

ГИДРОФИЛИЗАЦИЯ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩЕГО ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТА ИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИ ПОНИЖЕННОМ ДАВЛЕНИИ

А.Е. Сорокин, А.А. Мельников, В.А. Сагомонова, П.А. Щур, С.С. Долгополов

Антон Евгеньевич Сорокин (ORCID 0000-0001-9729-0785)*

Научно-исследовательское отделение функциональных материалов и технологии синтеза, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, ул. Радио, 17, Москва, Российская Федерация, 105005

E-mail: aesorokin1988@mail.ru *

Андрей Андреевич Мельников (ORCID 0000-0002-4640-3994), Валерия Андреевна Сагомонова (ORCID 0000-0003-1306-7573), Станислав Сергеевич Долгополов (ORCID 0000-0003-1817-5645)

Лаборатория декоративных, акустических, технических текстильных и термопластичных конструкционных материалов, Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов, ул. Радио, 17, Москва, Российская Федерация, 105005

E-mail: glass627@viam.ru, valerysgm@gmail.ru

Павел Александрович Щур (ORCID 0000-0002-7862-2366)

Московский авиационный институт, Волоколамское шоссе, д.4, Москва, Российская Федерация, 125993

В работе исследовалось влияние ионно-плазменной обработки при пониженном давлении на угол смачивания и прочность связи при отслаивании вибропоглощающего материала (ВПМ) на основе термоэластопласта с адгезивом. Для проведения исследования использовали листы полимерного вибропоглощающего термоэластопласта (ТЭП) на основе полиуретана толщиной 0,5 мм, которые изготавливались экструзией расплава композиции на двухшнековом экструдере в соответствии с разработанной технологической документацией во ФГУП «ВИАМ». Для сравнения влияния обезжиривания поверхности и ионной обработки образцы термоэластопласта обрабатывались в спирте этиловом и ацетоне в различных комбинациях до и/или после ионной обработки. Продемонстрирована возможность снижения краевого угла смачивания термоэластопласта за счет применения ионной обработки при пониженном давлении, при этом величина угла смачивания определялась мощностью разряда источника ионов и продолжительностью обработки. Для обработанных образцов минимальные значения угла смачивания составили ~ 44° при исходных значениях ~ 94°. Показано, что сниженный в процессе ионной обработки угол смачивания возвращается к исходным значениям сразу же после воздействия на обработанную поверхность спирта и ацетона и с течением времени при хранении на воздухе. Показано, что ионная обработка положительно сказывается на прочности связи при отслаивании термоэластопласта с адгезивом от подложки, демонстрируя значения прочности связи на уровне обезжиривания перед склеиванием. При этом при сочетании ионной обработки и обезжиривания ацетоном перед склеиванием удалось добиться максимального значения прочности связи, составившей 1,54 Н/мм, что на 35% больше, чем при обезжиривании ацетоном, и в 3,7 раз больше значений для исходных необработанных образцов.

Ключевые слова: вибропоглощающий материал, термоэластопласт, краевой угол смачивания, ионная обработка, гидрофильность, прочность, отслаивание

Для цитирования:

Сорокин А.Е., Мельников А.А., Сагомонова В.А., Щур П.А., Долгополов С.С. Гидрофилизация вибропоглощающего термоэластопласта ионной обработкой при пониженном давлении. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 3. С. 91–99

For citation:

Sorokin A.E., Melnikov A.A., Sagomonova V.A., Shchur P.A., Dolgoplov S.S. Hydrophilization of vibration-damping thermoplastic elastomer by ion-treatment at reduced pressure. *ChemChemTech [Изв. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 3. P. 91–99

HYDROPHILIZATION OF VIBRATION-DAMPING THERMOPLASTIC ELASTOMER BY ION-TREATMENT AT REDUCED PRESSURE

A.E. Sorokin, A.A. Melnikov, V.A. Sagomonova, P.A. Shchur, S.S. Dolgoplov

Anton E. Sorokin (ORCID 0000-0001-9729-0785)*

Research Department of Functional Materials and Synthesis Technologies, All-Russian Research Institute of Aviation Materials, Radio st., 17, Moscow, 105005, Russia

E-mail: aesorokin1988@mail.ru *

Andrey A. Melnikov (ORCID 0000-0002-4640-3994), Valeria A. Sagomonova (ORCID 0000-0003-1306-7573), Stanislav S. Dolgoplov (ORCID 0000-0003-1817-5645)

Laboratory of Decorative, Acoustic, Technical Textile and Thermoplastic Structural Materials, All-Russian Research Institute of Aviation Materials, Radio st., 17, Moscow, 105005, Russia

E-mail: glass627@viam.ru, valerysgm@gmail.ru

Pavel A. Shchur (ORCID 0000-0002-7862-2366)

