

УДК 531.44: 678.675

Структурный анализ формирования пленки переноса на поверхностях износа полимерных материалов

Г.В. Козлов¹, И.В. Долбин¹, В.В. Давыдова²

¹Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова,
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик 360004, КБР, Россия

²Российский государственный университет туризма и сервиса,
ул. Главная, 99, дп. Черкизово 141221, Московская область, Россия

Поступила в редакцию 21.01.2021.

После доработки 25.10.2021.

Принята к публикации 25.10.2021.

Исследован механизм формирования плёнки переноса в процессе трения двух твёрдых тел (нанокомпозитов полиэфиркетон/графен и контртела из закалённой стали) и влияние этого процесса на скорость фрикционного износа рассматриваемых нанокомпозитов. Ранее было продемонстрировано, что введение в полимеры наполнителей приводит к существенному изменению базовых характеристик плёнки переноса (её толщины и относительной площади покрытия плёнкой переноса поверхности контртела). В свою очередь, это изменение сильно влияет на трибологические показатели композитов. В настоящей работе показано, что толщина плёнки переноса линейно зависит от величины отношения двух характеристик рассматриваемых нанокомпозитов — их сдвигоустойчивости и плотности энергии когезии, характеризуемой в первом приближении модулем упругости этих наноматериалов. Увеличение толщины плёнки переноса от 0,2 до 2,0 мкм приводит к линейному росту скорости фрикционного износа от ~ 1 до $9 \text{ мм}^2/(\text{Н} \cdot \text{м})$. Структурный анализ процесса фрикционного износа в рамках фрактального анализа продемонстрировал снижение как сдвигоустойчивости нанокомпозитов, так и толщины плёнки переноса по мере роста фрактальной размерности структуры этих наноматериалов в силу повышения их плотности и энергии когезии. При приближении размерности структуры к размерности евклидова пространства скорость фрикционного износа достигает своего минимального, но конечного, значения в силу того обстоятельства, что размерность реальных физических тел всегда меньше евклидовой.

Ключевые слова: нанокомпозит, плёнка переноса, сдвигоустойчивость, энергия когезии, плотность материала, фрикционный износ, модуль упругости, фрактальный анализ, структура, микротвёрдость.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-572-578

Адрес для переписки:

И.В. Долбин
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова,
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик 360004, КБР, Россия
e-mail: i_dolbin@mail.ru

Для цитирования:

Г.В. Козлов, И.В. Долбин, В.В. Давыдова.
Структурный анализ формирования пленки переноса на
поверхностях износа полимерных материалов.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 5. — С. 572—578.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-572-578

Address for correspondence:

I.V. Dolbin
Kh.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
Chernyshevsky st., 173, Nal'chik 360004, KBR, Russia
e-mail: i_dolbin@mail.ru

For citation:

G.V. Kozlov, I.V. Dolbin, and V.V. Davydova.
[The Structural Analysis of Formation of Transfer Film on Surfaces of
Wear of Polymer Materials].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 5, pp. 572—578 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-572-578

The Structural Analysis of Formation of Transfer Film on Surfaces of Wear of Polymer Materials

G.V. Kozlov¹, I.V. Dolbin¹, and V.V. Davydova²

¹*Kh.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
Chernyshevsky st., 173, Nal'chik 360004, KBR, Russia*

²*Russian State University of Tourism and Service,
99 Glavnaya st., dp. Cherkizovo 141221, Moscow region, Russia*

Received 21.01.2021.

Revised 25.10.2021.

Accepted 25.10.2021.

Abstract

The mechanism of transfer film formation in the friction process of two solids (nanocomposites poly(ether ether ketone)/graphene and counterpart from quenched steel) and influence of this process on frictional wear rate of the considered nanocomposites was studied. It was has demonstrated earlier that introduction of fillers in polymers leads to an essential change of basic characteristics of transfer film (its thickness and relative area of coating by transfer film of counterpart surface). In its turn, this change influences strongly on a tribological characteristics of composites. It has been shown in the present paper, that the thickness of transfer film depends linearly on value of ratio of two characteristics of the considered nanocomposites, namely, their shear stability and density of cohesion energy, characterized to a first approximation by elastic modulus of these nanocomposites. The increasing of thickness of transfer film from 0.2 up to 2.0 μm leads to an linear growth of frictional wear rate from ~ 1 up to 9 $\text{mm}^2/(\text{N} \cdot \text{m})$. The structural analysis of frictional wear within the frameworks of fractal analysis was demonstrated decreasing of both shear stability of nanocomposites and thickness of transfer film at growth of fractal dimension of structure of these nanomaterials in virtue of enhancement of their density and cohesion energy. At approaching of structure dimension to the Euclidean space frictional wear rate reaches its minimal, but finite value in virtue of that circumstance, that dimension of real physical bodies is always smaller then Euclidean one.

