии внедрения наночастиц в волокнистые материалы находятся на стадии разработки и имеют свои недостатки, например, проблемы введения частиц в состав полимера, связанные с их возможной агрегацией. Недостатком является также усложнение технологии производства волокон за счет применения дополнительного оборудования и технологических операций при введении частиц на стадии синтеза, дороговизна некоторых видов наночастиц, что приводит к повышению себестоимости готовой продукции.

4. Методы электрофизического модифицирования волокон

Физические воздействия, приводящие к структурной модификации материалов подразделяются на: термическую обработку, радиационную обработку – УФ- γ -облучение и пучок электронов, электромагнитную обработку, фотохимическую обработку (облучение), акустическую обработку действием звуковых и УФ колебаний и плазменную обработку (коронный, тлеющий, барьерный и др. разряды). Термическая обработка проста, поэтому ее довольно часто используют для активации поверхности полимерных материалов, в том числе и химических волокон. В последнее время волокна после изготовления часто подвергают дополнительной термической обработке для придания определенных свойств. Таким путем волокна можно обрабатывать в виде несформированной массы, нитей или текстильных изделий. Термическая обработка изменяет форму химических волокон и их механические свойства. Независимо от способа обогрева и преследуемых целей, термическую обработку проводят в три последовательные стадии: 1) ослабление ранее существующих межмолекулярных связей; 2) образование новых надмолекулярных структур; 3) закрепление вновь созданной структуры. Недостатками термической обработки является то, что с повышением температуры и продолжительности теплового воздействия снижаются прочностные свойства многих синтетических волокон. При нагревании выше температуры стеклования у химических волокон происходит необратимое снижение прочности; снижаются менее интенсивно кратковременная прочность и модуль упругости. В качестве источников излучения при радиационной обработке используют рентгеновские лучи, γ -лучи, быстрые электроны и нейтроны. Этот вид модификации относится к физико-химическому способу модификации. Радиационная обработка применяется для повышения механических свойств полимерных материалов, их химической стойкости, способности к термоусадке. В процессе радиационной обработки одновременно происходит и активация поверхности. Также известно влияние

радиационной модификации на диэлектрические свойства полиолефинов [18]. Недостатками радиационной модификации является ее сложность. Происходит повышение себестоимости продукции за счет применения дополнительных мономеров и увеличения времени на обработку, использования γ - и β -излучений, кроме того, происходит существенное изменение структуры полимеров [19]. Важной особенностью фотохимии высокомолекулярных соединений является то, что уже незначительные химические изменения, вызванные светом, как правило, могут оказывать существенное влияние на некоторые физико-механические свойства полимерных материалов [6]. Фотохимическая обработка также является физико-химическим методом модификации и его используют в привитой сополимеризации, которая протекает за счет фотохимической реакции в присутствии фотосенсибилизаторов. К недостаткам фотохимии можно отнести то, что фотохимическая реакция может быть вызвана только тем светом, который поглощается веществом, поэтому испускаемый источником свет должен соответствовать спектру поглощения реагента, за счет чего усложняется процесс обработки. Данный метод модификации подходит не всем химическим нитям и текстильным материалам и чаще используется для модификации волокнообразующих полимеров. Несмотря на то, что в настоящее время трудно назвать область техники, где бы ни применялись ультразвуковые или магнитные колебания для интенсификации ряда технологических процессов, использование этих источников для модификации физико-механических свойств синтетических волокон является весьма ограниченным. Магнитная обработка используется как в процессе синтеза волокнообразующих материалов, например новых полиэфиров, так и в процессах активации добавок, наносимых на поверхность химических волокон, для повышения эффективности взаимодействия оксидных реагентов или водных растворов красителя [20] с волокном. Аналогично другим, охарактеризованным выше электрофизическим методам модификации, ультразвуковую и магнитную обработку в производстве синтетических нитей применяют достаточно редко. В качестве альтернативы вышеизложенным методам модификации волокнистых материалов особую значимость приобретают плазменные методы обработки [21], происходящие под воздействием плазмы газовых разрядов: тлеющего, барьерного, коронного, искрового, дугового, высокочастотного и сверхвысокочастотного. Они позволяют направленно изменять структуру волокнообразующего полимера с целью изменения физико-механических, поверхностных и эксплуатационных свойств волокон и нитей при сохранении комплекса остальных характеристик.

