

УДК 678:621.891

Исследование взаимосвязи между электризацией и трибохимическими реакциями в металлополимерных системах

М.В. Бойко, В.В. Авилов, А.А. Бичеров, А.М. Ананко, Т.Г. Бойко

Ростовский государственный университет путей сообщений,
пл. Ростовского стрелкового полка народного ополчения, д. 2, г. Ростов-на-Дону 344038, Россия

Поступила в редакцию 30.12.2021.

После доработки 20.06.2022.

Принята к публикации 21.06.2022.

Исследована взаимосвязь между величинами электризации тел и трибохимическими процессами деструкции композиционного материала. Эволюция вторичных поверхностных структур изучена методом ИК-спектроскопии НПВО. Установлено, что плёнки переноса состоят из фрагментов эпоксидно-диановой матрицы. Возникновение электризации при трении металлополимерных систем обусловлено переносом радикалов и ионов, образующихся в результате деструкции органических молекул по гомо- и гетеролитическому механизмам. Показано, что на начальном этапе трения преобладает гетеролитический распад связей. Окисление свободных радикалов сопровождается появлением в ИК-спектрах полос колебаний связей С=О. Модифицирование эпоксидно-диановой матрицы частицами со структурой шпинели активизирует процессы формирования вторичных поверхностных структур в металлополимерном трибосопряжении. Разность потенциалов между телами не исчезает даже через продолжительное время после окончания процесса трения из-за наличия закрепленных на поверхности зарядов. Основной вклад в электризацию в металлополимерных системах вносит перенос ионов, а не электронов.

Ключевые слова: электризация при трении, металлополимерные системы, деструкция полимеров, вторичные поверхностные структуры, композиционные материалы.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-301-309

Адрес для переписки:

М.В. Бойко

Ростовский государственный университет путей сообщений,
пл. Ростовского стрелкового полка народного ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону 344038, Россия
e-mail: mikle-1@list.ru

Address for correspondence:

M.V. Boiko

Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., 2,
Rostov-on-Don, 344038, Russia
e-mail: mikle-1@list.ru

Для цитирования:

М.В. Бойко, В.В. Авилов, А.А. Бичеров, А.М. Ананко, Т.Г. Бойко.
Исследование взаимосвязи между электризацией и
трибохимическими реакциями в металлополимерных системах.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 3. – С. 301–309.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-301-309

For citation:

M.V. Boiko, V.V. Avilov, A.A. Bicherov, A.M. Ananko, and
T.G. Boiko.

[Investigation of the Relationship Between Electrification and
Tribochemical Reactions in Metal Polymer Systems].

Trenie i Iznos.

2022, vol. 43, no. 3, pp. 301–309 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-301-309

Investigation of the Relationship Between Electrification and Tribochemical Reactions in Metal Polymer Systems

M.V. Boiko, V.V. Avilov, A.A. Bicherov, A.M. Ananko, and T.G. Boiko

Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., 2, Rostov-on-Don, 344038, Russia

Received 30.12.2021.

Revised 20.06.2022.

Accepted 21.06.2022.

Abstract

The work investigates the relationship between electrification of bodies and tribochemical processes of destruction of a composite material. The evolution of secondary surface structures was studied by ATR IR spectroscopy. It was found that the transfer films consist of fragments of the epoxy-diane matrix. The onset of electrification during friction of metal-polymer systems is due to the transfer of radicals and ions formed as a result of the destruction of organic molecules by homo- and heterolytic mechanisms. It is shown that at the initial stage of friction, the heterolytic destruction prevails. Oxidation of free radicals is accompanied by the appearance of C=O bond vibration bands in the IR spectra. Modification of the epoxy-diane matrix with particles with a spinel structure activates the formation of secondary surface structures in metal-polymer triboconjugation. The potential difference between the bodies does not disappear even after a long time after the end of the friction process due to the presence of charges fixed on the surface. The main contribution to electrification in metal-polymer systems is made by the transfer of ions rather than electrons.

Keywords: electrification during friction, metal-polymer systems, destruction of polymers, secondary surface structures, composite materials.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-301-309

Адрес для переписки:

М.В. Бойко
Ростовский государственный университет путей сообщений,
пл. Ростовского стрелкового полка народного ополчения, д. 2,
г. Ростов-на-Дону 344038, Россия
e-mail: mikle-1@list.ru

Address for correspondence:

M.V. Boiko
Rostov State Transport University,
Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., 2,
Rostov-on-Don, 344038, Russia
e-mail: mikle-1@list.ru

Для цитирования:

М.В. Бойко, В.В. Авиллов, А.А. Бичеров, А.М. Ананко, Т.Г. Бойко.
Исследование взаимосвязи между электризацией и
трибохимическими реакциями в металлополимерных системах.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 3. — С. 301—309.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-301-309

For citation:

M.V. Boiko, V.V. Avilov, A.A. Bicherov, A.M. Ananko, and
T.G. Boiko.
[Investigation of the Relationship Between Electrification and
Tribochemical Reactions in Metal Polymer Systems].
Trenie i Iznos.

2022, vol. 43, no. 3, pp. 301—309 (in Russian).

