

УДК 678.743.41:531.44

Влияние химического состава стального контртела на скорость изнашивания малонаполненного композита ПТФЭ / SiO₂

В.Н. Адериха

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь

Поступила в редакцию 04.07.2022.

После доработки 15.08.2022.

Принята к публикации 15.08.2022.

Исследовано изнашивание композитов ПТФЭ/SiO₂ по стали 40Х с низким и 40Х13 с повышенным содержанием хрома. Трибохимические процессы происходящие при изнашивании композита характеризуются изменениями химической структуры и состава поверхности трения композита данными метода нарушенного полного отражения ИК спектроскопии и результатами ДТА термоокислительной деструкции модельных смесей ПТФЭ с оксидами железа, хрома и кремния. Найдено, что повышенная скорость изнашивания композита по нержавеющей стали 40Х13 сочетается с пониженным содержанием продуктов окисления связующего и повышенным накоплением наполнителя в поверхности трения композита, а пониженная скорость изнашивания по стали 40Х — с повышенным содержанием продуктов окисления, пониженным накоплением наполнителя и появлением двойных связей в полимере слоя трения, свидетельствующим о его дефторировании. Указанные различия в скорости изнашивания, химическом строении и составе поверхности трения композита отнесены на счёт катализа процессов дефторирования и окисления оксидами железа поверхности стали 40Х на основании данных ИК-спектроскопии, показавших протекание аналогичных изменений в ПТФЭ при спекании в присутствии Fe₃O₄, а также результатов ДТА смесей ПТФЭ/Fe₃O₄, свидетельствующих о катализе термодеструкции ПТФЭ на воздухе и в азоте, и резкого снижения скорости изнашивания композитов ПТФЭ/SiO₂ с небольшой добавкой nano-Fe₃O₄. Высказана гипотеза о том, что резкое увеличение износостойкости нано- и микрокомпозитов ПТФЭ при трении по нержавеющей стали при наличии в их составе высокоабразивных частиц, известное по публикациям нескольких групп исследователей, обусловлено разрушением механически прочного пассивационного слоя оксида хрома поверхности контртела и поступлением в зону трения свежесформированных оксидов железа, катализирующих трибохимическое окисление ПТФЭ, что увеличивает адгезию и долговечность плёнок переноса.

Ключевые слова: ПТФЭ, наномангнетит, изнашивание, трибохимические процессы, дефторирование.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-341-350

Адрес для переписки:

В.Н. Адериха
Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: vнад@tut.by

Для цитирования:

В.Н. Адериха.
Влияние химического состава стального контртела на скорость изнашивания малонаполненного композита ПТФЭ / SiO₂.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 4. — С. 341—350.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-341-350

Address for correspondence:

V.N. Aderikha
V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: vнад@tut.by

For citation:

V.N. Aderikha.
[On the Effect of the Chemical Composition of a Steel Counterbody on the Wear Rate of Low-Filled PTFE / SiO₂ Composite].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 4, pp. 341—350 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-341-350

On the Effect of the Chemical Composition of a Steel Counterbody on the Wear Rate of Low-Filled PTFE / SiO₂ Composite

V.N. Aderikha

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

Received 04.07.2022.

Revised 15.08.2022.

Accepted 15.08.2022.

Abstract

The wear of PTFE/SiO₂ composites on steel 40X with low and 40X13 with high chromium content is studied. Tribochemical processes occurring during the wear of the composite are characterized by changes in the chemical structure and composition of the running film of the composite using attenuated total reflection technique of FTIR IR spectroscopy and DTA results of thermal oxidative degradation of model blends of PTFE with iron, chromium and silicon oxides. It is found that higher wear rate of the composite on the stainless steel is accompanied by lower extent of oxidation/chelation of the polymer and greater content of accumulated silica in the running film, while at friction on the low chromium steel a lower wear rate is matched with higher content of oxidation/chelation products, lower accumulation of silica in the running film and appearance of double bonds, indicative of the polymer defluorination. The principal differences in wear rates and running film composition are attributed to the catalysis of PTFE defluorination and oxidation by iron oxides of the low chromium steel counterface, based on IR-spectroscopic evidence of similar chemical changes in PTFE on sintering in presence of Fe₃O₄, as well as DTA results showing catalysis of PTFE degradation in air and nitrogen in presence of nano-Fe₃O₄ and drastic improvement in wear resistance of PTFE/silica composite modified with small addition of nano-Fe₃O₄. It is hypothesized that the sharp increase in the wear resistance of PTFE nano- and microcomposites, containing highly abrasive particles, at friction on a stainless steel, observed by several research groups, is due to the destruction of a mechanically strong passivation surface layer of chromium oxide of the counterbody and the entry of freshly formed iron oxides into the friction zone, which catalyze the tribochemical oxidation of PTFE and improve the transfer film adhesion and life.

Keywords: PTFE, steel, iron oxide, wear, tribochemical processes, defluorination.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-341-350

Адрес для переписки:

В.Н. Адериха
Государственное научное учреждение «Институт механики
металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси»,
ул. Кирова, 32а, г. Гомель 246050, Беларусь
e-mail: vnad@tut.by

Для цитирования:

В.Н. Адериха.
Влияние химического состава стального контртела на скорость
изнашивания малонаполненного композита ПТФЭ / SiO₂.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 4. — С. 341–350.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-341-350

Address for correspondence:

V.N. Aderikha
V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of
Sciences of Belarus,
Kirov St., 32a, Gomel 246050, Belarus
e-mail: vnad@tut.by

For citation:

V.N. Aderikha.
[On the Effect of the Chemical Composition of a Steel Counterbody on
the Wear Rate of Low-Filled PTFE / SiO₂ Composite].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 4, pp. 341–350 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-341-350

