

<http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-74-81>

УДК 678.746.22:66.088

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБРАБОТКИ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЕ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА НА СВОЙСТВА СОПОЛИМЕРА МЕТИЛМЕТАКРИЛАТ- АКРИЛОНИТРИЛ-БУТАДИЕН-СТИРОЛА

В. А. СТРАТАНОВИЧ⁺, Д. В. БРЕЛЬ

Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь

Цель работы — изучить влияние плазмохимической обработки на свойства сополимера метилметакрилат-акрилонитрил-бутадиен-стирола

В виду высокой производительности и экологической чистоты выбран способ обработки в низкотемпературной плазме тлеющего разряда в среде остаточных газов. Экспериментально, с помощью методики OWRK (Owens, Wendt, Rabel and Kaelble) определения краевого угла смачивания установлено, что указанный метод воздействия приводит к более чем двукратному увеличению поверхностной энергии. Методом T-peel test (ASTM D1876) исследована адгезионная прочность клеевых соединений сополимера, доказано, что плазмохимическая обработка может приводить к увеличению данного показателя на 200–800%. Проведена оценка стойкости эффекта обработки. Установлено снижение показателя поверхностной энергии на 7,3% с 53,94 мДж/м² до 50 мДж/м² в течение 40 сут. Доказано, что увеличение давления остаточных газов, напряжения на генераторе плазмы, а также времени обработки приводит к увеличению поверхностной энергии, что подтверждается экспериментальными данными и математической моделью. Приведены данные исследования вязкоупругих и упругих свойств исходного и модифицированного в плазме сополимера методом динамического контактного индентирования. Доказано, что обработка в плазме при различных режимах не приводит к ощутимому изменению как вязкоупругих, так и упругих свойств в сравнении с исходным материалом.

Ключевые слова: плазмохимическая обработка, метилметакрилат-акрилонитрил-бутадиен-стирол, низкотемпературная плазма, тлеющий разряд, поверхностная энергия, адгезионное соединение, стойкость к отслаиванию, трехфакторный эксперимент, краевой угол смачивания.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PLASMA-CHEMICAL TREATMENT WITH LOW-TEMPERATURE GLOW DISCHARGE ON THE PROPERTIES OF THE METHYL METHACRYLATE- ACRYLONITRILE-BUTADIENE-STYRENE COPOLYMER

V. A. STRATANOVICH⁺, D. V. BREL

V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus

The purpose of the work is to determine the regularities of the plasma chemical treatment effect on the properties of the methyl methacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer.

⁺Автор, с которым следует вести переписку. E-mail: vitalystratanovich.mpri@gmail.com

Due of high productivity and environmental cleanliness, a method of processing a glow discharge in a low-temperature plasma in a residual gas environment was chosen. Experimentally it was found with the OWRK (Owens, Wendt, Rabel and Kaelble) method that this way of exposure leads to a more than twofold increase in surface energy. The strength of the adhesive copolymer compounds was studied with the T-peel test (ASTM D1876) method. It was proved that plasma chemical treatment leads to 200–800% increase in this indicator. The effect durability of the plasma chemical treatment was evaluated. A decrease in the surface energy index by 7.3% from 53.94 mJ/m² to 50 mJ/m² for 40 days was found. It is proved that an increase in the pressure of residual gases, the voltage on the plasma generator, the processing time leads to an increase in surface energy. It is confirmed with experimental data and the mathematical model. The data of viscoelastic and elastic properties of the initial and plasma-modified copolymer studying with dynamic contact indentation are presented. It is proved that plasma treatment under various modes does not lead to a noticeable change in both viscoelastic and elastic properties in comparison with the initial material.

Keywords: plasma-chemical treatment, methyl-methacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene, low-temperature plasma, glow discharge, surface energy, adhesive junction, resistance to peeling, three-factor experiment, contact angle.

