

ский, А. С. Глущенко [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2023. – № 12(283). – С. 61–69.

5. Супергидрофобные покрытия на основе модифицированных наночастиц диоксида кремния / М. Д. Ле, В. В. Климов, Е. В. Брюзгин [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2024. – № 12(295). – С. 72–80.

6. The Superhydrophobic State Stability of Coatings Based on Copolymers of Glycidyl Methacrylate and Alkyl Methacrylates on Cotton Fabric Surface / E. Bryuzgin [et al.] // *Fibers and Polymers*. – 2020. – Vol. 21, № 5. – P. 1032–1038.

7. Simple Method for Preparing Superhydrophobic Paper: Spray-Deposited Hydrophobic Silica Nanoparticle Coatings Exhibit High Water-Repellency and Transparency / H. Ogihara [et al.] // *Langmuir*. – 2012. – Vol. 28, № 10. – P. 4605–4608.

8. No-organic solvent, no-fluorinated waterborne superhydrophobic coatings based on SiO₂ and IBTS / Y. Yang [et al.] // *J of Applied Polymer Sci*. – 2024. – Vol. 141, № 25. – P. e55537.

9. Persistent pollutants: focus on perfluorinated compounds and kidney / F. Ferrari [et al.] // *Current Opinion in Critical Care*. – 2019. – Vol. 25, № 6. – P. 539–549.

10. An investigation of the hydrophobic property stability of grafted polymeric coatings on a cellulose material surface / V. V. Klimov [et al.] // *Polym. Sci. Ser. D*. – 2016. – Vol. 9, № 4. – P. 364–367.

УДК 678

С. В. Котова, канд. техн. наук, доц.
(РТУ МИРЭА, г. Москва, Российская Федерация)

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИХ ИССЛЕДОВАНИЮ И РАЗРАБОТКЕ

На кафедре химии и технологии переработки эластомеров уже более восьмидесяти лет ведётся научная работа, направленная на изучение адгезионных характеристик эластомеров и разработку клеев на их основе. За это время был собран значительный объём экспериментальных данных. В последние годы, благодаря развитию новых математических методов, активно развиваются современные подходы к исследованию адгезионных свойств [1].

В области изучения эластомерных клеевых составов Люсова Л.Р. впервые провела комплексный научный анализ изменений адгезионных свойств в зависимости от структуры эластомеров и их поведения в растворе. Это позволило создать широкий спектр новых и улучшенных клеевых эластомерных составов. В частности, было обнаружено, что между

молекулярной массой каучуков и свойствами клеевых составов существует экстремальная зависимость. Были разработаны принципы выбора оптимальных молекулярных масс с использованием коэффициента асимметрии в качестве критерия влияния молекулярно-массового распределения на адгезионные свойства эластомеров. Также была установлена линейная зависимость между коэффициентом асимметрии и адгезионными свойствами некоторых хлорсодержащих полимеров [2].

Установлены и другие корреляции типа «структура-свойство» применительно к эластомерным адгезионным материалам. На примере изготовления мебельных клеевых композиций показаны возможности по выбору марки бутадиен-стирольного термоэластопласта (БСТЭП) по линейным зависимостям между показателем текучести расплава и содержанием связанного стирола в термоэластопласте, твердостью, условной прочностью при растяжении и относительным удлинением эластомерных материалов на основе БСТЭП; температурой стеклования полистирольной фазы и прочностью связи резина/резина и ткань/ткань [3].

При разработке эластомерных материалов важно рассматривать их адгезионные характеристики комплексно, поскольку большинство резинотехнических изделий представляют собой многослойные конструкции. Для моделирования процесса сборки полуфабрикатов необходимо оценивать клейкость смесей. Для прогнозирования эксплуатационных свойств готовых изделий важно понимать, как взаимодействуют между собой резина и конструкционные клеи. Стоит отметить, что компоненты резиновой смеси по-разному влияют на её адгезионные свойства.

Помимо физико-химических характеристик, которые влияют на способность полимеров соединяться друг с другом, необходимо создавать методы тестирования, которые позволяют наиболее точно имитировать работу клеевого соединения в реальных условиях эксплуатации. На примере разработки материалов из эластомеров с улучшенными адгезионными свойствами на основе бутадиен-нитрильных каучуков (БНК) показано, насколько эффективен комплексный подход к изучению адгезионных свойств. Он включает в себя исследование прочности соединения в статических и динамических условиях, а также определение поверхностных характеристик и работы адгезии с помощью оптического прибора ОСА 15ЕС [4].

В процессе создания, изготовления и использования резино-кордных изделий крайне важно обеспечить надёжное сцепление между резиной и непрерывным наполнителем. Однако, существующие методы оценки адгезии не всегда позволяют точно предсказать поведение материала в реальных условиях эксплуатации, поскольку изделия обычно подвергаются динамическим нагрузкам, включающим многократное растяжение, сжатие или изгиб. Метод определения

прочности связи в резинокордных системах с использованием образца с «косой нитью» (ОКН) позволяет смоделировать в лабораторных условиях напряжения и деформации, возникающие на границе «корд-резина» в массе резины между нитями корда. Это позволяет воспроизвести реальные условия эксплуатации резинотехнических изделий [5].

