

УДК 621.891

Экспериментальное исследование влияния влажности на структурные изменения «третьего тела» в процессе трения

Ж.Н. Horng¹, Е.В. Торская², А.М. Мезрин², Н.М. Осипенко²

¹National Formosa University,
Yunlin, 632, Taiwan

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук,
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия

Поступила в редакцию 28.11.2023.

После доработки 12.04.2024.

Принята к публикации 17.04.2024.

Трение часто сопровождается локальным разрушением на границе контактирующих тел. Пространство между контактирующими телами обычно содержит движущиеся частицы различной природы, так называемое «третье тело», изменение эффективных условий трения может быть связано с изменением структуры площади контакта. В данной работе представлена новая серия экспериментов, в которых на разных масштабных уровнях моделируется процесс перестроения частиц промежуточного слоя, взаимодействующих с различными упругими материалами (стекло—резина и сталь). Предложена методика визуализации эффекта взаимного влияния, возникающего при вдавливании двух шариков в слой резины. Именно взаимное влияние обуславливает эффект сближения либо сепарации шариков при возвратно-поступательном фрикционном нагружении. Скорость этих процессов зависит от влажности и, в случае контакта с резиновым слоем, от толщины слоя. При большой влажности конфигурация частиц меняется быстрее, а сила трения уменьшается. Замена песка на абразив приводит к резкому росту коэффициента трения и износу с изменением микрорельефа поверхности. Минимальная шероховатость получена для влажности 30 %.

Ключевые слова: фрикционный контакт, трение, третье тело, частицы износа, влажность, фрикционные испытания.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-129-140

Адрес для переписки:

Е.В. Торская
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской
академии наук,
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: torskaya@mail.ru

Address for correspondence:

E.V. Torskaya
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of
Sciences,
Prospect Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: torskaya@mail.ru

Для цитирования:

Ж.Н. Horng, Е.В. Торская, А.М. Мезрин, Н.М. Осипенко.
Экспериментальное исследование влияния влажности на
структурные изменения «третьего тела» в процессе трения.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 2. — С. 129–140.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-129-140

For citation:

J.H. Horng, E.V. Torskaya, A.M. Mezrin, and N.M. Osipenko.
[Experimental Study of Effect of Humidity on Structural Changes of
“Third Body” During Friction].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 2, pp. 129–140 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-129-140

Experimental Study of Effect of Humidity on Structural Changes of “Third Body” During Friction

J.H. Horng¹, E.V. Torskaya², A.M. Mezrin², and N.M. Osipenko²

¹National Formosa University,
Yunlin, 632, Taiwan

²Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Sciences,
Prospekt Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia

Received 28.11.2023.

Revised 12.04.2024.

Accepted 17.04.2024.

Abstract

Friction is often accompanied by local fracture at the boundary of the contacting bodies. The gap between the bodies usually contains moving particles of different origin (third body), a change in the effective friction conditions may be associated with some changes in the structure of the “third body”. This paper presents a new series of experiments in which the process of rearrangement of intermediate layer particles interacting with various elastic materials (glass-rubber and steel) is modeled at different scale levels. A technique for visualizing the effect of mutual influence that occurs when two balls are pressed into a layer of rubber is proposed. It is the mutual influence that causes the effect of convergence or separation of the balls or particles during reciprocating frictional loading. The velocity of these processes depends on humidity and, in case of contact with the rubber layer, on the thickness of the layer. At high humidity, the configuration of the particles changes faster, and the friction force decreases. Replacing sand with an abrasive leads to increase in the coefficient of friction and wear with a change in the microrelief of the surface. The minimum roughness is obtained for a humidity of 30 %.