Поступила в редакцию 16.08.2022

© В. А. Стратанович, Д. В. Брель, 2022

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в [редакцию журнала](#)
Full text of articles can be purchased from the editorial office

Адрес редакции: ул. Кирова, 32а, 246050, г. Гомель, Беларусь
Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11

Address: Kirov St., 32a, 246050, Gomel, Belarus
Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11

E-mail: polmattex@gmail.com
Web: <http://mpri.org.by/izdaniya/pmt/>

Образец цитирования:

Стратанович В. А., Брель Д. В. Исследование влияния обработки в низкотемпературной плазме тлеющего разряда на свойства сополимера метилметакрилат-акрилонитрил-бутадиен-стирола // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 3. С. 74–81. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-74-81>

Citation sample:

Stratanovich V. A., Brel' D. V. Issledovanie vliyaniya obrabotki v nizkotemperaturnoy plazme tleyushchego razryada na svoystva sopolimera metilmetakrilat-akrilonitril-butadien-stirola [Investigation of the effect of plasma-chemical treatment with low-temperature glow discharge on the properties of the methyl methacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer]. *Polimernye materialy i tekhnologii* [Polymer Materials and Technologies], 2022, vol. 8, no. 3, pp. 74–81. <http://doi.org/10.32864/polymmattech-2022-8-3-74-81>

Литература

1. Ясуда Х. Полимеризация в плазме. М.: Мир, 1988, 376 с.
2. Курзина И. А., Пухова И. В., Савкин К. П., Медовник А. В., Лапуть О. А., Чебодаева В. В. Модификация поверхностных свойств ПТФЭ методами ионного и электронно-лучевого воздействия // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2016. Т. 13, № 4. С. 473–484.
3. Могнонов Д. М., Аюрова О. Ж., Хаглеев А. Н., Буянтуев С. Л., Доржиев Д. В. Повышение адгезионных свойств поверхности пленок политетрафторэтилена в тлеющем разряде // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 4 (67). С. 19–23.
4. Wang S., Li J., Suo J., Luo T. Surface modification of porous poly (tetrafluoroethylene) film by a simple chemical oxidation treatment // Applied Surface Science, 2010, vol. 256, is. 7, pp. 2293–2298. doi: 10.1016/j.apsusc.2009.10.055
5. Стратанович В. А., Михалко А. М. О влиянии режимов плазмохимической обработки на поверхностные свойства МАБС-пластика // Молодежь в науке – 2021 : тезисы докладов XVIII Международной научной конференции молодых ученых (Минск, 27–30 сентября 2021 г.) : в 2 ч. Ч. 2. Минск : Беларуская навука, 2021. С. 306–307.
6. Саркисов О. А., Михалко А. М., Лапицкая В. А., Кузнецова Т. А., Гракович П. Н., Рогачев А. А. Морфологические, физико-химические особенности многократной обработки пленок полиэтилена в плазме барьерного разряда // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2021. № 1 (84). С. 42–52.

