

УДК 621.315

ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ

МЕХТИЗАДЕ Р.Н.

Институт Физики НАН Азербайджана

В статье представлены обобщенные результаты исследований воздействия неравновесных электрических разрядов в газах на диэлектрические и композиционные материалы с целью модифицирования их свойств в технологических процессах.

Показано, что полученные результаты могут быть использованы при создании научно-технических основ электроразрядного модифицирования материалов, а также схем и устройств для разработки эффективных и экологически чистых технологий.

Проблема разработки и внедрения новых энергосберегающих и экологически чистых технологий является одной из наиболее актуальных в современном экономическом развитии общества. Задача технологии как науки - исследование и выявление физических, химических, механических и иных закономерностей с целью определения и использования на практике наиболее эффективных и экономичных производственных процессов.

Среди разнообразных видов технологического воздействия на материалы особый интерес представляет электротехнология [1], т.е. прямое использование энергии электрического или магнитного поля, подводимой к объекту и осуществляющей активацию и модифицирование его поверхности или объема. При этом возможно осуществлять целенаправленное изменение таких свойств материалов, как адгезионная и адсорбционная способности, чистота поверхности, образование внедренного заряда, влияющего на внутриатомные энергетические состояния, изменение структуры материалов, а также получение новых материалов в химических реакциях и др., непосредственно в технологическом процессе изготовления или обработки объекта.

В случае материалов, представляющих собой комбинированные структуры, содержащие в поверхностном слое органические и неорганические компоненты, резко отличающиеся по механическим, химическим, электрическим свойствам и температурной стойкости, таких, как, например, углепластики, стеклопластики, различные композиционные материалы, большой эффективностью обладает их модифицирование воздействием низкотемпературных неравновесных электрических разрядов в газах. К таким разрядам, характеризующимся высокой степенью энергетической отдачи, малыми потерями энергии на нагрев газа и объекта обработки, относятся коронный, барьерный, факельный и тлеющий разряды в атмосфере различных газов, в основном, в воздухе.

Электроразрядное модифицирование относительно просто совмещается с другими технологическими операциями, такими, как нанесение различных покрытий на поверхность, пропитки поверхности и объема органическими связующими, лаками, красками и другими веществами. Работы многочисленных авторов [1-3] однозначно свидетельствуют об эффективности электроразрядной активации, о ее технологичности и относительной простоте осуществления. Однако, из-за недостаточности и противоречивости данных о характере взаимодействия электрических разрядов и активируемого материала, о механизме изменения электрофизических и химических свойств материалов под воздействием разрядов, о конкретных режимах осуществления

электроразрядной активации некоторых конкретных практически важных материалов, возникают трудно преодолимые препятствия на пути разработки технологических операций по изготовлению или обработке различных диэлектрических и композиционных структур с улучшенными свойствами с использованием их электроразрядного модифицирования.

Вышесказанное обуславливает значимость и актуальность исследований, посвященных проблеме модифицирования диэлектрических и композиционных материалов в технологических процессах с целью выявления основных закономерностей модифицирующего воздействия неравновесных электрических разрядов в газах на материалы, на протекание различных химических реакций, создания научно-технических основ электроразрядного модифицирования материалов, а также схем и устройств для разработки эффективных и экологически чистых технологий.

В качестве объектов исследования были выбраны активируемые материалы: стеклянные пластины и колбы люминесцентных ламп, стекловолокна, стеклопластики, углепластики, неорганические адсорбенты-цеолиты и силикагели различных марок, композиции на основе полимеров и неорганических материалов, а также адсорбентов, линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП), мономеры этилен, гексен-1 и нитрилоакриловая кислота (НАК), используемые при химических реакциях сополимеризации.

Выбор объектов исследования определялся тем, что все вышеназванные материалы широко используются в качестве высоковольтной изоляции, конструкционных и специальных материалов, к электрофизическим и механическим характеристикам которых предъявляются повышенные требования.

Методически эксперименты по электроразрядному модифицированию исследуемых объектов проводились в два этапа: сначала исследовались лабораторные образцы-модели объектов, затем исследования переносились на объекты и изделия в условиях реальных технологических процессов или максимально приближенных к ним.