Список использованных источников / References

1. **Harris K.L., Pitenis A.A., Sawyer W.G., Krick B.A., Blackman G.S., Kasprzak D.J., and Junk C.P.** PTFE Tribology and the Role of Mechanochemistry in the Development of Protective Surface Films // *Macromolecules*. — 2015 (**48**), no. 11, 3739—3745
2. **Ye J., Burris D.L., and Xie T.A.** Review of Transfer Films and Their Role in Ultra-Low-Wear Sliding of Polymers // *Lubricants*. — 2016 (**4**), no. 4; doi:10.3390/lubricants4010004
3. **Krick B.A., Ewin J.J., Blackman S., Junk C.P., and Sawyer W.G.**, Environmental Dependence of Ultra-Low Wear behavior of Polytetrafluoroethylene (PTFE) and Alumina Composites Suggests Tribochemical Mechanisms // *Trib. Int.* — 2012 (**51**), 42—46
4. **Aderikha V.N., Krasnov A.P., Naumkin A.V., Shapovalov V.A.** Effects of Ultrasound Treatment of Expanded Graphite (EG) on the Sliding Friction, Wear Resistance, and Related Properties of PTFE-Based Composites Containing EG // *Wear*. — 2017 (**386-387**), 63—71
5. **Sidebottom M.A., Pitenis A.A., Junk C.P., Kasprzak D.J., Blackman G.S., Burch H.E., Harris K.L., Sawyer W.G., and Krick B.A.** Ultralow Wear Perfluoroalkoxy (PFA) and Alumina Composites // *Wear*. — 2016 (**362-363**), 179—185
6. **Ye J., Moore A.C., Burris D.L.** Transfer Film Tenacity: A Case Study Using Ultra-Low-Wear Alumina-PTFE // *Tribol. Lett.* — 2015, 59:50, DOI 10.1007/s11249-015-0576-4
7. **Aderikha V.N., Novikov V.P., Filippovich S.R., and Shapovalov V.A.** The Effect of PTFE Powder Adhesive Activation on the Wear Resistance of Block PTFE // *J. Frict. Wear*. — 2018 (**39**), 355—360
8. **Kerber S.J. and Tverberg J.** Stainless Steel // *Advanced Materials & Processes*. — 2000, Nov., 33—36
9. **Aderikha V.N. and Shapovalov V.A.** Tribological Behavior of Polytetrafluoroethylene-Silica Composites // *J. Frict. Wear*. — 2011 (**32**), no. 2, 124—132
10. **Przedlacki M. and Kajdas C.** Tribochemistry of Fluorinated Fluids Hydroxyl Groups on Steel and Aluminum Surfaces // *Tribol. Trans.* — 2006 (**49**), 202—214
11. **Infrared analysis of organosilicon compounds: spectra-structure correlations** — Gelest <https://www.gelest.com/wp-content/uploads>
12. **Gong D.-L., Zhang B., Xue Q.-J., Wang H.-L.** Effect of Tribochemical Reaction of Polytetrafluoroethylene Transferred Film with Substrates on Its Wear Behaviour // *Wear*. — 1990 (**137**), 267—273
13. **Mori S. and Morales W.** Tribological Reactions of Perfluoroalkyl Polyether Oils with Stainless Steel under Ultrahigh Vacuum Conditions at Room Temperature // *Wear*. — 1989 (**132**), no. 1, 111—121
14. **Burris D.L. and Sawyer W.G.** Improved Wear Resistance in Alumina-PTFE Nanocomposites with Irregular Shaped Nanoparticles — *Wear*. — 2006 (**260**), 915—918
15. **Kandanur S.S., Schrameyer M.A., Jung K.F., Makowiec M.E., Bhargava S., and Blanchet T.A.** Effect of Activated Carbon and Various Other Nanoparticle Fillers on PTFE Wear // *Tribol. Trans.* — 2014 (**57**), 821—830
16. **Krick B.A., Pitenis A.A., Harris K.L., Junk C.P., Sawyer W.G., Brown S.C., Rosenfeld H.D., Kasprzak D.J., Johnson R.S., Chan C.D., and Blackman G.S.** Ultralow Wear Fluoropolymer Composites: Nanoscale Functionality from Microscale Fillers // *Tribol. Int.* — 2016 (**95**), 245—255
17. **Pitenis A.A., Ewin J.J., Harris K.L., Sawyer W.G., and Krick B.A.** In Vacuo Tribological Behavior of Polytetrafluoroethylene (PTFE) and Alumina Nanocomposites: The Importance of Water for Ultralow Wear // *Tribol. Lett.* — 2014 (**53**), 189—197
18. **Krahl T. and Kemnitz E.** Aluminium Fluoride — the Strongest Solid Lewis Acid: Structure and Reactivity // *Catal. Sci. Technol.* — 2017 (**7**), 773—796
19. **Adamczyk B., Boese O., Weiher N., Sven L., Schroeder M., and Kemnitz E.** Fluorine Modified Chromium Oxide and Its Impact on Heterogeneously Catalyzed Fluorination Reactions // *J. Fluorine Chem.* — 2000 (**101**), no. 2, 239—246 E
20. **Ye S., Zeng X., Tan F., and Fan Q.** Research on the Tribological Performance of Cr₂O₃ Filled with Bronze-Based PTFE Composites // *J. Appl. Polym. Sci.* — 2014 (**131**), 41117
21. **Okhlopkova A.A. and Sleptsova S.A.** Use of Oxide and Nitride Ceramics for Modification of Polytetrafluoroethylene // *J. Frict. Wear*. — 1998 (**20**), no. 1, 72—77

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