7. Марков А. В., Халимон В. И., Маркова А. В., Юленец Ю. П. Оптимальная временная программа процесса модифицирования поверхности полимерных материалов в плазме высокочастотного разряда // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 7. С. 3–6.
8. Пискарев М. С., Яблоков М. Ю., Гильман А. Б., Кекекьян А. С., Кузнецов А. А. Модифицирование поверхности пленок полифторолефинов в тлеющем разряде постоянного тока // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2010. Т. 10, № 1-2. С. 274–279.
9. Гракович П. Н., Толстопятов Е. М., Иванов Л. Ф., Шелестова В. А., Макаренко В. М., Стратанович В. А. Установка для плазмохимической обработки углеродных тканей. IX Международный симпозиум по теоретической и прикладной плазмохимии. XVI Школа по плазмохимии для молодых ученых России и стран СНГ: сборник трудов, 13–17 сентября 2021 г., Иваново, Россия. Иваново, 2021. С. 101.
10. Стратанович В. А., Брундуков А. С., Жандаров С. Ф., Макаренко В. М. Влияние обработки в низкотемпературной плазме остаточных газов на поверхностную энергию сополимера метилметакрилат-акрилонитрил-бутадиен-стирола // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2022): тезисы докладов международной научно-технической конференции, Гомель, 28–30 июня 2022 г. Гомель: ИММС НАНБ, 2022. С. 98.
11. Kwok D. Y., Neumann A. W. Contact angle measurement and contact angle interpretation // *Advances in Colloid and Interface Science*, 1999, vol. 81, is. 3, pp. 167–249. doi: 10.1016/S0001-8686(98)00087-6
12. Buahom P. Measuring the Contact Angle using ImageJ with Contact Angle plug-in. 2018. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/328733959_Measuring_the_Contact_Angle_using_ImageJ_with_Contact_Angle_plugin (дата обращения: 21.08.2022).
13. Papadopoulos F., Spinelli M., Valente S., Foroni L., Orrico C., Alviano F., Pasquinelli G. Common tasks in microscopic and ultrastructural image analysis using ImageJ // *Ultrastructural pathology*, 2007, vol. 31, is. 6, pp. 401–407. doi: 10.1080/01913120701719189
14. Grishagin I. V. Automatic cell counting with ImageJ // *Analytical biochemistry*, 2015, vol. 473, pp. 63–65. doi: 10.1016/j.ab.2014.12.007
15. Picht E., Zima A. V., Blatter L. A., Bers, D. M. SparkMaster: automated calcium spark analysis with ImageJ // *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 2007, vol. 293, is. 3, pp. 1073–1081. doi: 10.1152/AJPCELL.00586.2006
16. Jensen E. C. Quantitative analysis of histological staining and fluorescence using ImageJ // *The Anatomical Record*, 2013, vol. 296, is. 3, pp. 378–381. doi: 10.1002/ar.22641
17. Zhou Lan, Lü Guo-Hua, Chen Wei, Pang Hua, Zhang Gu-Ling, Yang Si-Ze. Surface modification of polytetrafluoroethylene film using single liquid electrode atmospheric-pressure glow discharge // *Chinese Physics B*, 2011, vol. 20, no. 6. doi: 10.1088/1674-1056/20/6/065206
18. Griesser H. J., Da, Y., Hughes A. E., Gengenbach T. R., Mau A. W. Shallow reorientation in the surface dynamics of plasma-treated fluorinated ethylene-propylene polymer // *Langmuir*, 1991, vol. 7, is. 11, pp. 2484–2491. doi: 10.1021/la00059a015
19. Nakamatsu J., Delgado-Aparicio L. F., Da Silva R., Soberon F. Ageing of plasma-treated poly (tetrafluoroethylene) surfaces // *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1999, vol. 13, is. 7, pp. 753–761. doi: 10.1163/156856199X00983
20. Paynter R. W. XPS studies of the ageing of plasma-treated polymer surfaces // *Surface and Interface Analysis*, 2000, vol. 29, is. 1, pp. 56–64. doi: 10.1002/(SICI)1096-9918(200001)29:1<56::AID-SIA693>3.0.CO;2-2
21. Sharma R., Holcomb E., Trigwell S., Mazumder, M. Stability of atmospheric-pressure plasma induced changes on polycarbonate surfaces // *Journal of Electrostatics*, 2007, vol. 65, is. 4, pp. 269–273. doi: 10.1016/j.elstat.2006.10.001
22. Van Deynse A., Cools P., Leys C., Morent R., De Geyter N. Influence of ambient conditions on the aging behavior of plasma-treated polyethylene surfaces // *Surface and Coatings Technology*, 2014, vol. 258, pp. 359–367. doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.08.073
23. Kim K. S., Ryu C. M., Park C. S., Sur G. S., Park C. E. Investigation of crystallinity effects on the surface of oxygen plasma treated low density polyethylene using X-ray photoelectron spectroscopy // *Polymer*, 2003, vol. 44, is. 20, pp. 6287–6295. doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00674-8