Указанная методика позволяла более оперативно и в короткие сроки проводить исследования на единичных образцах-моделях, благодаря их малым размерам и простоте и малым габаритам экспериментальных установок, а затем, используя полученные результаты, отрабатывать оптимальные режимы электроразрядного модифицирования материалов в технологических условиях.

Для возбуждения всех вышеперечисленных видов электрического разряда использовалась лабораторная универсальная высоковольтная установка, которая позволяла получать регулируемое переменное напряжение до 100 кВ, постоянное напряжение до 140 кВ и контролировать параметры разряда.

В экспериментах в необходимых случаях использовались компрессор и газобаллонная аппаратура, средства откачки, измерения вакуума и давления газа.

В процессе экспериментов для каждого вида электрического разряда определялось начальное напряжение зажигания из полученной экспериментальным путем вольтамперной характеристики (ВАХ) по изменению хода зависимости $I(U)$ в сторону резкого увеличения наклона кривой тока. В некоторых случаях начальные напряжения определялись непосредственно по электронному осциллографу и фиксировались киловольтметром. Затем устанавливалось рабочее напряжение, составляющее, в различных случаях, полутора-двухкратное значение начального напряжения.

Для осуществления различных режимов того или иного вида неравновесного электрического разряда необходимая конфигурация электрического поля в разрядном промежутке обеспечивалась соответствующим выбором электродов и электродных систем. Каждый вид разряда реализовался путем включения в высоковольтную схему

специально разработанных и сконструированных электродных систем-блоков электрического разряда (БЭР).

Блок коронного разряда состоит из системы электродов, образующих в межэлектродном промежутке резконеоднородное электрическое поле при подаче на него переменного или постоянного напряжения. Указанная система (коротрон) содержит металлические стержни диаметром 1,5–3 мм, длиной 15–20 мм и представляет собой разрядную схему игла – плоскость. Межэлектродные расстояния варьировались от 1 см до 10 см, времена обработки от нескольких секунд до 30 минут. В зависимости от условия электроразрядной обработки образцов режим короны мог быть униполярным или биполярным [3].

Воздействие факельным разрядом на образцы [4] осуществлялось с помощью набора специальных факелообразующих устройств, каждое из которых содержит молибденовый стержень диаметром 1,5 – 3 мм, торец которого заточен на конус со скругленной вершиной. На торец одета цилиндрическая диэлектрическая насадка; использованы преимущественно отрезки фарфоровых трубок (внутренний диаметр 1-5 мм, внешний 4,5-9 мм). Стержень служит высоковольтным электродом, подсоединяемым к положительному полюсу источника высокого напряжения; подключение производится через высокоомный резистор; используемые в экспериментах номиналы резисторов составляли от 2 Мом до 30Мом. Для получения более эффективного и стабильного режима электроразрядной обработки материалов был реализован режим факельного разряда на переменном напряжении в двух вариантах. В первом варианте обеспечивалось существование стабильного факельного разряда в положительный полупериод приложенного напряжения и отрицательной лавинной короны - в отрицательный полупериод. Во втором варианте оба электрода являлись факелообразующими, что позволяло подвергать образец воздействию факельного разряда с обеих противоположных сторон. Мощность блока питания установки выбиралась из условия, что средний ток на один факел составляет 50-200 мкА, или до 300 мкА в предельных режимах, когда факельный разряд уже переходил в искровой.

Лабораторный блок барьерного разряда [5] содержит плоские электроды, преимущественно диски диаметром 50 мм, расположенные на расстоянии $d=1-8$ мм. Между дисками располагается плоский диэлектрический барьер с толщиной $d_g=0,5-5$ мм; в качестве барьера применялись полимерные пленки, плоские стекла различного состава, пластинки ситалла, плоский стеклопластик. Для уменьшения влияния краевого эффекта и предотвращения прямого перекрытия разрядом по краям электродной системы размеры барьера выбирались больше, чем размеры электродов. Плотность тока барьерного разряда была значительно выше 20 мкА/см², а суммарные токи были значительно ниже, чем при экспериментах с использованием многофакельной схемы. В ряде экспериментов, например, при изучении влияния волокон на характеристики барьерного разряда, использовались различные варианты конструкций электродных систем и формы и материала диэлектрических барьеров.