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-3-301-309

Список использованных источников

1. **Pan S. and Zhang Z.** Fundamental Theories and Basic Principles of Triboelectric Effect: A Review // Friction. — 2019 (7), 2—17. (DOI: 10.1007/s40544-018-0217-7)
2. **Lacks D.J. and Sankaran R.M.** Contact Electrification of Insulating Materials // J. Phys. D: Appl. Phys. — 2011 (44), 453001. (DOI: 10.1088/0022-3727/44/45/453001)
3. **Zhang Y. and Shao T.** Contact Electrification Between Polymers and Steel // Journal of Electrostatics. — 2013 (71), 862—866. (DOI: 10.1016/j.elstat.2013.06.002)
4. **Pan S. and Zhang Z.** Triboelectric Effect: A New Perspective on Electron Transfer Process // Journal of Applied Physics. — 2017 (122), 144302. (DOI: 10.1063/1.5006634)
5. **Машков Ю.К., Тюкин А.В., Разборов А.Б.** О закономерностях и механизме трибоэлектрических процессов в металлополимерных трибосистемах // Трение и износ. — 2009 (30), № 4, 380—384
6. **Машков Ю.К.** Физико-химические процессы в металлополимерных трибосистемах // Трение и износ. — 2012 (33), № 5, 486—492
7. **Chang Y.-P., Yur J.-P., Chou H.-M., and Chu H.-M.** Tribo-Electrification Mechanisms for Self-Mated Carbon Steels in Dry Severe Wear Process // Wear. — 2006 (260), 1209—1216. (DOI: 10.1016/j.wear.2005.09.001)
8. **Колесников И.В.** Базовые рекомендации создания композиционных материалов для металлополимерных трибосистем // Трение и износ. — 2016 (37), № 5, 652—658
9. **Лавриненко В.И., Девяцкий А.А., Пасичный О.О., Кухаренко С.А.** Термоэлектрические явления в процессах обработки и исследование их функционирования при шлифовании кругами из СТМ // Сверхтвердые материалы. — 2015, № 4, 63—75
10. **Сао Н. and Meng Y.** Electrochemical Effect on Boundary Lubrication of ZDDP Additive Blended in Propylene Carbonate / Diethyl Succinate // Tribol. Int. — 2018 (126), 229—239. (DOI: 10.1016/j.triboint.2018.05.025)
11. **Donovan A. and Scott W.** On-Line Monitoring of Cutting Tool Wear Through Tribo EMF Analysis // Int. J. Mach. Tools Manufact. — 1995 (35), no. 11, 1523—1535
12. **Кужаров А.С., Булгаревич С.Б., Булакова В.Э., Кужаров А.А., Акимова Е.Е., Коноплев Б.Г., Агеев О.А.** Колебания трибоЭДС и ступенчатая коагуляция нанокластеров меди при формировании сервовитной пленки в условиях эффекта безызносности // Трение и износ — 2009 (30), № 4, 372—379
13. **Kryshchtopa S., Kryshchtopa L., Bogatchuk I., Prunko I., and Melnyk V.** Examining the Effect of Triboelectric Phenomena on Wear-Friction Properties of Metal-Polymeric Frictional Couples // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies — 2017 (85), 1/5. (DOI: 10.15587/1729-4061.2017.91615)
14. **Sleptsova S.A., Kapitonova Yu.V., Lazareva N.N., Okhlopko A.A., and Grigoryeva L.A.** Effect of Ultrasonic Vibrations on the Properties of PTFE/Layered Silicate + Magnesium Spinel // AIP Conference Proceedings — 2018 (2051), 020288
15. **Охлопкова А.А., Стручкова Т.С., Алексеев А.Г., Васильев А.П.** Разработка и исследование полимерных композиционных материалов на основе активации политетрафторэтилена и углеродных наполнителей // ВЕСТНИК СВФУ — 2015 (48), № 4, 51—63
16. **Sidashov A.V., and Boiko M.V.** Surface Films Formation on Steel During Friction of Polymer Composites Containing Microcapsules with Lubricant // Lecture Notes in Mechanical Engineering. — 2020, 1259—1268. (DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_131)
17. **Булгаревич С.Б., Бойко М.В., Колесников В.И., Фейзова В.А.** Термодинамический и кинетический анализы вероятных химических реакций в зоне трибоконтакта и влияние высокого давления на протекание адсорбционных процессов // Трение и износ — 2011 (32), № 4, 394—404
18. **Булгаревич С.Б., Бойко М.В., Колесников В.И., Корец К.Е.** Заселенность переходных состояний химических процессов, активированных трением // Трение и износ — 2010 (31), № 4, 385—393
19. **Барамбойм Н.К.** Механохимия высокомолекулярных соединений. — М.: Химия. — 1978