References

1. Yasuda H. *Polimerizatsiya v plazme* [Plasma polymerization]. Moscow: Mir Publ., 1988, 376 p.
2. Kurzina I. A., Pukhova I. V., Savkin K. P., Medovnik A. V., Laput' O. A., Chebodaeva V. V. Modifikatsiya poverkhnostnykh svoystv PTFE metodami ionnogo i elektronno-luchevogo vozdeystviya [Modification of the surface properties of PTFE by ion and electron beam methods]. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya* [Fundamental problems of modern materials science], 2016, vol. 13, no. 4, pp. 473–484.
3. Mognonov D. M., Ayurova O. Zh., Khagleev A. N., Buyantuev S. L., Dorzhiev D. V. Povyshenie adgezionnykh svoystv poverkhnosti plenok politetrafluoretilena v tleyushchem razryade. [Increasing the adhesive properties of the surface of polytetrafluoroethylene films in a glow discharge]. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya* [Bulletin of the East Siberian State University of Technology and Management], 2017, vol. 67, no. 4, pp. 19–23.
4. Wang S., Li J., Suo J., Luo T. Surface modification of porous poly (tetrafluoroethylene) film by a simple chemical oxidation treatment. *Applied Surface Science*, 2010, vol. 256, is. 7, pp. 2293–2298. doi: 10.1016/j.apsusc.2009.10.055
5. Stratanovich V.A., Mikhalko A.M. O vliyaniy rezhimov plazmokhimicheskoy obrabotki na poverkhnostnye svoystva MABS-plastika [On the effect of plasma chemical treatment modes on the surface properties of MABS-plastic]. *Tezisy dokladov XVIII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh «Molodezh' v nauke – 2021»* [Abstracts of the XVIII International Scientific Conference of Young Scientists “Youth in Science – 2021”]. Minsk: Belaruskaya navuka Publ., 2021, part 2, pp. 306–307.
6. Sarkisov O. A., Mikhalko A. M., Lapitskaya V. A., Kuznetsova T. A., Grakovich P. N., Rogachev A. A. Morfologicheskie, fiziko-khimicheskie osobennosti mnogokratoyn obrabotki plenok polietilena v plazme bar'ernogo razryada [Morphological, physico-chemical features of multiple processing of polyethylene in barrier discharge plasma]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P. O. Sukhogo* [Bulletin of the P. O. Sukhoi Gomel State Technical University], 2021, no. 1 (84), pp. 42–52.
7. Markov A. V., Khalimon V. I., Markova A. V., Yulenets Yu. P. Optimal'naya vremennaya programma protsesssa modifitsirovaniya poverkhnosti polimernykh materialov v plazme vysokochastotnogo razryada [High-frequency discharge optimal time program of polymer materials surface modification process in high-frequency plasma]. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2015, no. 7, pp. 3–6.
8. Piskarev M. S., Yablokov M. Yu., Gil'man A. B., Kekek'yan A. S., Kuznetsov A. A. Modifitsirovanie poverkhnosti plenok poliflorolefinov v tleyushchem razryade postoyannogo toka [Modification of the surface of polyfluoroolefin films in a DC glow discharge]. *Fundamental'nye problemy radioelektronnoy priboroostroeniya* [Fundamental problems of electronic instrumentation], 2010, vol. 10, no. 1-2, pp. 274–279.
9. Grakovich P. N., Tolstopyatov E. M., Ivanov L. F., Shelestova V. A., Makarenko V. M., Stratanovich V. A. Ustanovka dlya plazmokhimicheskoy obrabotki uglerodnykh tkaney [Installation for plasma chemical treatment of carbon fabrics]. *IX Mezhdunarodnyy simpozium po teoreticheskoy i prikladnoy plazmokhimii. XVI Shkola po plazmokhimii dlya molodykh uchenykh Rossii i stran SNG* [IX International Symposium Theoretical and Applied Plasma Chemistry. XVI School of Plasma Chemistry for young scientists of Russia and CIS