Moscow aviation institute, Volokolamsk highway, 4, Moscow, 125993, Russia

For the study, sheets of polymeric vibration-absorbing thermoplastic elastomer (TPE) based on polyurethane with a thickness of 0.5 mm were used. They were made by melt extrusion of the composition on a twin-screw extruder in accordance with the developed technological documentation at FSUE "VIAM". The paper investigated the effect of ion-plasma treatment at reduced pressure on the contact angle and bond strength during peeling of a vibration-absorbing material (VPM) based on a thermoplastic elastomer with an adhesive. To compare the effect of surface degreasing and ionic treatment, thermoplastic elastomer samples were treated in ethyl alcohol and acetone in various combinations before and / or after ionic treatment. The possibility of decreasing the contact angle of thermoplastic elastomer due to the use of ion treatment at reduced pressure was demonstrated, while the value of the contact angle was determined by the discharge power of the ion source and the duration of treatment. For the treated samples, the minimum values of the contact angle were $\sim 44^\circ$ with the initial values of $\sim 94^\circ$. It has been shown that the contact angle reduced during ion treatment returns to its initial values immediately after exposure to the treated surface with alcohol and acetone and over time during storage in air. It is shown that ionic treatment has a positive effect on the bond strength during peeling of the thermoplastic elastomer with the adhesive from the substrate, demonstrating the values of bond strength at the level of degreasing before gluing. At the same time, with a combination of ionic treatment and degreasing with acetone before gluing, it was possible to achieve the maximum value of the bond strength, which was 1.54 N/mm, which is 35% more than with degreasing with acetone and 3.7 times more than the values for the original untreated samples.

Key words: vibration-damping material, thermoplastic elastomer, contact angle, ion- treatment, hydrophilicity, strength, delamination

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) в настоящее время нашли широкое применение в качестве конструкционных и функциональных материалов в производстве различных видов авиационной и наземной техники [1-4]. В частности, в авиации современные воздушные суда имеют в своей конструкции свыше 50% ПКМ [5-7].

Например, самоклеящиеся вибропоглощающие материалы (ВПМ) являются в настоящее время одним из наиболее распространенных и вос-

требуемых на мировом рынке типов армированных ВПМ. Они представляют собой двух- или трехслойный материал в виде ленты или листа из вибропоглощающей полимерной подложки с нанесенным на одну или обе стороны клеевым (адгезионным) слоем, обладающим постоянной липкостью и обеспечивающим формирование адгезионного соединения с поверхностью, приведенной в контакт при приложении давления. За рубежом в научно-технической литературе применительно к ним используют термин «*damping tapes with pressure sensitive adhesive*» по аналогии с «чувствительными к давлению клеями» (PSA).

Применение вибропоглощающих материалов, приклеиваемых к поверхности элементов конструкции и деталей из металлов и ПКМ, позволяет существенно повысить коэффициент механических потерь конструкции [8-12]. Исследуемый термоэластопласт на основе полиуретана предназначен для изготовления эластичных имитаторов силового набора и покрытий фюзеляжа, применяемых для снижения вибраций и шумов в салоне самолетов и вертолетов, а также для изготовления многослойных вибропоглощающих материалов и уплотнительных прокладок. В этой связи актуальной задачей является исследование и увеличение прочности связи вибропоглощающих материалов с адгезивом.

С целью изменения поверхностных свойств ПКМ в настоящее время широко используются методы ионно-плазменной обработки, которые совмещают в себе ряд преимуществ по сравнению с другими физическими и химическими методами обработки, а именно: возможность производить прецизионную обработку с четким контуром, точный контроль параметров процесса, возможность локально подводить высокую энергию [13, 14], а также воздействие только на поверхностные слои материала (от 1 до 100 нм), что позволяет сохранять механические, физико-химические и электрофизические свойства самого обрабатываемого материала с приданием его поверхности новых свойств.

Особый интерес ионно-плазменные методы обработки представляют для полимеров в связи с их низкой поверхностной энергией и, вследствие этого – плохой способностью склеиваться с другими материалами. Ионно-плазменное воздействие в значительной степени позволяет изменять поверхностные свойства полимерных материалов (смачиваемость, поверхностный заряд, адгезионные свойства и т.п.) и таким образом расширить сферу их применения [15-18].

Одной из основных целей ионно-плазменной обработки полимерных материалов является изменение их гидрофильности с целью изменения адгезионных характеристик по отношению к различным внешним воздействиям. Улучшение адгезионных свойств полимеров при плазменной обработке связано с физической очисткой поверхности от пыли и других загрязнений с одновременным образованием гидрофильных групп различной химической природы в зависимости от природы самого полимера и от среды обработки [19].

Альтернативно, адгезионные свойства полимера можно улучшить за счет нанесения на его поверхность полимерного покрытия, которое обладает хорошими контактными свойствами. Такой

процесс включает стадию предварительной активации исходной поверхности в плазме, при этом само нанесение покрытия может быть проведено как традиционными методами, так и путем полимеризации в плазме.

В статье [20] описан метод обработки полимерных материалов (полиэтилентерефталата и политетрафторэтилена) в плазмах $N_2 + O_2$ (сжатый воздух), CF_4 (тетрафторметан), $Ag + O_2$ с помощью ионного источника типа «Радикал», в котором скрещиваются магнитные и электрические поля, создавая направленный поток ионов на подложку, при следующих технологических параметрах: $I_{\text{разряда}} = 200 \text{ mA}$, $V_{\text{разряда}} = \text{более } 2 \text{ кВ}$, рабочее давление 10^{-1} Па . Такая обработка позволяет увеличить контактный угол смачивания на поверхности полимерных материалов (до 160° на ПТФЭ при обработке в плазме $Ag+O_2$ и до 95° на ПЭТФ в CF_4) и соответственно уменьшить адгезионные характеристики. Помимо уменьшения смачиваемости поверхности изменяются и прочие свойства, например, появляется антимикробная активность. Ионная обработка может применяться для увеличения прочности соединения углеродного волокна с эпоксидной матрицей [21]. Для увеличения гидрофильности полимерных материалов для лучшего их склеивания чаще всего применяется обработка потоками плазмы высокочастотного разряда [22-24], постоянного тока [25], радиочастотного разряда [26], низкочастотного разряда [27], химическое травление [28], а также ионные методы травления направленным потоком частиц при пониженном давлении [29].

