

УДК 621.822.1: 621.892.27

## Мезомеханика фрикционного контакта в условиях малоциклового усталости

А.Х. Джанахмедов

Азербайджанская Национальная академия авиации,  
Мардакянский проспект, 30, г. Баку AZ1045, Азербайджан

Поступила в редакцию 30.12.2021.

После доработки 20.06.2022.

Принята к публикации 21.06.2022.

В рамках развиваемого мезомеханического подхода проведён анализ поведения контактирующих тел при термомеханическом нагружении в условиях малоциклового усталости и рассмотрен вопрос о природе формирования очагов триборазрушения в приповерхностном слое металла. Показано, что дальнейшее развитие трещины получают между циклами торможений в результате нагревания и остывания поверхностного слоя и образования температурного градиента, когда термические напряжения под поверхностным слоем достигают наивысших значений. Эти напряжения становятся пропорциональными температурной вспышке и вызывают сильный нагрев в тонких слоях поверхности трения, приводящий к образованию прижогов, термических пятен («птичий глаз») и очагов микро-трещин, при этом микроскопически наблюдаемый рельеф определяет область кванта разрушения. Сначала эти очаги микро-трещин развиваются по нормали в сторону поверхности трения, а затем, согласно бифуркационной диаграммы усталости металлов, область бифуркации расширяется по направлению касательной поверхности трения при переходах от макро- к мезо- и наномасштабному уровню разрушения. На основе развития фундаментальных представлений физической мезомеханики проведено обсуждение механизма самоорганизованного формирования на различных масштабных уровнях микро-структур, что может быть использовано при разработке сложных трибологических процессов.

**Ключевые слова:** фрикционный контакт, мезомеханика, малоцикловая усталость, пятна касания, очаг микро-трещин, птичий глаз, квант разрушения.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-310-317

---

**Адрес для переписки:**

А.Х. Джанахмедов  
Азербайджанская Национальная академия авиации,  
Мардакянский проспект, 30, г. Баку AZ1045, Азербайджан  
e-mail: [ajanahmadov@gmail.com](mailto:ajanahmadov@gmail.com)

**Address for correspondence:**

A.Kh. Janahmadov  
Azerbaijan National Aviation Academy,  
Mardakan ave., 30, Baku AZ1045, Azerbaijan  
e-mail: [ajanahmadov@gmail.com](mailto:ajanahmadov@gmail.com)

**Для цитирования:**

А.Х. Джанахмедов.  
Мезомеханика фрикционного контакта в условиях малоциклового усталости.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 3. – С. 310–317.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-310-317

**For citation:**

L.S. Malinov, V.L. Malinov, I.E. Malysheva, and D.V. Burova.  
[Mesomechanics of the Friction Contact in Low-Cycle Fatigue Conditions].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 3, pp. 310–317 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-310-317

# Mesomechanics of the Friction Contact in Low-Cycle Fatigue Conditions

A.Kh. Janahmadov

Azerbaijan National Aviation Academy,  
Mardakan ave., 30, Baku AZ1045, Azerbaijan

Received 30.12.2021.

Revised 20.06.2022.

Accepted 21.06.2022.

## Abstract

The behavior of contacting bodies under the thermomechanical loading in the conditions of low-cycle fatigue was analyzed within the developed mesomechanical framework, and the nature of formation of the tribo-destruction centers in the near-surface metal layer is examined. It is shown that the further development of cracks is obtained between the braking cycles as a result of heating and cooling of the surface layer and formation of the temperature gradient, when thermal stresses under the surface layer reach the highest values. These stresses become proportional to the flash point temperature and cause strong heating in the thin layers of the friction surface, leading to the formation of burns, thermal spots (“bird's eye”) and foci of microcracks, while the microscopically observed relief determines the region of the fatigue quantum. At first, these centers of microcracks develop along normal to the side of friction surface, and then, according to the bifurcation diagram of the metal fatigue, the bifurcation region expands in the direction of surface tangent of friction during transitions from macro- to meso- and nano-scale fracture level. Based on the development of fundamental concepts of physical mesomechanics, a discussion was held of the mechanism of self-organized formation at various scale levels of microstructures, which can be used in the development of complex tribological processes.

**Keywords:** frictional contact, mesomechanics, low-cycle fatigue, contact spots, microcrack focal point, bird's eye, fatigue quantum.

**DOI:**10.32864/0202-4977-2022-43-3-310-317

---

### Адрес для переписки:

А.Х. Джанахмедов  
Азербайджанская Национальная академия авиации,  
Мардакянский проспект, 30, г. Баку AZ1045, Азербайджан  
e-mail: [ajanahmadov@gmail.com](mailto:ajanahmadov@gmail.com)

### Для цитирования:

А.Х. Джанахмедов.  
Мезомеханика фрикционного контакта в условиях малоциклового усталости.  
Трение и износ.  
2022. – Т. 43, № 3. – С. 310–317.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-310-317

---

### Address for correspondence:

A.Kh. Janahmadov  
Azerbaijan National Aviation Academy,  
Mardakan ave., 30, Baku AZ1045, Azerbaijan  
e-mail: [ajanahmadov@gmail.com](mailto:ajanahmadov@gmail.com)

### For citation:

L.S. Malinov, V.L. Malinov, I.E. Malysheva, and D.V. Burova.  
[Mesomechanics of the Friction Contact in Low-Cycle Fatigue Conditions].  
*Trenie i Iznos*.  
2022, vol. 43, no. 3, pp. 310–317 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2022-43-3-310-317