5. Плазменные методы модификации Традиционные методы модификации синтетических волокон и нитей не позволяют комплексно повысить механические и физические характеристики нитей, а в некоторых случаях улучшение одних свойств, приводит к ухудшению других. Одним из современных методов электрофизической модификации является плазменная

обработка материалов. В современных условиях различные типы плазменной модификации применяются достаточно широко. Например, сотрудниками Ивановской государственной текстильной академии установлено, что с помощью плазмы атмосферного давления в растворах электролитов осуществляется физико-химическое воздействие на поверхность полипропиленовой нити, при этом происходит ее упрочнение с 34 сН/текс до 39 сН/текс [22]. В работе Петрова С.В. показано, что многокомпонентная химически активная плазма продуктов сгорания углеводородного газа с воздухом с уникальными транспортными и теплофизическими свойствами служит для напыления покрытий и обработки поверхности материалов [23]. В последние годы производители синтетических волокон и нитей все больше внимания обращают на воздействие плазмой газового разряда (дуговой, тлеющий, барьерный и др.), как на наиболее эффективный, экономичный и экологически безопасный способ модификации, который позволяет направленно изменять химический состав волокнообразующего полимера и физические свойства волокон и нитей с целью изменения физико-механических и эксплуатационных свойств материалов при возможном сохранении комплекса остальных характеристик [24]. Вакуумно-плазменные системы являются неравновесными, в которых химическая активация сосредоточена в объеме плазмы. Химические процессы, протекающие в этих системах, относятся к химии высоких энергий (ХВЭ) и характеризуются многими общими свойствами. Все возможные типы плазменного воздействия на полимеры можно свести к следующим: 1) травление – удаление полимерного слоя заданной толщины; 2) выращивание или осаждение на поверхности слоя с заданными свойствами; 3) изменение состава функциональных групп и структуры поверхности для придания им желаемых свойств. По химическому составу плазму можно разделить на две основные категории: 1. Плазма, не образующая полимеров; в нее обычно входят элементарные газы, такие, как кислород, водород, гелий, аргон, азот, а также воздух, галогены или газообразные химические соединения, не ведущие к образованию полимеров; 2. Полимерообразующая плазма, содержащая по крайней мере один тип мономера органического соединения, который может быть осажден в виде полимера. В зависимости от состава газа, его давления, длительности и напряжения разряда, природы материала поверхности можно менять следующие свойства поверхности: смачиваемость, относительную молекулярную массу, химический состав, адгезию, микрошероховатость, устойчивость к усадке, чистоту, пористость, способность к травлению [25]. По способам возбуждения газоразрядную плазму можно разделить на: разряды низкого и пониженного давления (тлеющий разряд постоянного тока; периодические разряды, возникающие при низких и промежуточных частотах; разряды, возникающие при высоких частотах (ВЧ- и СВЧ-разряд)); разряды атмосферного давления (коронный, тлеющий, барьерный разряды). Низкотемпературная плазма