Зачастую экспериментальным критерием адгезии является величина краевого угла смачивания (θ) на твердой поверхности вдоль линейной границы раздела твердое тело – жидкость – газ (воздух). Значительным преимуществом плазменной обработки направленным потоком ионизированных частиц является возможность как увеличения контактного (краевого) угла смачивания, так и его уменьшения при изменении времени обработки, плазмообразующих газовых смесей, мощности источника ионов и т.д. [14, 28, 30].

Принципиальным отличием обработки поверхности ПКМ методом ионного направленного травления [14] от травления в плазме ВЧ, радиочастотного и низкочастотного разряда [14, 28] является энергия ионов. Большая энергия при ионном травлении позволяет глубже имплантировать ионы и, соответственно, проводить более эффективную обработку поверхности, а также сохранять электрофизические свойства более длительное время. С точки зрения энергетических характеристик обработка

направленным потоком ионизированных частиц является перспективным методом изменения свойств поверхности. Поэтому данный метод целесообразно использовать с целью увеличения адгезии полимерного вибропоглощающего материала к адгезиву.

Создание отечественных самоклеящихся вибропоглощающих материалов и постоянное расширение ассортимента липких лент в условиях роста объема выпуска и ужесточения требований к экологии производства и эксплуатации требуют решений из области высоких технологий.

Таким образом, целью данной работы являлось исследование влияния ионной обработки на поверхностные свойства вибропоглощающего термоэластопласта и оценка возможности увеличения прочности связи с адгезивом за счет ее применения.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 15.3 «Материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных, акустических и электрических воздействий» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Листы полимерного вибропоглощающего термоэластопласта на основе полиуретана толщиной 0,5 мм изготавливались экструзией расплава композиции на двухшнековом экструдере в соответствии с разработанной технологической документацией во ФГУП «ВИАМ».

Ионная обработка склеиваемой поверхности листов термоэластопласта проводилась в вакуумной камере установки Элан-Практик УНИП-900П [31] источником ионов ИП1К-070 на постоянном токе при осевом вращении образцов. Обработка проводилась в атмосфере аргона при давлении 0,2 Па при варьируемых мощности источника ионов в режиме стабилизации по току и времени обработки. Значения силы тока при этом варьировались от 0,1 до 0,3 А, напряжения на источнике ионов – от 1100 до 3000 В.

Для сравнения влияния обезжиривания поверхности и ионной обработки образцы термоэластопласта обрабатывались в спирте этиловом и ацетоне в различных комбинациях до и/или после ионной обработки, после чего проводились измерения краевого угла смачивания и испытания на прочность связи при отслаивании.

Краевой угол смачивания термопласта водой измеряли на установке DataPhysics OCA 15 PRO в 10 точках на 3 образцах размером 100×100 мм, после чего вычисляли среднее значение и стандартное отклонение по выборке.

После измерения краевого угла смачивания проводили испытания по определению прочности связи при отслаивании термоэластопласта с адгезивом от подложки по ГОСТ 411-77. В качестве адгезива использовался двусторонний скотч марки 367 MP фирмы 3M, в качестве подложки – листы из алюминия Д16 толщиной 0,5 мм. Образцы алюминия перед соединением со скотчем обезжиривались ацетоном. Испытания проводили на 3-9 образцах шириной 25 мм, после чего вычисляли среднее значение и стандартное отклонение по выборке. Отслаивание ТЭП с адгезивом от подложки в основном происходило по смешанному механизму.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены зависимости краевого угла смачивания образцов термоэластопласта от параметров ионной обработки. Среднее значение угла смачивания исходных образцов термоэластопласта составило 94,2°. При фиксированном времени обработки в 20 мин значения угла смачивания монотонно уменьшались с увеличением мощности разряда источника ионов до значения 60,3° при мощности 900 Вт, максимально достижимой на имеющемся оборудовании. Такая зависимость объясняется монотонным увеличением энергии и глубины проникновения ионов, и как следствие большей интенсивностью ионного травления. Однако, при увеличении времени обработки до 40 мин значение угла смачивания снижается до значения 44,5° при мощности 562 Вт, затем возрастает до значения 74,6° при мощности разряда 900 Вт. Предполагается, что в нашем случае угол смачивания уменьшается также вследствие удаления загрязнений и образования поверхностного заряда. Увеличение же угла смачивания связывается с перегревом термоэластопласта при столь длительном времени ионной обработки, его размягчением и деформацией. При этом, исходя из физики процесса, наиболее высокая температура достигается локально именно на бомбардируемой поверхности, при этом в своей массе материал может не размягчаться и не деформироваться. Таким образом было установлено, что в нашем случае для достижения лучших гидрофильных свойств необходимо проводить ионную обработку при параметрах, обеспечивающих наибольшую интенсивность травления и активации поверхности, при этом избегая перегрева и деформации материала. В наших условиях максимальной гидрофильности термоэластопласта удалось добиться при мощности разряда источника ионов 360-562 Вт и времени обработки 40 мин.