Для оценки изменений адгезионных свойств поверхности после различного вида обработок использовался метод измерения краевого угла смачивания, который позволяет оценить изменение работы адгезии поверхности без нанесения покрытия. Измерение краевого угла смачивания проводилось на специально разработанном в лаборатории приборе, в основу которого положена идея получения отражения луча света от поверхности капли жидкости. Прибор позволяет измерять краевые углы при смачивании диэлектриков, в том числе полимеров и стекол, композиционных и других материалов, не растворяющихся в рабочей жидкости. В качестве жидкости обычно используется дистиллированная вода, в наших экспериментах смачивающей жидкостью служила эпоксидная смола; образец при этом использовался однократно.

В таблицах 1 и 2 представлены значения краевого угла смачивания капель жидкой эпоксидной смолы стеклянных пластин, измеренного после воздействия факельным и барьерным разрядами соответственно, при различных временах воздействия.

Таблица 1.

Значения краевого угла смачивания капель жидкой эпоксидной смолы стеклянных пластин, измеренного после воздействия факельным разрядом, при различных временах воздействия.

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t возд, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
φ _{кр} , град	34	31	28	26	25	25	24	24	24	24

Таблица 2.

Значения краевого угла смачивания капель жидкой эпоксидной смолы стеклянных пластин, измеренного после воздействия барьерным разрядом, при различных временах воздействия.

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t возд, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
φ _{кр} , град	36	32	28	26	25	24	24	24	23	23	23	23	23

Как видно из таблиц, воздействие как факельного, так и барьерного разрядов уже при малых временах (до 50-60 сек) приводило к значительному снижению краевого угла смачивания.

Микроскопическое исследование состояния поверхности образцов подтвердило наличие на ней микротрещин и микропор размерами (10-20) мкм при световом и температурном воздействии и (150-200) мкм - при электроразрядном.

Следует отметить, что непосредственные измерения краевого угла смачивания чистых стекол также дают значения 23°-28°. Это означает, что после воздействия электрического разряда адгезия смолы к стеклу со слоем замасливателя на его поверхности достигает такой же величины, как и при отсутствии замасливателя. По всей видимости, увеличение работы адгезии поверхности стекла с нанесенным на его поверхность сплошным слоем замасливателя при электроразрядном воздействии в течение 50-60 секунд связано с образованием в объеме замасливателя сквозных пор вплоть до поверхности стекла.

Таким образом, установлено, что электроразрядное модифицирование поверхности стекла с парафиновым замасливателем заметно повышает ее адгезию к эпоксидной смоле.

Последующие эксперименты показали, что оптимальный эффект достигается при совместном использовании различных видов неравновесного электрического разряда, т.е. при комплексной электроразрядной активации поверхности материалов[6].

Полученные экспериментальные результаты, а также выявленные особенности влияния стекловолокон на характеристики факельного и барьерного разрядов позволили установить оптимальные режимы разрядов и наиболее целесообразные межэлектродные расстояния, а также характеристики и конструкции реакторов факельного и барьерного разряда при создании технологического устройства электроразрядной активации поверхности стекловолокон в процессе промышленного изготовления стеклопластиковой продукции на Мингечаурском заводе «Азерэлектроизолит» [7].

Опытные образцы готовой продукции, полученной на заводе «Азерэлектроизолит» с помощью электроразрядного модифицирования, испытывались

в заводской лаборатории на электрическую прочность и водопоглощение [7,8] по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТ; стандартные методики дополнялись некоторыми приемами, позволяющими получить более подробную информацию.

В таблице 3 представлены средние по 10 образцам значения измеренных электрической прочности и водопоглощения образцов одной из партий продукции – профильного стеклопластика СПП-ЭИ (профиль 10x10 мм, 128 нитей в жгуте), полученной по вышеуказанной технологии.

Таблица 3

Средние значения электрической прочности и водопоглощения образцов профильного стеклопластика СПП-ЭИ

Вид активации→ Параметр↓	Без активации	Факельный разряд	Барьерный разряд
Электрическая прочность, кВ/см	24	29	30
Водопоглощение, %	0,32	0,26	0,26

Из приведенных результатов видно, что электроразрядная активация стекловолокон позволяет значительно улучшить показатели по электрической прочности (практически на 25%) и водопоглощению стеклопластиков, выпускаемых в промышленности, и, тем самым, представляет собой эффективное средство целенаправленного воздействия на поверхность стекловолоконных материалов с целью повышения ее адгезионных свойств непосредственно в технологическом процессе изготовления композиционных стеклопластиковых изделий.