тлеющего разряда является эффективным средством изменения свойств поверхности полимерных материалов[26]. Улучшение адгезионных свойств материалов происходит за счет взаимодействия полимеров с кислородной плазмой, что приводит к образованию гидроксильных и карбонильных групп. Известно, что плазмохимическая обработка синтетических волокон, используемых в качестве наполнителей, дает улучшение их адгезии к некоторым синтетическим связующим, что приводит к существенному упрочнению КМ [27]. В работе [28] повышение адгезионных свойств связывается с улучшением смачиваемости обрабатываемой поверхности и возрастанием косинуса краевого угла смачивания после обработки плазмой тлеющего разряда. К недостаткам плазмы тлеющего разряда можно отнести то, что его разрядный промежуток чередуется темными и светлыми участками; по вольтамперной характеристике имеет область насыщения, область таусендовского разряда, переходную область и области нормального и аномального тлеющего разряда. Результат обработки зависит от величины контактирующей с плазмой суммарной площади поверхности обрабатываемых изделий, в плазме тлеющего разряда невозможно обрабатывать термически малоустойчивые материалы. К тому же, как показывает анализ литературы [29], эффект плазменного воздействия тлеющего разряда на синтетические полимерные материалы не устойчив во времени, также возможны деструктивные процессы в полимере [30]. При сравнении эффекта воздействия искрового и тлеющего разрядов можно наблюдать, что результаты обработки текстильных материалов мало отличаются по свойствам (изменения гидрофильных и физико-механических характеристик), при этом время обработки в искровом разряде увеличивается до двух часов[31]. Коронный разряд возникает в сильно неоднородных полях. Светящаяся корона появляется на поверхности текстильного материала около заостренных электродов или проводов, находящихся под напряжением [32]. Коронный разряд при малых токах становится неустойчивым и переходит в нестационарный искровой разряд. Коронный разряд сильно влияет на структуру и поверхностную морфологию волокон. Их морфология вместо гладкой становится четко выраженной шероховатой и имеет вид мелкопористой системы связанных капилляров [33]. Обработка волокнистых образцов коронным разрядом позволяет существенно повысить такие характеристики, как удельная поверхностная проводимость, гигроскопичность, прочность, фрикционные характеристики. Сравнивая результаты обработки в коронном и тлеющем разряде, в работе [34] отмечается, что при обработке в тлеющем разряде достигается более высокая восприимчивость к адгезивам за более короткое время и адгезионная активность сохраняется более 1 месяца. К недостаткам обработки коронным разрядом [33] относят значительное ослабление плазменного эффекта со временем, так, при первичной обработке в процессе вытягивания пленочных материалов к снижению эффекта приводят последствия

перемотки и температура окружающей среды во время хранения. Кроме того, в процессе обработки коронным разрядом выделяется озон. Он вреден для здоровья и вызывает коррозию оборудования. Это приводит к необходимости усложнения операций по плазмоактивации и удорожанию процесса, в частности, в связи с использованием нейтрализаторов озона. Под барьерным разрядом понимают разряд, возникающий в пространстве, ограниченном двумя электрическими поверхностями, или диэлектриком и металлом. Он состоит из большого числа коротких разрядов, пронизывающих заполненный газом зазор между барьерами. В результате более мягкого воздействия барьерного разряда на материалы их деструкция происходит в меньшей степени. Улучшение ряда свойств текстильных материалов (например, повышение гидрофильности, адгезионных свойств, безусадочности) происходит более эффективно, чем в процессе действия рассмотренных выше разрядов. В работе [35] исследуется обработка барьерным разрядом текстильных волокон и отмечено влияние данного вида плазмы на изменение поверхностной энергии и структуры поверхности. Отмечено, что при обработке материалов на основе полиэтилентерефталата угол смачивания изменяется с 90° до 40°. К недостаткам применения барьерного разряда следует отнести повышенную энергоемкость, использование специальных источников питания электрическим током. Аналогично коронному разряду происходит выделение озона, что требует размещения технологического оборудования в отдельных производственных помещениях и выполнения специфических требований безопасности труда. Общим недостатком для всех вышеперечисленных способов обработки является неустойчивость плазменного эффекта во времени, который, по различным источникам, в среднем снижается до 40% в течение 30 дней [30]. Кроме того, проблемой являются деструктивные процессы в текстильных материалах, что затрудняет комплексное улучшение их свойств. Высокочастотный индукционный (ВЧИ) разряд применяется в качестве нагревателя газа, источника света, технологического устройства (например, плазмохимического реактора). В индукционном разряде способ ввода энергии в плазму основан на использовании явлений электромагнитной индукции, при атмосферном и более высоких давлениях плазма ВЧИ-разряда находится в состоянии локального термического равновесия или близка к этому состоянию [36]. Недостатками ВЧИ плазменной обработки является ограниченность области воздействия плазменного разряда, а также возможная деструкция синтетических волокон из-за нагрева материала. ВЧЕ разряд зажигается между электродами за счет электрического поля, генерируемого токами высокой частоты. На основании исследований [37] установлено, что при обработке капиллярно-пористых и волокнистых материалов применение ВЧЕ разряда позволит комплексно улучшить свойства материалов. Плазма ВЧЕ разряда обладает следующими преимуществами: эффективно и устойчиво изменяет поверхностные свойства образца, не