Keywords: contact, friction, third body, friction particles, humidity, friction tests.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-129-140

Адрес для переписки:

Е.В. Торская
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской
академии наук,
Проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, г. Москва 119526, Россия
e-mail: torskaya@mail.ru

Для цитирования:

J.H. Horng, E.V. Torskaya, A.M. Mezrin, N.M. Osipenko.
Экспериментальное исследование влияния влажности на
структурные изменения «третьего тела» в процессе трения.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 2. — С. 129–140.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-129-140

Address for correspondence:

E.V. Torskaya
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of
Sciences,
Prospekt Vernadskogo, 101-1, Moscow 119526, Russia
e-mail: torskaya@mail.ru

For citation:

J.H. Horng, E.V. Torskaya, A.M. Mezrin, and N.M. Osipenko.
[Experimental Study of Effect of Humidity on Structural Changes of
“Third Body” During Friction].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 2, pp. 129–140 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-2-129-140

Список использованных источников

1. **Марченко Е. А.** О природе разрушения поверхности металлов при трении. — М.: Наука. — 1979
2. **Гольдштейн Р.В., Осипенко Н.М.** Механизм движений в среде промежуточного слоя между контактирующими телами // Письма о материалах. — 2015 (5), № 4, 414—419. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2015-4-414-419>
3. **Андронов В.В.** Механические системы с преобразованным сухим трением // Изв. АН СССР. МТТ. — 1988, № 1, 40—49
4. **Miftakhova A.R., Chen Y.Y., and Horng J.H.** Effect of Rolling on the Friction Coefficient in Three-Body Contact // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2019 (11), no. 8, 1687814019872303. <https://doi.org/10.1177/1687814019872303>
5. **Horng J.H., Osipenko N.M., Stepanov F.I., and Torskaya E.V.** Theoretical and Experimental Study of Changes in the Structure of the Intermediate Layer during Friction between Contacting Bodies // *Materials*. — 2021 (14), no. 19, 5689. <https://doi.org/10.3390/ma14195689>
6. **Klaffke D.** On the Repeatability of Friction and Wear Results and on the Influence of Humidity in Oscillating Sliding Tests of Steel-Steel Pairings // *Wear*. — 1995 (189), nos. 1-2, 117—121. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)06672-1](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)06672-1)
7. **Lancaster J.K.** A Review of the Influence of Environmental Humidity and Water on Friction, Lubrication and Wear // *Tribology International*. — 1990 (23), no. 6, 371—389. [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(90\)90053-R](https://doi.org/10.1016/0301-679X(90)90053-R)
8. **Liew W.Y.H.** Effect of Relative Humidity on the Unlubricated Wear of Metals // *Wear*. — 2006 (260), nos. 7-8, 720—727. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.04.011>
9. **Bregliozzi G., Ahmed S.U., Di Schino A., Kenny J.M., and Haefke H.** Friction and Wear Behavior of Austenitic Stainless Steel: Influence of Atmospheric Humidity, Load Range, and Grain Size // *Tribology Letters*. — 2004 (17), 697—704. <https://doi.org/10.1007/s11249-004-8075-z>
10. **Reichelt M. and Cappella B.** Influence of Relative Humidity on Wear of Self-Mated 100Cr6 Steel // *Wear*. — 2020 (450), 203239. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203239>
11. **Kumar A. and Mukhopadhyay A.** Investigation of Reciprocating Wear Characteristics of Carbon Steel at Varying Load, Relative Humidity, and Operating Temperature Using ANN-NSGA Methodology // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. — 2023, 09544089221149404. <https://doi.org/10.1177/09544089221149404>
12. **Chen L. and Qian L.** Role of Interfacial Water in Adhesion, Friction, and Wear — A Critical Review // *Friction*. — 2021 (9), 1—28. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0425-4>
13. **Xiao C., Shi P., Yan W., Chen L., Qian L., and Kim S.H.** Thickness and Structure of Adsorbed Water Layer and Effects on Adhesion and Friction at Nanoasperity Contact // *Colloids and Interfaces*. — 2019 (3), no. 3, 55. <https://doi.org/10.3390/colloids3030055>
14. **Rong K.J., Xiao Y.L., Shen M.X., Zhao H.P., Wang W.J., and Xiong G.Y.** Influence of Ambient Humidity on the Adhesion and Damage Behavior of Wheel–Rail Interface under Hot Weather Condition // *Wear*. — 2021 (486), 204091. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204091>
15. **Shengxin L., Jiaqiang L., Lin L., Shaopeng L., Lizhi H., Guangyao X., and Mingxue S.** Response Behavior of Damp-Warm Air to Adhesion and Damage of Wheel-Rail Interface at Different Ambient Temperatures // *Tribology*. — 2022 (43), no. 1, 30—38. doi: 10.16078/j.tribology.2022105