Таким образом, комплексное электроразрядное модифицирование поверхности диэлектрических и композиционных материалов – стекло, стекловолокон и стеклопластиков непосредственно в технологических процессах их изготовления или обработки, значительно повышает их адгезионную способность к различным покрытиям и, в конечном счете, приводит к повышению качества полученной продукции.

Аналогичные эксперименты по изучению влияния электроразрядной активации поверхности образцов стеклопластиковых изделий показали заметное повышение их адгезионной способности, в частности увеличения адгезии к наносимым металлическим покрытиям. Микроскопические исследования поверхности образцов, обработанных электрическими разрядами выявили наличие на них сильно развитой шероховатости и заметной эрозии, что и обуславливает наблюдаемое увеличение адгезии. Полученные результаты были использованы для электроразрядного модифицирования стеклопластиковых плат радиоэлектронных схем и переданы в БПО «Радиотехника» для практического применения.

Проблема адгезия люминофора и стекла является важнейшей при производстве люминесцентных приборов, в основном, производстве люминесцентных ламп. Плохая адгезия люминофора и стекла вызывает отвал люминофора с готовых ламп, что снижает их качество. Поэтому были исследованы возможности модифицирования поверхности стекол в электрическом разряде для повышения адгезии люминофора и стекла.

Для обработки стеклянных пластин-моделей и колб люминесцентных ламп использовался тлеющий разряд в атмосфере элегаза и остаточного воздуха при давлении несколько сотен паскалей в герметичной камере, собранной на основе вакуумной универсальной установки ВУП-4. Рабочий промежуток был образован параллельными дисковыми электродами диаметром 35мм, расположенными на расстоянии 140мм. Выбор такого типа разряда был обусловлен трудностью получения коронного разряда в длинных трубках и тем, что тлеющий разряд способствует очистке поверхности.

Как показали эксперименты, максимальная адгезия водяной капли к стеклу достигалась при электроразрядном воздействии на стеклянные пластины в следующем режиме: средний ток разряда 1-2 мА, время воздействия разряда 1-2 мин.

При обработке колб люминесцентных ламп в условиях заводской технологической линии по стандартным методикам был установлен и поддерживался режим, близкий к указанному по средним значениям тока разряда и времени его воздействия. Режим тлеющего разряда соответствовал левой ветви кривой Пашена.

Измерения силы адгезии методом сдувания люминофора показали, что обработка колб увеличивает адгезию между люминофором и стеклом в 2-3 раза (при использовании заводской технологии нанесения люминофора), и при этом не уменьшает прозрачности стекла.

В таблице 4 приведены данные по светоиспусканию колб до и после обработки электрическим разрядом в элегазе. Как видно из таблицы, обработка в указанных режимах не уменьшает прозрачности стекла; некоторое увеличение следует отнести, видимо, за счет промывки колб.

Таблица 4.

Данные по светопропусканию колб до и после обработки электрическим разрядом

№ образца	Светопропускание		Давление р, торр.	Ток разряда, мА	Время обработки, мин
	до обработки	после обработки			
1	94	96	1	0,5	1
2	92	95,5	1	0,5	1
3	95	96	1	3,0	1
4	97	98	2	3/5	1,5/1
5	94,5	95	1	2/5	2/8
6	95	96	2	3/5	2/8
7	93,5	97	1	3/5	2/8
8	98	97,5	2	3/5	2/1
9	92	95	2	0,5	1
10	92	96	2	3/5	2/8
Среднее	94,5	96,2			

Результаты работы были применены в БПО "Азерэлектросвет".

Исследовалось электроразрядное модифицирование некоторых диэлектрических и композиционных материалов, при котором происходят изменения их объемных свойств, а именно: возникновение зарядового состояния в неорганических пористых адсорбентах и их полимерных композициях, а также изменения важнейших характеристик пленочных композиционных нелинейных резисторов-варисторов - изменение напряжения открывания и уменьшение деградационных процессов при эксплуатации.