ухудшает объемных (в том числе физико-механических) характеристик, не нагревает материал до температуры, вызывающей его расплавление или деструкцию. Изменяя параметры разряда и вид плазмообразующего газа можно управлять составом химически активных частиц и, следовательно, характером воздействия ВЧЕ разряда на текстильный материал. Наибольшее число работ, связанных с модификацией материалов плазмой ВЧЕ разряда выполнено специалистами Казанского государственного технологического университета, где изучены вопросы физики плазмы и регулирования свойств капиллярно-пористых тел, натуральных, искусственных волокон и текстильных материалов на их основе [24]. Проведен значительный объем исследований по модификации натуральных и искусственных волокнистых материалов. В связи с этим интерес представляет изучение воздействия ВЧЕ разряда на синтетические волокна и нити, в частности технического назначения. Большинство способов электрофизической обработки оказывают воздействие на структуру как натуральных, так и синтетических волокон, и при улучшении одних характеристик (капиллярности, смачиваемости) нередко следует ухудшение других (прочности, истирания). На основании приведенных выше исследований по обработке натуральных и искусственных волокнистых материалов установлено, что ВЧЕ разряд позволяет комплексно улучшить свойства материалов. Таким образом, дальнейшие исследования в области регулирования свойств синтетических волокон являются актуальными. ННТП обладает следующими преимуществами: эффективно и устойчиво изменяет поверхностные свойства образца, не ухудшает объемных (в том числе физико-механических) характеристик, не нагревает материал до температуры, вызывающей его расплавление или деструкцию. Изменяя параметры электрического разряда, вид плазмообразующего газа, можно управлять составом химически активных частиц и, следовательно, характером воздействия ВЧЕ разряда на текстильный материал. Высокая неравновесность плазмы, генерируемая ВЧЕ разрядом пониженного давления с энергией частиц до 100 эВ, приводит к модификации внутренних и наружных поверхностных слоев текстильных материалов, при этом обрабатываемый в плазме материал остается холодным, что позволяет с помощью плазменного потока получать эффекты, недостижимые другими видами плазменного воздействия. Заключение Таким образом, обработка синтетических волокон, нитей, тканей потоком плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления является новым перспективным способом обработки материалов, позволяет повысить адгезионные и сорбционные характеристики, улучшить физико-механические свойства волокон и нитей. Плазменная технология относится к сухим, экологически чистым процессам, не требующим использования химических реагентов и отвода вредных веществ, поэтому исследование возможностей применения данного способа в процессе производства синтетических волокон и нитей, а также изделий из них является

актуальным. В тоже время существуют и неорганические волокна. К ним относятся стекловолокно, базальтовое волокно и др. Они широко используются в качестве армирующих наполнителей в полимерах, в том числе в виде рубленых волокон. С целью устранения слипаемости, и пыления такие волокна покрывают специальными замасливателями, тем самым, уменьшая адгезию полимер-наполнитель. В этой связи целесообразно использовать плазму ВЧЕ разряда для устранения замасливателя и модификации поверхности неорганических волокон, с целью повышения адгезии.