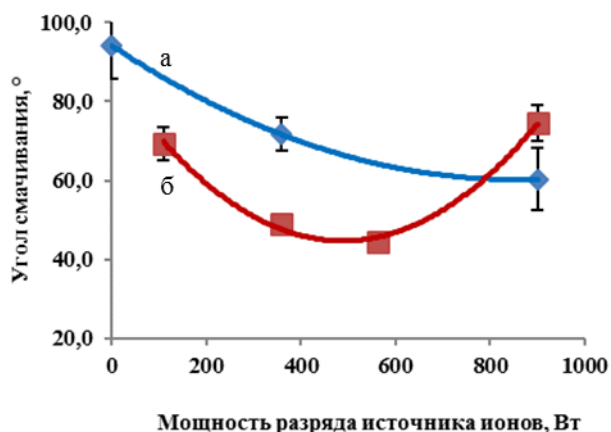


Рис. 1. Зависимость угла смачивания от параметров ионной обработки: а – время ионной обработки 20 мин; б – время ионной обработки 40 мин
 Fig. 1. Dependence of the contact angle on the parameters of ion treatment: а – ion treatment time 20 min; б – ion treatment time is 40 min

Зависимость прочности связи при отслаивании термоэластопласта и адгезива от мощности разряда источника ионов при времени обработки 40 мин представлена на рис. 2. Среднее значение прочности связи при отслаивании исходных образцов составляло 0,41 Н/мм. При применении ионной обработки прочность связи возросла до значений 0,9-1,1 Н/мм, затем резко уменьшалось практически до исходных значений 0,45 Н/мм при высокой мощности обработки. Такое поведение коррелирует с зависимостью угла смачивания и также может быть объяснено удалением загрязнений и локальным перегревом и деформацией обрабатываемой поверхности при больших мощностях и времени обработки.

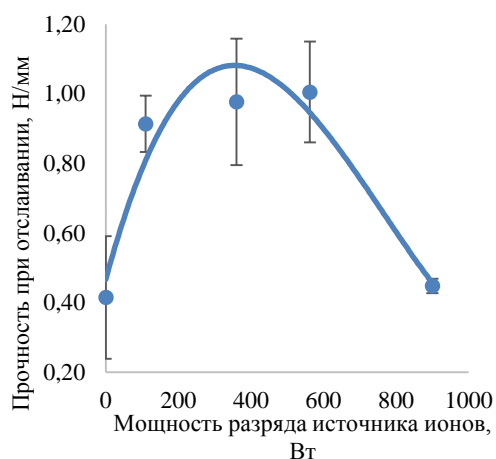


Рис. 2. Зависимость прочности связи при отслаивании от мощности разряда источника ионов при времени обработки 40 мин
 Fig. 2. Dependence of the bond strength during peeling on the discharge power of the ion source at a processing time of 40 min

На образцах термоэластопласта с оптимальными гидрофильными характеристиками (мощность разряда источника ионов 360-562 Вт, время обработки – 40 мин) было оценено влияние выдержки на воздухе в закрытой негерметичной упаковке. Зависимость угла смачивания и прочности связи от времени выдержки представлены на рис. 3. Показано, что выдержка на воздухе негативно сказывается на угле смачивания поверхности даже в течение нескольких дней, что связывается с релаксацией поверхностного заряда, образованного при активации поверхности. Прочность связи при отслаивании изменяется незначительно, что можно связать с хранением материала в закрытом виде и таким образом исключением образования на них загрязнений.

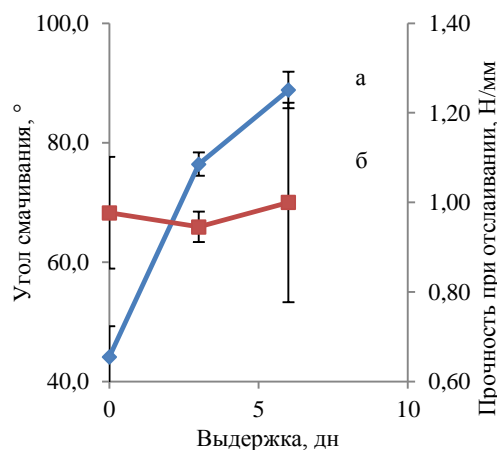
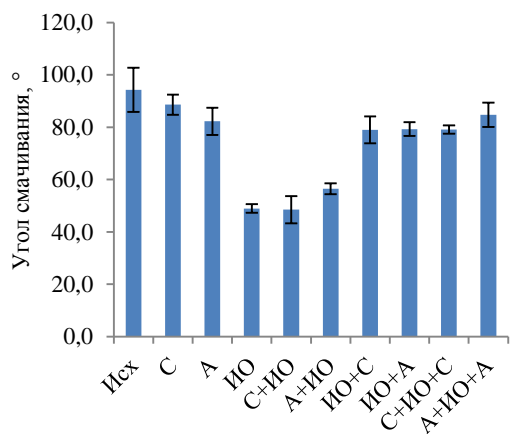


Рис. 3. Зависимость прочности связи при отслаивании от параметров ионной обработки: а – угол смачивания; б – прочность при отслаивании
 Fig. 3. Dependence of bond strength during peeling on the parameters of ion treatment: а – contact angle; б – strength at delamination