Для полноты оценки уровня адгезионной прочности модельных резин на основе БНК с различным содержанием нитрила акриловой кислоты (НАК) с текстильным кордом марки 18 ПДУ использовали несколько методов. При испытании по традиционному методу определения прочности связи резина-корд (Н-метод по ГОСТ 14863-69), наблюдается повышение значения показателя адгезии в момент выдергивания нити из резинового блока относительно образцов с содержанием НАК 18 % для образцов с НАК 28% – на 35%, для образцов с НАК 40% – на 65%. В статических условиях испытания отличие между значениями прочности образцов с содержанием НАК 40% и НАК 18% составляет 17%. В динамических условиях значения усталостной выносливости определены на приборе MonTech FT 3000 при растяжении 85%, прочность образцов отличается на 47%. Также метод ОКН применялся для оценки действия различных модификаторов адгезии – модификатор РУ, талловая смола ТМ, талловая смола ТН и канифоль. Для статических условий характерны высокие прочностные характеристики для всех образцов, в том числе без модификатора. Как и при испытании по Н-методу наблюдается незначительное увеличение прочности резинокордных образцов с добавкой модификатора РУ (на 17%) по сравнению с немодифицированным. Введение смол ТН и ТМ приводит к увеличению прочности на 7% и 12% соответственно. Введение канифоли имеет обратный эффект, понижая прочность на 31%. В динамических условиях совершенно иная картина, показатели образцов со смолой ТН, модификатором РУ находятся на уровне образца без модификатора, на 23 и 14% соответственно. Напротив, введение канифоли повышает эксплуатационные параметры на 45%, а смола ТМ на 86%. Таким образом, в результате проведенных исследований было выявлено положительное влияние добавки канифоли и талловых смол на адгезионные параметры резин на основе БНК. Показано отличие эксплуатационных параметров резин не только от типа адгезионной добавки, но также от условий и метода испытаний. По результатам испытаний можно предположить положительный эффект использования канифоли в составе РТИ, эксплуатируемых преимущественно в динамических условиях. Введение в рецептуру изделий опытной смолы ТМ можно рекомендовать для изделий широкого профиля, эксплуатируемых как в статических, так и в динамических условиях. На адгезионные свойства резин также оказывает влияние смачиваемость поверхности, что определяет во многих случа-

ях полноту контакта на границе раздела фаз и создает благоприятные условия для межмолекулярного взаимодействия. Для определения поверхностного натяжения, являющегося критерием оценки свободной поверхностной энергии образцов резин, был выбран метод Оуэнса–Вендта (ОВ), основанный на определении краевых углов смачивания поверхности материалов различными жидкостями с известным поверхностным натяжением. Полученные значения краевых углов используются для расчета суммарной поверхностной энергии с помощью математической модели, согласно которой она представляет собой сумму двух составляющих – дисперсионной и полярной.

Полученные результаты расчета составляющих поверхностной энергии в достаточной степени коррелируют с фактически наблюдаемым смачиванием поверхности подложки полярными жидкостями (например, клеем на основе полихлоропрена), несмотря на погрешности в определении полярной составляющей. Описанные в работе промоторы адгезии оказывают влияние на обе составляющие поверхностной энергии. Показано, что более высокие адгезионные свойства демонстрируют образцы, имеющие более высокие значения полярной составляющей поверхностной энергии, а именно, содержащие смолу ТМ, что соответствует полученным значениям при испытании клеевых соединений в динамических и статических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Люсова Л. Р., Наумова Ю. А., Котова С. В. Развитие направления «эластомерные клеи» на кафедре химии и технологии переработки эластомеров им. Ф.Ф. Кошелева ИТХТ им. М.В. Ломоносова РТУ-МИРЭА // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2022. – № 10. – С. 3–12.
2. Люсова Л. Р. Физико-химические и технологические основы создания эластомерных клеевых композиций: дис...докт. техн. наук: 05.17.06. – М., 2007. – 272 с.
3. Lyusova L. R., Naumova Y. A., Kotova S. V. On the results of application of correlation analysis during the investigation of the structure and properties of butadiene–styrene thermoplastic elastomers // Polymer Science. Series D. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 493–498.
4. Боброва И. В., Люсова Л. Р., Котова С. В., Забуга Н. Н. Исследование модификаторов адгезии для резин на основе бутадиен-нитрильного каучука // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2022. – № 2. – С. 18–23.
5. Гамлицкий Ю. А., Мудрук В. И., Веселов И. В. Образец для лабораторных испытаний резинокордных композитов, позволяющий воспроизводить реальные условия нагружения // Каучук и резина. – 2022. – Т. 81, № 3. – С. 140.