References

1. **Pan S. and Zhang Z.** Fundamental Theories and Basic Principles of Triboelectric Effect: A Review // Friction. — 2019 (7), 2—17. (DOI: 10.1007/s40544-018-0217-7)
2. **Lacks D.J. and Sankaran R.M.** Contact Electrification of Insulating Materials // J. Phys. D: Appl. Phys. — 2011 (44), 453001. (DOI: 10.1088/0022-3727/44/45/453001)
3. **Zhang Y. and Shao T.** Contact Electrification Between Polymers and Steel // Journal of Electrostatics. — 2013 (71), 862—866. (DOI: 10.1016/j.elstat.2013.06.002)
4. **Pan S. and Zhang Z.** Triboelectric Effect: A New Perspective on Electron Transfer Process // Journal of Applied Physics. — 2017 (122), 144302. (DOI: 10.1063/1.5006634)
5. **Mashkov Y.K., Tyukin A.V., and Razborov A.B.** Regularities and Mechanism of Triboelectric Processes in Metal-Polymer Tribosystems // Journal of Friction and Wear. — 2009 (30), no. 4, 277—280. (DOI: 10.3103/S1068366609040084)

6. **Mashkov Y.K.** Physicochemical Processes in Metal-Polymer Tribosystems // Journal of Friction and Wear. — 2012 (33), no. 5, 354—358. (DOI: 10.3103/S1068366612050078)
7. **Chang Y.-P., Yur J.-P., Chou H.-M., and Chu H.-M.** Tribo-Electrification Mechanisms for Self-Mated Carbon Steels in Dry Severe Wear Process // Wear. — 2006 (260), 1209—1216. (DOI: 10.1016/j.wear.2005.09.001)
8. **Kolesnikov I.V.** Metal-Polymer Tribosystems: Basic Recommendations for Creating Composites // Journal of Friction and Wear. — 2016 (37), no. 5, 507—511. (DOI: 10.3103/S1068366616050093)
9. **Lavrinenko V.I., Devickij A.A., Pasichnyj O.O., and Kuharenko S.A.** Termojelektricheskie javlenija v processah obrabotki i issledovanie ih funkcionirovanija pri shlifovanii krugami iz STM // Sverhtverdye materialy. — 2015, no. 4, 63—75 (in Russian)
10. **Cao H. and Meng Y.** Electrochemical Effect on Boundary Lubrication of ZDDP Additive Blended in Propylene Carbonate / Diethyl Succinate // Tribol. Int. — 2018 (126), 229—239. (DOI: 10.1016/j.triboint.2018.05.025)
11. **Donovan A. and Scott W.** On-Line Monitoring of Cutting Tool Wear Through Tribo EMF Analysis // Int. J. Mach. Tools Manufact. — 1995 (35), no. 11, 1523—1535
12. **Kuzharov A.S., Burlakova V.E., Kuzharov A.A., Bulgarevich S.B., Akimova E.E., Konoplev B.G., and Ageev O.A.** Molecular Mechanisms of Self-Organization in Friction. Part VII. Fluctuations of the Tribo-EMF and Stepwise Coagulation of Copper Nanoclusters when the Servovit Film Appears under the Effect of Wearlessness // Journal of Friction and Wear. — 2009 (30), no. 4, 271—276. (DOI: 10.3103/S1068366609040072)
13. **Kryshchtopa S., Kryshchtopa L., Bogatchuk I., Prunko I., and Melnyk V.** Examining the Effect of Triboelectric Phenomena on Wear-Friction Properties of Metal-Polymeric Frictional Couples // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies — 2017 (85), 1/5. (DOI: 10.15587/1729-4061.2017.91615)
14. **Sleptsova S.A., Kapitonova Yu.V., Lazareva N.N., Okhlopkova A.A., and Grigoryeva L.A.** Effect of Ultrasonic Vibrations on the Properties of PTFE/Layered Silicate + Magnesium Spinel // AIP Conference Proceedings — 2018 (2051), 020288.
15. **Ohlopkova A.A., Struchkova T.S., Alekseev A.G., and Vasil'ev A.P.** Razrabotka i issledovanie polimernyh kompozicionnyh materialov na osnove aktivacii politetraforjetilena i uglerodnyh napolnitelej // VESTNIK SVFU — 2015 (48), № 4, 51—63 (in Russian)
16. **Sidashov A.V. and Boiko M.V.** Surface Films Formation on Steel During Friction of Polymer Composites Containing Microcapsules with Lubricant // Lecture Notes in Mechanical Engineering — 2020, 1259—1268. (DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_131)
17. **Bulgarevich S.B., Boiko M.V., Kolesnikov V.I., and Feizova V.A.** Thermodynamic and Kinetic Analyses of Probable Chemical Reactions in the Tribocontact Zone and the Effect of Heavy Pressure on Evolution of Adsorption Processes // Journal of Friction and Wear. — 2011 (32), no. 4, 301—309. (DOI: 10.3103/S1068366611040027)
18. **Bulgarevich S.B., Boiko M.V., Kolesnikov V.I., and Korets K.E.** Population of Transition States of Triboactivated Chemical Processes // Journal of Friction and Wear. — 2010 (31), no. 4, 288—293. (DOI: 10.3103/S1068366610040070)
19. **Baramboim N.K.** Mechanochemistry of high-molecular compounds. — M.: Chemistry. — 1978 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11
Full text of articles can be purchased from the editorial office.
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11
E-mail: FWJ@tut.by