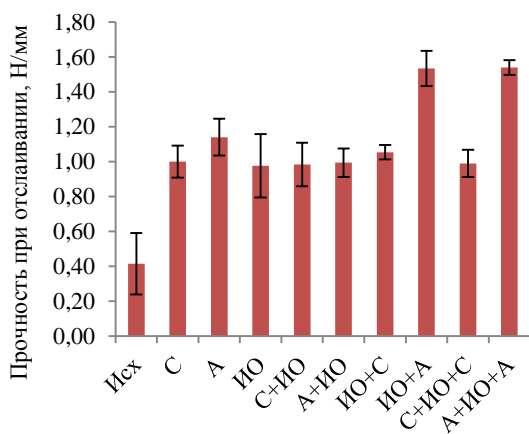
На образцах термоэластопласта, обработанных при мощности разряда источника ионов 360 Вт в течение 40 мин, проводились испытания по определению прочности связи при отслаивании и угла смачивания в различных комбинациях с обезжириванием до/после ионной обработки. Значения угла смачивания и прочности связи при отслаивании представлены на рис. 4а и 4б соответственно. Последовательность символов в наименовании отображает последовательность указанных операций перед склеиванием.

Как видно из представленных данных, наименьшие значения угла смачивания соответствуют образцам, обработанным ионами без обезжиривания после ионной обработки (ИО, С + ИО, А + ИО). Обезжиривание спиртом и ацетоном после ионной обработки (ИО + С, ИО + А, С + ИО + С, А + ИО + А) увеличивает угол смачивания практически до значений обезжиренных образцов без

ионной обработки (С, А). Такое поведение позволяет сделать заключение о том, что угол смачивания в нашем случае в основном определяется поверхностным электрическим зарядом, образующимся в процессе ионной обработки, нивелируемым при воздействии растворителей.



а



б

Рис. 4. Значения угла смачивания (а) и прочности связи при отслаивании с адгезивом (б) термоэластопласта при различных комбинациях обезжиривания. Исх – исходный необработанный материал, С – обезжиривание спиртом, А – обезжиривание ацетоном, ИО – ионная обработка

Fig. 4. Values of the contact angle (a) and bond strength during peeling with the adhesive (б) of thermoplastic elastomer at various combinations of degreasing. Исх - initial raw material, С - degreasing with alcohol, А - degreasing with acetone, ИО - ionic treatment

Показано, что обезжиривание спиртом и ацетоном исходных образцов перед склеиванием (С, А) увеличивают прочность связи до значений 1,00 и 1,14 Н/мм соответственно, несмотря на то, что угол смачивания снижается несущественно. Значения прочности связи образцов с ионной обработкой соответствуют уровню обезжиренных образцов без ионной обработки, при этом практически независимо от воздействия наличия/отсутствия

предварительного обезжиривания до стадии ионной обработки (ИО, С + ИО, А + ИО). Однако, значения прочности связи образцов, сочетающих в себе ионную обработку и обезжиривание ацетоном после ионной обработки перед склеиванием (ИО + А, А + ИО + А), превышают значения для обезжиренных ацетоном образцов без ионной обработки и составляют 1,53-1,54 Н/мм. Такое увеличение прочности связывается с формированием в процессе ионной обработки благоприятного рельефа поверхности. Обезжиривание спиртом после ионной обработки при этом не вызывает аналогичного увеличения, что связывается с меньшей растворимостью возможных загрязнений в спирте.

Таким образом, в нашем случае для достижения максимальной гидрофильности термоэластопласта необходимо использование ионной обработки с минимальным последующим воздействием на поверхность, а для достижения максимальной прочности связи при отслаивании – ионная обработка и обезжиривание ацетоном перед склеиванием.

ВЫВОДЫ

Продемонстрирована возможность снижения краевого угла смачивания термоэластопласта за счет применения ионной обработки при пониженном давлении, при этом величина угла смачивания определялась мощностью разряда источника ионов и продолжительностью обработки. Для обработанных образцов минимальные значения угла смачивания составили ~ 44° при исходных значениях ~ 94°. Показано, что сниженный в процессе ионной обработки угол смачивания возвращается к исходным значениям сразу же после воздействия на обработанную поверхность спирта и ацетона и с течением времени при хранении на воздухе.