Образование заряженного состояния изучалось в неорганических пористых адсорбентах-силикагели марки КСМ, цеолите-клиноптилолите и полимерной композиции, включающей в состав полимерное связующее – поливинилиденфторид (ПВДФ) и неорганический пористый наполнитель –силикагель [9].

Образцы исследуемых композиционных структур изготавливались путем горячего прессования прошкообразных компонентов при их различном относительном содержании. Заряженное состояние в образцах выявлялось методом термостимулированной релаксации (ТСР), широко применяемым при изучении свойств диэлектрических материалов.

Значения поверхностной плотности выведенного из образцов суммарного электрического заряда, определенные интегрированием кривой тока ТСР в функции времени, для всех исследуемых образцов оказались весьма высокими и находились в пределах (10^{-7} - 10^{-6}) Кл/см².

В соответствии с результатами лабораторных исследований, разработана и внедрена схема очистного сооружения для сточных вод Мингечаурского завода «Электроизолит», содержащих среди вредных веществ также и ядовитый фенол. В таблице 5 представлены данные анализа состава сточной воды завода до и после очистки в очистном сооружении.

Таблица 5.

Данные анализа состава сточной воды завода до и после очистки в очистном сооружении.

Примеси, мг /л	Сухой остаток	Сульфаты	Хлориды	рН	Нитраты	Нитриды	Фенол	Органич. соедин.	Запах
Исходная вода	420	140	100	7	0,13	8	0,1	1,0	слабый
Очищенная вода	180	100	60	7	нет	3	нет	нет	нет

Данные таблицы подтверждают значительную эффективность адсорбционной очистки сточных вод с применением электроразрядной активации адсорбента. Как показали исследования, адсорбционная очистка с применением электроразрядной активации адсорбентов является эффективной не только в случае жидких материалов [9-10], но и газообразных, таких, как двуокись углерода, двуокись серы, а также сильно вязкой топливной жидкости - мазута. Решение экологической проблемы, связанной с работой тепловых электростанций, в этом случае возможно комбинацией адсорбционной очистки с реагентной [11].

Выявленный в работе факт образования заряженного состояния в пористых адсорбентах и полимерных композициях на их основе, подвергшихся электризации различными способами, а также высокое значение поверхностной плотности образованного заряда позволили разработать и изготовить пленочные электреты на основе композиционного материала, состоящего из поливинилиденфторида (ПВДФ) в качестве связующего и силикагеля марки КСМ в качестве наполнителя [12].

Путем теоретического анализа рассмотрена роль ионной диффузии в электроразрядной модификации приповерхностного слоя композиционных материалов. Показано, что диффузия ионов из разряда является одним из механизмов поступления ионов в слой обрабатываемого разрядом материала, обеспечивающим электрическую зарядку и химические реакции в приповерхностном слое материала. Этот механизм представляет определенный интерес с точки зрения электроразрядной активации материалов, так как эффекты активации сохраняются в материале, как правило, в течение длительного времени после окончания обработки и в этом смысле перспективны для использования в различных технологиях.

Эксперименты по электроразрядному синтезу привитого сополимера линейного полиэтилена низкой плотности без применения традиционных инициаторов реакции [13] проводились на специальных установках, основными узлами которых являлись теклянные реакторы.

В качестве исходного материала для реакции привитой сополимеризации использовался ЛПЭНП, полученный традиционным методом сополимеризации мономера гексен-1 и этилена. Реакция сополимеризации проводилась при давлении $4 \cdot 10^6$ Па (40 атм.), температуре 413 К и концентрации гексена-1 до 3-5% моль.

Для осуществления процесса прививки НАК к ЛПЭНП электроразрядные

воздействия осуществлялись в двух различных режимах: 1) в течении процесса реакции прививки; 2) путем предварительной обработки реагентов перед реакцией прививки. Оптимальные условия прививки были определены с помощью метода планирования эксперимента.

Жидкий мономер гексен-1 перед проведением реакции сополимеризации подвергался электроразрядной адсорбционной очистке от кислородосодержащих соединений.

Сравнение основных механических и электрических характеристик сополимера линейного полиэтилена низкой плотности, полученного методом электроразрядной прививки характеристики, с аналогичными характеристиками обычного промышленного ЛПЭНП выявили высокое качество полученного сополимера.