- countries]. Ivanovo, 2021, pp. 101.
10. Stratanovich V. A., Brundukov A. S., Zhandarov S. F., Makarenko V. M. Vliyanie obrabotki v nizkotemperaturnoy plazme ostatochnykh gazov na poverkhnostnyuyu energiyu sopolimera metilmetakrilat-akrilonitril-butadien-stirola [Effect of treatment of residual gases in a low-temperature plasma on the surface energy of the of the methyl methacrylate-acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer]. *Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Polimernye kompozity i tribologiya» (POLIKOMTRIB-2022)* [Abstracts of the international scientific and technical Conference “Polymer Composites and Tribology” (POLYCOMTRIB-2022)]. Gomel' : IMMS NANB Publ., 2022, pp. 98.
 11. Kwok D. Y., Neumann A. W. Contact angle measurement and contact angle interpretation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 1999, vol. 81, is. 3, pp. 167–249. doi: 10.1016/S0001-8686(98)00087-6
 12. Buahom P. Measuring the Contact Angle using ImageJ with Contact Angle plug-in. Available at: https://www.researchgate.net/publication/328733959_Measuring_the_Contact_Angle_using_ImageJ_with_Contact_Angle_plugin (accessed 21 August 2022).
 13. Papadopoulos F., Spinelli M., Valente S., Foroni L., Orrico C., Alviano F., Pasquinelli G. Common tasks in microscopic and ultrastructural image analysis using ImageJ. *Ultrastructural pathology*, 2007, vol. 31, is. 6, pp. 401–407. doi: 10.1080/01913120701719189
 14. Grishagin I. V. Automatic cell counting with ImageJ. *Analytical biochemistry*, 2015, vol. 473, pp. 63–65. doi: 10.1016/j.ab.2014.12.007
 15. Picht E., Zima A. V., Blatter L. A., Bers, D. M. SparkMaster: automated calcium spark analysis with ImageJ. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 2007, vol. 293, is. 3, pp. 1073–1081. doi: 10.1152/AJPCELL.00586.2006
 16. Jensen E. C. Quantitative analysis of histological staining and fluorescence using ImageJ. *The Anatomical Record*, 2013, vol. 296, is. 3, pp. 378–381. doi: 10.1002/ar.22641
 17. Zhou Lan, Lü Guo-Hua, Chen Wei, Pang Hua, Zhang Gu-Ling, Yang Si-Ze. Surface modification of polytetrafluoroethylene film using single liquid electrode atmospheric-pressure glow discharge. *Chinese Physics B*, 2011, vol. 20, no. 6. doi: 10.1088/1674-1056/20/6/065206
 18. Griesser H. J., Da Y., Hughes A. E., Gengenbach T. R., Mau A. W. Shallow reorientation in the surface dynamics of plasma-treated fluorinated ethylene-propylene polymer. *Langmuir*, 1991, vol. 7, is. 11, pp. 2484–2491. doi: 10.1021/la00059a015
 19. Nakamatsu J., Delgado-Aparicio L. F., Da Silva R., Soberon F. Ageing of plasma-treated poly (tetrafluoroethylene) surfaces. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 1999, vol. 13, is. 7, pp. 753–761. doi: 10.1163/156856199X00983
 20. Paynter R. W. XPS studies of the ageing of plasma-treated polymer surfaces. *Surface and Interface Analysis*, 2000, vol. 29, is. 1, pp. 56–64. doi: 10.1002/(SICI)1096-9918(200001)29:1<56::AID-SIA693>3.0.CO;2-2
 21. Sharma R., Holcomb E., Trigwell S., Mazumder, M. Stability of atmospheric-pressure plasma induced changes on polycarbonate surfaces. *Journal of Electrostatics*, 2007, vol. 65, is. 4, pp. 269–273. doi: 10.1016/j.elstat.2006.10.001
 22. Van Deynse A., Cools P., Leys C., Morent R., De Geyter N. Influence of ambient conditions on the aging behavior of plasma-treated polyethylene surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 2014, vol. 258, pp. 359–367. doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.08.073
 23. Kim K. S., Ryu C. M., Park C. S., Sur G. S., Park C. E. Investigation of crystallinity effects on the surface of oxygen plasma treated low density polyethylene using X-ray photoelectron spectroscopy. *Polymer*, 2003, vol. 44, is. 20, pp. 6287–6295. doi.org/10.1016/S0032-3861(03)00674-8
-