Keywords: nanocomposite, transfer film, shear stability, cohesion energy, material density, frictional wear, elastic modulus, fractal analysis, microhardness.

DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-572-578

Адрес для переписки:

И.В. Долбин
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова,
ул. Чернышевского, 173, г. Нальчик 360004, КБР, Россия
e-mail: i_dolbin@mail.ru

Для цитирования:

Г.В. Козлов, И.В. Долбин, В.В. Давыдова.
Структурный анализ формирования пленки переноса на
поверхностях износа полимерных материалов.
Трение и износ.
2021. — Т. 42, № 5. — С. 572–578.
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-572-578

Address for correspondence:

I.V. Dolbin
Kh.M. Berbekov Kabardino-Balkarian State University,
Chernyshevsky st., 173, Nal'chik 360004, KBR, Russia
e-mail: i_dolbin@mail.ru

For citation:

G.V. Kozlov, I.V. Dolbin, and V.V. Davydova.
[The Structural Analysis of Formation of Transfer Film on Surfaces of
Wear of Polymer Materials].
Trenie i Iznos.
2021, vol. 42, no. 5, pp. 572–578 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-5-572-578

Список использованных источников

1. **Bahadur S.** The Development of Transfer Layers and Their Role in Polymer Tribology // *Wear*. — 2000 (245), no. 2, 92—99
2. **Kalin M., Zalaznik M., and Novak S.** Wear and Friction behavior of Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) Filled with Graphene, WS₂ and CNT Nanoparticles // *Wear*. — 2015 (332-333), 855—862
3. **Puertolas J.A., Castro M., Morris J.A., Rios R., and Anson-Casaos A.** Tribological and Mechanical Properties of Graphene Nanoplatelet/PEEK Composites // *Carbon*. — 2019 (141), no. 1, 107—122
4. **Буря А.И., Козлов Г.В., Холодилов О.В.** Износ и сдвиговая устойчивость углепластиков на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена // *Трение и износ*. — 2005 (26), № 4, 407—411
5. **Козлов Г.В.** Фрактальная механика полимеров. — М.: Спутник+. — 2016
6. **Баланкин А.С.** Синергетика деформируемого тела. — М.: Изд-во Мин-ва Обороны СССР. — 1991
7. **Козлов Г.В., Долбин И.В.** Прогнозирование трибологических показателей для полимерных нанокомпозитов // *Трение и износ*. — 2020 (41), № 6, 647—653
8. **Kozlov G.V. and Mikitaev A.K.** Structure and Properties of Nanocomposites Polymer/Organoclay. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH and Comp. — 2013

References

1. **Bahadur S.** The Development of Transfer Layers and Their Role in Polymer Tribology // *Wear*. — 2000 (245), no. 2, 92—99
2. **Kalin M., Zalaznik M., and Novak S.** Wear and Friction behavior of Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) Filled with Graphene, WS₂ and CNT Nanoparticles // *Wear*. — 2015 (332-333), 855—862
3. **Puertolas J.A., Castro M., Morris J.A., Rios R., and Anson-Casaos A.** Tribological and Mechanical Properties of Graphene Nanoplatelet/PEEK Composites // *Carbon*. — 2019 (141), no. 1, 107—122
4. **Burya A.I., Kozlov G.V., and Kholodilov O.V.** Wear and Shearing Stability of Carbon Plastics on the Basis of Ultra-High-Molecular Polyethylene // *Friction and Wear*. — 2005 (26), no. 4, 407—411
5. **Kozlov G.V. and Yanovskii Yu.G.** Fractal Mechanics of Polymers. Chemistry and Physics of Complex Polymeric Materials. — Toronto, New Jersey: Apple Academic Press. — 2015
6. **Balankin A.S.** Sinergetika deformiruemogo tela [Synergetics of deformable body]. — Moscow: Ministerstvo Oborony SSSR Publ. — 2001 (in Russian)
7. **Kozlov G.V. and Dolbin I.V.** The Prediction of Tribological Parameters for Polymer Nanocomposites // *Friction and Wear*. — 2020 (41), no. 6, 776—781
8. **Kozlov G.V. and Mikitaev A.K.** Structure and Properties of Nanocomposites Polymer/Organoclay. — Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH and Comp. — 2013

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