В таблице 6 приведены для сравнения электрические характеристики привитого сополимера, исходного ЛПЭНП и полиэтилена, модифицированного хлором (ПВХ).

Таблица 6.

Электрические характеристики исходного, хлорированного и привитого сополимера ЛПЭНП.

Параметр	ЛПЭНП (исходный)	ПВХ	ЛПЭНП, привитый элект- роразрядным синтезом
ρ , Ом·м	10^{15}	$10^{13} - 10^{15}$	10^{14}
ϵ	2,3-2,4	3,1-3,4	3,1
$\text{tg}\delta$ (при 1МГц)	0,0004	0,015	0,003
$E_{\text{пр}}$, МВ/м (при толщине 1мм)	45-55	35-45	40-45

Как видно из таблицы 6, привитый полиэтилен по некоторым электрическим характеристикам (ρ и $\text{tg}\delta$) незначительно уступает исходному полиэтилену, однако, по отношению к ПВХ, привитый ЛПЭНП превосходит его практически по всем основным электрическим характеристикам. Кроме того, как известно, при энергетических и механических воздействиях на ПВХ в процессе его эксплуатации имеют место дегидрохлорирование, окисление, деструкция макроцепей и другие структурные изменения. При этом считается, что основная реакция, ответственная за потерю полимером эксплуатационных свойств – выделение HCl за счет дегидрохлорирования при нагревании выше 373 К, представляющего к тому же экологическую опасность для окружающей среды.

Учитывая вышесказанное, а также тот факт, что полученный материал, благодаря отсутствию гомополимера прививаемого мономера, обладает повышенными механическими характеристиками, повышенной стойкостью к агрессивной среде, и при его синтезе не использовался традиционный инициатор, можно утверждать, что разработка метода электроразрядного синтеза сополимера представляется важным этапом в решении задачи достижения эффективности, экономичности и экологической чистоты технологических процессов.

В работе проведен теоретический анализ влияния степени неоднородности электрического поля при электроразрядных воздействиях на эффективность процесса прививки, а также условий протекания реакции синтеза сополимера в зависимости от энергии, затрачиваемой электрическим полем и разрядом на активацию реакции.

Установлено, что резкое различие в распределении напряженности электрического поля в промежутках между цилиндрическими электродами реакторов, в которых проводился синтез сополимера при воздействии барьерного разряд, т.е. в условиях резконеоднородного и слабонеоднородного полей соответственно, приводит к тому, что в первом случае возбуждение и активация макромолекул имеют место лишь в небольшой части межэлектродного промежутка вблизи внутреннего электрода, а во втором, т.е. в слабонеоднородном поле, во всем зазоре между электродами. Это,

соответственно, обуславливает более высокую эффективность воздействий барьерного разряда в слабонеоднородном поле на процесс синтеза.

Как известно, процесс реакции привитой сополимеризации требует для своего протекания определенного запаса энергии у реагирующих частиц, так называемой энергии активации данной реакции. Нами установлено, что параметры и условия электрических воздействий оказывают решающее влияние на протекание реакции.

Теоретически рассмотрены раздельно процессы, происходящие в реакторе при синтезе сополимера и воздействии электрического поля при отсутствии какого-либо разряда, и электрического разряда при напряжении, значительно превышающем напряжение его зажигания. Было выявлено, что как в резконеоднородном поле в системе «провод - цилиндр», так и в слабонеоднородном поле «цилиндр – цилиндр» при напряжениях, меньших начальных напряжений (т.е. напряжений зажигания) разряда в соответствующих конфигурациях поля, протекания процесса прививки практически не наблюдается. По-видимому, это связано с недостаточной величиной энергии, передаваемой электрическим полем мономеру.

Данные литературы [14], а также полученные расчетным путем значения приведенной напряженности электрического поля E/p (E – напряженность электрического поля, p – давление) для обеих конфигураций свидетельствуют о том, что в обоих случаях энергии, получаемой электронами от электрического поля, явно недостаточно для разрыва связи С – Н (энергия связи 3,4 эВ) и, следовательно, для протекания процесса прививки.