Показано, что ионная обработка положительно сказывается на прочности связи при отслаивании термоэластопласта с адгезивом от подложки, демонстрируя значения прочности связи на уровне обезжиривания перед склеиванием. При сочетании ионной обработки и обезжиривания ацетоном перед склеиванием удалось добиться максимального значения прочности связи, составившей 1,54 Н/мм, что на 35% больше чем при обезжиривании ацетоном и в 3,7 раз больше значений для исходных необработанных образцов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Каблов Е.Н.** Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года. *Авиац. матер. и технол.* 2012. Т. 5. С. 24-30.
2. **Каблов Е.Н., Семенова Л.В., Петрова Г.Н., Ларионов С.А., Перфилова Д.Н.** Полимерные композиционные материалы на термопластичной матрице. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 10. С. 61-71. DOI: 10.6060/tcct.20165910.5368.
3. **Раскутин А.Е.** Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях. *Авиац. матер. и технол.* 2017. № 5. С. 349-367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
4. **Сагомонова В.А., Долгополов С.С., Целикин В.В., Сорokin А.Е.** Исследование влияния интегрированного вибропоглощающего слоя на свойства композитных трехслойных звукоотражающих сэндвич-панелей. *Труды ВИАМ.* 2020. № 9 (91). С. 87-95. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-87-95.
5. **Раскутин А.Е.** Стратегия развития полимерных композиционных материалов. *Авиац. матер. и технол.* 2017. № 5. С. 344-348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
6. **Каблов Е.Н.** Инновационные разработки ФГУП "ВИАМ" ГИЦ РФ по реализации "Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года". *Авиац. матер. и технол.* 2015. № 1(34). С. 3-33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
7. **Каблов Е.Н.** Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки. *Вестн. РАН.* 2020. Т. 90. № 4. С. 331-334. DOI: 10.1134/S1019331620020124.
8. **Nagasankar P., Prabu S.B., Velmurugan R.** The influence of the different fiber lay-ups on the damping characteristics of polymer matrix composite. *J. Appl. Sci.* 2012. V. 12. N 10. P. 1071-1074. DOI: 10.3923/jas.2012.1071.1074.
9. **Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Тюменева Т.Ю., Большаков В.А.** Влияние состава вибропоглощающих материалов на коэффициент механических потерь. *Труды ВИАМ.* 2015. № 10. Ст. 10. DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-10-10.
10. **Сагомонова В.А., Сытый Ю.В.** Основные принципы создания вибропоглощающих материалов авиационного назначения. *Труды ВИАМ.* 2013. № 11. Ст. 03.
11. **Сятковский А.И., Курлянд С.К., Рюткянен Е.А., Скуратова Т.Б., Сиротинкин Н.В.** Диссипативные свойства слоистых полимерных материалов на основе поливинилацетата и полиуретановых эластомеров различной твердости. *Каучук и резина.* 2019. Т. 78. № 4. С. 210-213.
12. **Сагомонова В.А., Кислякова В.И., Тюменева Т.Ю., Большаков В.А.** Влияние клеящего слоя на демпфирующие свойства вибропоглощающего материала на основе термопластичного полиуретана. *Клеи. Герметики, Технологии.* 2015. № 2. С. 8-11.
13. **Елинсон В.М., Нестеров С.Б., Нежметдинова Р.А.** Ионно-плазменные методы обработки полимерных материалов. *Машиностроитель.* 2016. № 4. С. 41-43.

REFERENCES

1. **Kablov E.N.** Strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period up to 2030. *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2012. V. 5. P. 24-30 (in Russian).
2. **Kablov E.N., Semenova L.V., Petrova G.N., Larionov S.A., Perfilova D.N.** Polymer composite materials on a thermoplastic matrix. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2016. V. 59. N 10. P. 61-71 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20165910.5368.
3. **Raskutin A.E.** Russian polymer composite materials of a new generation, their development and implementation in promising designs under development. *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2017. N 5. P. 349-367 (in Russian). DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
4. **Sagomonova V.A., Dolgoplov S.S., Tselikin V.V., Sorokin A.E.** Investigation of the effect of an integrated vibration-absorbing layer on the properties of composite three-layer sound-insulating sandwich panels. *Trudy VIAM.* 2020. N 9(91). P. 87-95 (in Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-87-95.
5. **Raskutin A.E.** Development strategy of polymer composite materials. *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2017. N 5. P. 344-348 (in Russian). DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
6. **Kablov E.N.** Innovative developments of FSUE "VIAM" of the State Research Center of the Russian Federation on the implementation of "Strategic directions for the development of materials and technologies for their processing for the period up to 2030". *Aviats. Mater. Tekhnol.* 2015. N 1(34). P. 3-33 (in Russian). DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
7. **Kablov E.N.** New generation materials and digital technologies of their processing. *Vestn. RAN.* 2020. V. 90. N 4. P. 331-334 (in Russian). DOI: 10.1134/S1019331620020124.
8. **Nagasankar P., Prabu S.B., Velmurugan R.** The influence of the different fiber lay-ups on the damping characteristics of polymer matrix composite. *J. Appl. Sci.* 2012. V. 12. N 10. P. 1071-1074. DOI: 10.3923/jas.2012.1071.1074.
9. **Sagomonova V.A., Kislyakova V.I., Tyumeneva T.Yu., Bolshakov V.A.** Influence of the composition of vibration-absorbing materials on the coefficient of mechanical losses. *Trudy VIAM.* 2015. N 10. Art. 10. (in Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-10-10-10.
10. **Sagomonova V.A., Syty Yu.V.** Basic principles of creating vibration-absorbing materials for aviation purposes. *Trudy VIAM.* 2013. N 11. Art. 03. (in Russian).
11. **Syatkovsky A.I., Kurland S.K., Ryutkyanen E.A., Skuratova T.B., Sirotinkin N.V.** Dissipative properties of layered polymer materials based on polyvinyl acetate and polyurethane elastomers of various hardness. *Kauchuk Rezina.* 2019. V. 78. N 4. P. 210-213 (in Russian).
12. **Sagomonova V.A., Kislyakova V.I., Tyumeneva T.Yu., Bolshakov V.A.** The influence of the adhesive layer on the damping properties of a vibration-absorbing material based on thermoplastic polyurethane. *Klei. Germetiki, Tekhnologii.* 2015. N 2. P. 8-11 (in Russian).
13. **Elinson V.M., Nesterov S.B., Nezhmetdinova R.A.** Ion-plasma methods of processing polymer materials. *Mashinostroitel'.* 2016. N 4. P. 41-43 (in Russian).