References

1. **Marchenko E.** About the nature of fracture of metal surfaces by friction. — Moscow: Nauka. — 1979 (in Russian)
2. **Goldstein R.V., Osipenko N.M.** The mechanism of movement in a medium of the intermediate layer between the contacting bodies // *Letters on Materials*. — 2015 (5), № 4, 414—419. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2015-4-414-419> (in Russian)
3. **Andronov V.V.** Mechanical systems with transformed dry friction // *Mech. Solids*. — 1988, № 1, 40—49 (in Russian)
4. **Miftakhova A.R., Chen Y.Y., and Horng J.H.** Effect of Rolling on the Friction Coefficient in Three-Body Contact // *Advances in Mechanical Engineering*. — 2019 (11), no. 8, 1687814019872303. <https://doi.org/10.1177/1687814019872303>
5. **Horng J.H., Osipenko N.M., Stepanov F.I., and Torskaya E.V.** Theoretical and Experimental Study of Changes in the Structure of the Intermediate Layer during Friction between Contacting Bodies // *Materials*. — 2021 (14), no. 19, 5689. <https://doi.org/10.3390/ma14195689>
6. **Klaffke D.** On the Repeatability of Friction and Wear Results and on the Influence of Humidity in Oscillating Sliding Tests of Steel-Steel Pairings // *Wear*. — 1995 (189), nos. 1-2, 117—121. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(95\)06672-1](https://doi.org/10.1016/0043-1648(95)06672-1)
7. **Lancaster J.K.** A Review of the Influence of Environmental Humidity and Water on Friction, Lubrication and Wear // *Tribology International*. — 1990 (23), no. 6, 371—389. [https://doi.org/10.1016/0301-679X\(90\)90053-R](https://doi.org/10.1016/0301-679X(90)90053-R)
8. **Liew W.Y.H.** Effect of Relative Humidity on the Unlubricated Wear of Metals // *Wear*. — 2006 (260), nos. 7-8, 720—727. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.04.011>
9. **Bregliozzi G., Ahmed S.U., Di Schino A.,**

- Kenny J.M., and Haefke H.** Friction and Wear Behavior of Austenitic Stainless Steel: Influence of Atmospheric Humidity, Load Range, and Grain Size // *Tribology Letters*. — 2004 (17), 697—704. <https://doi.org/10.1007/s11249-004-8075-z>
10. **Reichelt M. and Cappella B.** Influence of Relative Humidity on Wear of Self-Mated 100Cr6 Steel // *Wear*. — 2020 (450), 203239. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2020.203239>
11. **Kumar A. and Mukhopadhyay A.** Investigation of Reciprocating Wear Characteristics of Carbon Steel at Varying Load, Relative Humidity, and Operating Temperature Using ANN-NSGA Methodology // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*. — 2023, 09544089221149404. <https://doi.org/10.1177/09544089221149404>
12. **Chen L. and Qian L.** Role of Interfacial Water in Adhesion, Friction, and Wear — A Critical Review // *Friction*. — 2021 (9), 1—28. <https://doi.org/10.1007/s40544-020-0425-4>
13. **Xiao C., Shi P., Yan W., Chen L., Qian L., and Kim S.H.** Thickness and Structure of Adsorbed Water Layer and Effects on Adhesion and Friction at Nanoasperity Contact // *Colloids and Interfaces*. — 2019 (3), no. 3, 55. <https://doi.org/10.3390/colloids3030055>
14. **Rong K.J., Xiao Y.L., Shen M.X., Zhao H.P., Wang W.J., and Xiong G.Y.** Influence of Ambient Humidity on the Adhesion and Damage Behavior of Wheel–Rail Interface under Hot Weather Condition // *Wear*. — 2021 (486), 204091. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.204091>
15. **Shengxin L., Jiaqiang L., Lin L., Shaopeng L., Lizhi H., Guangyao X., and Mingxue S.** Response Behavior of Damp-Warm Air to Adhesion and Damage of Wheel–Rail Interface at Different Ambient Temperatures // *Tribology*. — 2022 (43), no. 1, 30—38. doi: 10.16078/j.tribology.2022105

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