В случае воздействия электрическими разрядами при напряжениях, значительно превышающих начальное, условия протекания реакции существенно изменяются, так как энергия электронов в канале разряда намного превышает энергию электронов при доразрядных напряжениях [14,с.12], т.е. напряжениях ниже начального. В этом случае отсутствие термодинамического равновесия в неравновесных разрядах обуславливает значительное превышение средней энергии части электронов над средней энергией других электронов. Эти электроны передают свою кинетическую энергию молекулам ЛПЭНП, инициируя отрыв атомов водорода и протекание реакции по радикальному механизму.

Согласно работе [15,с.86], среднюю энергию бомбардирующей смесь (набухший полимер+НАК) электронов $W_{э,ср}$ в электронвольтах можно приближенно вычислить по формуле:

$$W_{э,ср} = 8,63 \cdot 10^{-4} \cdot T \left[21 + 331 \lg \left(\frac{0,5}{d} + 44 \right) \right],$$

где d – длина разрядного промежутка, см; T – температура воздуха в разрядном канале, К.

В наших условиях расстояние между электродами: $d = 0,5$ см; $T_r = 300$ К, тогда получим $W_{э,ср} \approx 20$ эВ. Полученной расчетным путем энергии электронов вполне достаточно для разрыва связи С – Н (энергия связи С–Н равна 3,4 эВ) и, следовательно, протекания процесса.

Таким образом, проведенный нами теоретический анализ показал, что протекание реакции электроразрядного синтеза сополимера, прежде всего, зависит от энергии, затрачиваемой электрическим полем и разрядом на активацию реакции.

ВЫВОДЫ

1. Впервые установлено, что применение электроразрядной активации стекловолокон в технологическом процессе изготовления стеклопластиков приводит к повышению электрической прочности готовых изделий на 25-30 % и к уменьшению их влагопоглощения.

2. Выявлено, что оптимальный эффект модифицирования поверхности стекловолокон достигается при последовательном использовании факельного и барьерного видов электрического разряда, т.е. при комплексной электроразрядной активации поверхности материалов.

3. Показано, что основными механизмами, приводящими к активации поверхности стекловолокон, являются зарядовое состояние в материале и воздействие продуктов разряда на поверхность.

4. Выявлено, что электроразрядная активация неорганических адсорбентов-цеолитов и силикагелей приводит к значительному увеличению их адсорбционной способности. Показано, что активация поверхности адсорбентов связана с ее зарядкой преимущественно диффузионным механизмом.

5. На основе полученных результатов разработаны, собраны и апробированы опытная установка по электроразрядной активации стекловолокон в процессе промышленного изготовления стеклопластиковых изделий, а также установка по адсорбционной очистке сточных вод на заводе «Азерэлектроизолит».

6. Впервые разработан композиционный материал для изготовления электретов на основе неорганического адсорбента и полимера.

7. Впервые установлено, что электроразрядная активация колб люминесцентных ламп увеличивает адгезию между люминофором и стеклом в 2-3 раза, без уменьшения прозрачности стекла.

8. Разработан и исследован технологический режим химической реакции прививки полимера, активируемой электрическим разрядом, позволяющий получать полимерный продукт с улучшенными свойствами без применения химических катализаторов

9. Путем теоретического анализа выявлено, что протекание реакции электроразрядного синтеза сополимера, прежде всего, зависит от энергии, затрачиваемой электрическим полем и разрядом на активацию реакции. Показано, что необходимая для осуществления синтеза энергия активации обеспечивается при воздействии развитого электрического разряда.

-
1. *Литвинов В. Е.* Тр. МЭИ: Применение высоких напряжений в промышленности и энергетике, вып. 224. М.: 1975.
 2. *Попков В.И., Глазов М.И.* Кинетика зарядки и динамика волокон в электрическом поле М., Наука, 1976 г., 126 с.
 3. *Джуварлы Ч.М., Горин Ю.В., Мехтизаде Р.Н.* Коронный разряд в электроотрицательных газах. Баку, Элм, 1988.-144 с.
 4. *Мехтизаде Р.Н.* Электрический разряд факельного вида как средство технологического воздействия на материалы. Проблемы энергетике, Баку, Элм, 2005, №.2,с.49-55.
 5. *Джуварлы, Ч.М., Бунятзаде А.А., Вечхайзер Г.В., Гасанов М.А., Бабаева М.А., Мехтизаде Р.Н., Гурбанов К.Б.* Интенсификация сорбционной очистки углеводородных жидкостей от примесей с помощью электрического разряда барьерного типа. Электронная обработка материалов, 1990, № 1, с. 43-44.
 6. *Мехтизаде Р.Н., Джалалов К.Х.* Комплексное электрофизическое воздействие на поверхность стекла с парафиновым замазливателем. Материалы Научной – практической конференции, «Научно - технические проблемы электроэнергетике в современных условиях», Баку, 1997, с. 103-104
 7. *Абдуллаев Г.А., Джуварлы Ч.М., Мехтизаде Р.Н. и др.* Способ изготовления электроизоляционных стеклопластиковых изделий. Патент №1807992, 10.10.92.
 8. *Горин Ю.В., Джалалов К.Х., Мехтизаде Р.Н. и др.* Влияние воздействия электрического разряда на изменение водопоглощения армированных композиционных