14. **Elinson V.M., Shchur P.A., Silnitskaya O.A.** Multifunctional polymer materials with antifungal activity, modified by fluorocarbon films by methods of ion-plasma technology. *J. Phys.: Conf. Ser. IOP Publ.* 2018. V. 1121. N 1. P. 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/1121/1/012012.
15. **Юленец Ю.П., Трифонов С.А., Стрекалова В.В., Марков А.В., Бузыкина О.Н.** Модифицирование поверхности и устойчивость поверхностных свойств полимеров при воздействии плазмы высокочастотного разряда. *Изв. СПбГТИ (ТУ)*. 2010. № 9. С. 18-20.
16. **Pocius A.V.** Adhesion and adhesives technology: an introduction. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. 2021. 1394 p. DOI: 10.3139/9781569908501.fm.
17. **Кравец Л.И., Ярмоленко М.А., Рогачев А.А., Лизунов Н.Е., Гайнутдинов Р.В., Яблоков М.Ю.** Формирование на поверхности трековых мембран гидрофобных и супергидрофобных наноразмерных покрытий методом электронно-лучевого диспергирования полимеров в вакууме. *Фундаментал. пробл. радиоэлектр. приборостр.* 2018. Т. 18. № 1. С. 89-92.
18. **Ходыревская Ю.И., Твердохлебов С.И., Кудрявцева Ю.А.** Плазмохимическое модифицирование полимерных материалов, предназначенных для сердечно-сосудистой хирургии, с целью управления степенью смачиваемости. *Изв. Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов*. 2014. Т. 325. № 2. С. 158-165
19. **Скуратова Т.Б., Кириллов С.Е., Сятковский А.И.** Диссипативные свойства полимерных пленок и композитных материалов на основе поливинилацетата. *Журн. прикл. химии*. 2019. Т. 92. № 7. С. 881-887. DOI: 10.1134/S1070427219070115.
20. **Elinson V.M., Shchur P.A., Kukushkin D.Y.** Surface charge of polymer materials modified by nanostructured fluorocarbon coatings. *J. Phys.: Conf. Ser. – IOP Publ.* 2020. V. 1713. N 1. P. 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/1713/1/012016.
21. **Гарифуллин А.Р., Абдуллин И.Ш., Скидченко Е.А.** Исследование плазменного воздействия на прочность соединения углеродного волокна с эпоксидной матрицей при получении композиционных материалов. *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2014. Т. 17. № 21. С. 69-70.
22. **Гарифуллин А.Р., Абдуллин И.Ш.** Современное состояние проблемы поверхностной обработки углеродных волокон для последующего их применения в полимерных композитах в качестве армирующего элемента. *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2014. Т. 17. № 7. С. 80-85.
23. **Ефремов А.М., Бетелин В.Б., Медников К.А., Кwon К.-Н.** Параметры плазмы и концентрации активных частиц в смесях фторуглеродных газов с аргонном и кислородом. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 7. С. 46–53.
24. **Сятковский А.И., Скуратова Т.Б., Трофимов Д.Н., Мазур А.С.** Влияние параметров композитных материалов на основе поливинилацетата на их диссипативные свойства. *Журн. прикл. химии*. 2020. Т. 93. № 4. С. 575-580. DOI: 10.1134/S1070427220040138.
14. **Elinson V.M., Shchur P.A., Silnitskaya O.A.** Multifunctional polymer materials with antifungal activity, modified by fluorocarbon films by methods of ion-plasma technology. *J. Phys.: Conf. Ser. IOP Publ.* 2018. V. 1121. N 1. P. 012012. DOI: 10.1088/1742-6596/1121/1/012012.
15. **Yulenets Yu.P., Trifonov S.A., Strekalova V.V., Markov A.V., Buzykina O.N.** The modification of the surface resistance and the surface properties of polymers when exposed to plasma high-frequency discharge. *Izv. SPbGTI (TU)*. 2010. N 9. P. 18-20 (in Russian).
16. **Pocius A.V.** Adhesion and adhesives technology: an introduction. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG. 2021. 1394 p. DOI: 10.3139/9781569908501.fm.
17. **Kravets L.I., Yarmolenko M.A., Rogachev A.A., Lizunov N.E., Gainutdinov R.V., Yablokov M.Yu.** Formation of hydrophobic and superhydrophobic nanoscale coatings on the surface of track membranes by electron beam dispersion of polymers in vacuum. *Fundamental. Probl. Radioelektr. Priborost.* 2018. V. 18. N 1. P. 89-92 (in Russian).
18. **Khodyrevskaya Yu.I., Tverdokhlebov S.I., Kudryavtseva Yu.A.** Plasmochemical modification of polymer materials intended for cardiovascular surgery in order to control the degree of wettability. *Izv. Tomsk. Polytekh. Un-ta. Inzhiniring Georesursov*. 2014. V. 325. N 2. P. 158-165 (in Russian).
19. **Skuratova T.B., Kirillov S.E., Syatkovsky A.I.** Dissipative properties of polymer films and composite materials based on polyvinyl acetate. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2019. V. 92. N 7. P. 881-887 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070427219070115.
20. **Elinson V.M., Shchur P.A., Kukushkin D.Y.** Surface charge of polymer materials modified by nanostructured fluorocarbon coatings. *J. Phys.: Conf. Ser. – IOP Publ.* 2020. V. 1713. N 1. P. 012016. DOI: 10.1088/1742-6596/1713/1/012016.
21. **Garifullin A.R., Abdullin I.Sh., Skidchenko E.A.** Investigation of the plasma effect on the strength of the connection of carbon fiber with an epoxy matrix in the preparation of composite materials. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Un-ta*. 2014. V. 17. N 21. P. 69-70 (in Russian).
22. **Garifullin A.R., Abdullin I.S.** The current state of the problem of surface treatment of carbon fibers for their further application in polymer composites as a reinforcing element. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Un-ta*. 2014. V. 17. N 7. P. 80-85 (in Russian).
23. **Efremov A.M., Betelin V.B., Mednikov K.A., Kwon K.H.** Plasma parameters and densities of active species in mixtures of fluorocarbon gases with argon and oxygen. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 7. P. 46-53.
24. **Syatkovsky A.I., Skuratova T.B., Trofimov D.N., Mazur A.S.** Influence of parameters of composite materials based on polyvinyl acetate on their dissipative properties. *Zhurn. Prikl. Khim.* 2020. V. 93. N 4. P. 575-580 (in Russian). DOI: 10.1134/S1070427220040138.
25. **Sorokin A.E., Krasnov A.P., Shaposhnikova V.V., Salazkin S.N., Goroshkov M.V., Naumkin A.V.** Interaction in a mixture of polyarylate with polyarylene ether ketone during high-temperature processing. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 8. P. 147-154 (in Russian).