материалов Сборник статей по электрофизике и электроэнергетике. Выпуск 4, Баку, «Элм», 1994, с. 58-60

9. Джужварлы Ч.М., Дмитриев Е.В., Курбанов К.Б., Мехтизаде Р.Н., Гасанов М.А. Образование заряженного состояния в силикагелях под воздействием электрических полей и разрядов. Электронная обработка материалов, 1991, №4, с.46-47. (78Элм)

10. Гасанов М.А., Гашимов А.М., Курбанов К.Б., Дмитриев Е.В., Мехтизаде Р.Н. Электроразрядная модификация трансформаторных масел. Труды третьей международной Конференции «Электрическая изоляция-2002» 18-21 июня, Санкт-Петербург, 2002, с. 335-336

11. Гашимов А.М., Горелов В.П., Джужварлы Ч.М., Дмитриев Е.В., Курбанов К.Б., Мехтизаде Р.Н., Рзаев Ф.Т. Решение некоторых вопросов энергетики и электрофизики использованием воздействий сильных электрических полей и разрядов. Труды юбилейного экологического семинара «Социально-экономические проблемы экологии Сибирского региона». 50 лет НГАВТ. Новосибирск, 2000, с.196-202

12. Джужварлы Ч.М., Дмитриев Е.В., Тагиев Б.Г., Насруллаев Н.И., Курбанов К.Б., Мехтизаде Р.Н., Гасанов М.А. «Материал для изготовления электретов», А.С.№1709856, I.XI.91.

13. Мехтизаде Р.Н., Ахмедов Э.Н. Физико-химические механизмы получения привитого сополимера с применением электроразрядных воздействий. Проблемы энергетики, Баку, Элм, 2001, № 4, с. 93-96.

14. Техника высоких напряжений, (под. ред. М.В.Костенко), для вузов, М., Высшая школа, 1973, 528 с.

15. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях, Л., Ленинградское отделение., 1979, 224 с.

TEKNOLOJİ PROSESSLƏRDƏ DİELEKTRİK VƏ KOMPOZİSİYALI MATERİALLARIN ELEKTRİK BOŞALMALARI VASİTƏSİLƏ MODİFİKASİYASI

MEHDİZADƏ R.N.

Məqələdə dielektrik və kompozisiyalı materialların, qeyritaraz elektrik qazboşalmalarının təsirləri vasitəsilə, xüsusiyyətlərinin texnoloji proseslərdə modifikasiyasına dair tədqiqatların ümumiləşmiş nəticələri verilmişdir.

Göstərilmişdir ki, əldə edilmiş nəticələr materialların elektrik boşalmaları vasitəsilə modifikasiyasının elmi-texniki əsaslarını işlənilməsində, effektiv və ekoloji təminatlı texnologiyaların işlənilməsi üçün sxem və qurğuların hazırlanmasında istifadə oluna bilər.

ELECTRODISCHARGE MODIFYING OF DIELECTRIC AND COMPOSITE MATERIALS IN TECHNOLOGICAL PROCESSES

MEHDIZADEH R.N.

In article the generalized results of researches of effect of nonequilibrium electric discharges in gases on dielectric and composite materials with the purpose of modifying of their properties in technological processes are presented.

It is shown, that the received results can be used at creation of scientific and technical bases of electrodischarge modifying materials, and also schemes and installations for development of effective and ecologically clean technologies.