25. **Сорокин А.Е., Краснов А.П., Шапошникова В.В., Салазкин С.Н., Горошков М.В., Наумкин А.В.** Взаимодействие в смеси полиарилата с полиариленэфиркетонном при высокотемпературной переработке. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 8. С. 147-154.
26. **Uznanski P., Glebocki B., Walkiewicz-Pietrzykowska A., Zakrzewska J., Wrobel A.M., Balcerzak J., Tyczkowski J.** Surface modification of silicon oxycarbide films produced by remote hydrogen microwave plasma chemical vapour deposition from tetramethyldisiloxane precursor. *Surf. Coat. Technol.* 2018. V. 350. P. 686-698. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.07.050.
27. **Piskarev M.S., Gil'man A.B., Obolonkova E.S., Kuznetsov A.A.** Surface modification of poly (vinylidene fluoride) film by treatment in low-frequency glow discharge. *High Energy Chem.* 2007. V. 41. N 6. P. 460-462. DOI: 10.1134/S0018143907060136.
28. **Prime G.** Recent advances in surface activation of polytetrafluoroethylene (PTFE) by gaseous plasma treatments. *Polymers*. 2020. V. 12. N 10. P. 2295. DOI: 10.3390/polym12102295.
29. **Elinson V.M., Kravchuk E.D., Schur P.A.** The study of relief parameters of fluorocarbon coatings antiadhesive to microorganisms formed on polymer materials. *J. Phys.: Conf. Ser. – IOP Publ.* 2019. V. 1396. N 1. P. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/1396/1/012015.
30. **Кравец Л.И., Гильман А.Б., Яблоков М.Ю., Елинсон В.М., Миту Б., Динеску Г.** Исследование поверхностных и электрохимических свойств полипропиленовой трековой мембраны, модифицированной в плазме неполимеризующихся газов. *Электрохимия*. 2013. № 7. С. 760. DOI: 10.1134/S1023193513070070.
31. **Мельников А.А., Щур П.А.** Прозрачные электропроводящие антиотражающие покрытия на основе ITO, SiO₂, TiO₂. *Труды ВИАМ*. 2019. № 8 (80). С. 56-66. DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-8-56-66.
26. **Uznanski P., Glebocki B., Walkiewicz-Pietrzykowska A., Zakrzewska J., Wrobel A.M., Balcerzak J., Tyczkowski J.** Surface modification of silicon oxycarbide films produced by remote hydrogen microwave plasma chemical vapour deposition from tetramethyldisiloxane precursor. *Surf. Coat. Technol.* 2018. V. 350. P. 686-698. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.07.050.
27. **Piskarev M.S., Gil'man A.B., Obolonkova E.S., Kuznetsov A.A.** Surface modification of poly (vinylidene fluoride) film by treatment in low-frequency glow discharge. *High Energy Chem.* 2007. V. 41. N 6. P. 460-462. DOI: 10.1134/S0018143907060136.
28. **Prime G.** Recent advances in surface activation of polytetrafluoroethylene (PTFE) by gaseous plasma treatments. *Polymers*. 2020. V. 12. N 10. P. 2295. DOI: 10.3390/polym12102295.
29. **Elinson V.M., Kravchuk E.D., Schur P.A.** The study of relief parameters of fluorocarbon coatings antiadhesive to microorganisms formed on polymer materials. *J. Phys.: Conf. Ser. – IOP Publ.* 2019. V. 1396. N 1. P. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/1396/1/012015.
30. **Kravets L.I., Gilman A.B., Yablokov M.Yu., Elinson V.M., Mitu B., Dinescu G.** Investigation of surface and electro-chemical properties of polypropylene track membrane modified in plasma of non-polymerizing gases. *Elektrokhimiya*. 2013. N 7. P. 760 (in Russian). DOI: 10.1134/S1023193513070070.
31. **Melnikov A.A., Shchur P.A.** Transparent electrically conductive anti-reflective coatings based on ITO, SiO₂, TiO₂. *Trudy VIAM*. 2019. N 8 (80). P. 56-66 (in Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-8-56-66.

Поступила в редакцию 06.09.2021
Принята к опубликованию 20.01.2022

Received 06.09.2021
Accepted 20.01.2022