## Список использованных источников

1. **Чичинадзе А.В., Браун Е.Д. и др.** Основы трибологии (трение, износ, смазка). — М.: Машиностроение. — 2001
2. **Крагельский И.В.** Трение и износ. — М.: Машиностроение. — 1968
3. **Горячева И.Г.** Механика фрикционного взаимодействия. — М.: Наука. — 2001
4. **Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В.** Структурные уровни деформации твердых тел. — Новосибирск: Наука. — 1985
5. **Панин В.Е.** Синергетические принципы физической мезомеханики // Физическая мезомеханика. — 2000 (3), № 6, 5—36
6. **Чичинадзе А.В., Матвеевский Р.М., Браун Е.Д.** Материалы в триботехнике нестационарных процессов. — М.: Наука. — 1986
7. **Джанахмедов А.Х.** Физико-стохастическое трибомоделирование. — Баку: ЕЛМ. — 1988
8. **Джанахмедов А.Х., Пирвердиев Е.С., Вольченко А.И. и др.** Узлы трения в машиностроении. — Баку: ЕЛМ. — 2018
9. **Шанявский А.А.** Самоорганизация наноструктур в металлах при сверхмногоциклового усталости // Физическая мезомеханика. — 2012 (15), № 5, 91—105
10. **Джанахмедов А.Х., Насирова М.М.** Мезомеханика металлополимерных пар фрикционных устройств в условиях малоциклового усталости // Трение и износ. — 2021 (42), № 3, 268—278
11. **Sakai T., Li W., Lian B., and Oguma N.** Review and New Analysis on Fatigue Crack Initiation Mechanisms of Interior Inclusion Induced Fracture of High Strength Steels in Very High Cycle Regime // Very High Cycle Fatigue. Proc. V Int. Conf. VHCF-5, June 28—30, 2011, Berlin, Germany / ed. by C. Berger and H.-J. Christ. — 2011, 19—26
12. **Mughrabi H.** On Multi-Stage Fatigue Life Diagrams and the Referant Life-Controlling Mechanisms in Ultrahigh-Cycle Fatigue // Fatigue Fract. Engng Mater. Struct. — 2002 (25), 755—764
13. **Shiozowa K., Morii Y., Nishino S., and Lu L.** Sub-surface Crack Initiation and Propagation Mechanism in High Strength Steel in a Very High Cycle Fatigue Regime // International Journal of Fatigue. — 2006 (28), no. 11, 1521—1532
14. **Janahmadov A.Kh.** Heat Failure of Friction Pairs (Brakes) Operating in Repeated — Short Regime // Friction and Wear. — 1996 (17), no. 4, 470—474
15. **Иванова В.С.** Концепция циклической вязкости разрушения // Циклическая вязкость разрушения металлов и сплавов. — М. — 1981, 5—19
16. **Janahmadov A.Kh.** Tribological Properties at Contact Interaction of Nanostructure Coatings // Friction and Wear. — 2020 (41), no. 1, 63—71
17. **Журков С.Н., Нарзуллаев Б.Н.** Временная зависимость прочности твердых тел // ЖТФ. — 1953 (23), № 10, 1677—1690
18. **Панин В.Е., Егорушкин В.Е.** Неравновесная

термодинамика деформируемого твердого тела как многоуровневой системы. Корпускулярно-волновой дуализм пластического сдвига // Физическая мезомеханика. — 2008 (11), № 2, 9—30

## References

1. **Chichinadze A.V., Braun E.D. i dr.** Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka). — M.: Mashinostroenie. — 2001 (in Russian)
2. **Kragelskij I.V.** Trenie i iznos. — M.: Mashinostroenie. — 1968 (in Russian)
3. **Goryacheva I.G.** Mekhanika frikcionnogo vzaimodejstviya. — M.: Nauka. — 2001 (in Russian)
4. **Panin V.E., Lihachev V.A., Grinyaev Y.V.** Strukturnye urovni deformacii tverdyh tel. — Novosibirsk: Nauka. — 1985 (in Russian)
5. **Panin V.E.** Sinergeticheskie principy fizicheskoy mezomekhaniki // Fizicheskaya mezomekhanika. — 2000 (3), № 6, 5—36 (in Russian)
6. **Chichinadze A.V., Matveevskij R.M., Braun E.D.** Materialy v tribotekhnike nestacionarnyh processov. — M.: Nauka. — 1986 (in Russian)
7. **Janahmadov A.Kh.** Fiziko-stohasticheskoe tribomodirovanie. — Baku: ELM. — 1988 (in Russian)
8. **Janahmadov A.Kh., Pirverdiev E.S., Volchenko A.I. i dr.** Uzly treniya v mashinostroenii. — Baku: ELM. — 2018 (in Russian)
9. **Shanyavskij A.A.** Samoorganizaciya nanostruktur v metallah pri sverhmnogociklovoj ustalosti // Fizicheskaya mezomekhanika. — 2012 (15), № 5, 91—105 (in Russian)
10. **Janahmadov A.Kh., Nasirova M.M.** Mezomehanika metallopolimernyh par frikcionnyh ustrojstv v usloviyah malociklovoj ustalosti // Trenie i iznos. — 2021 (42), № 3, 268—278 (in Russian)
11. **Sakai T., Li W., Lian B., and Oguma N.** Review and New Analysis on Fatigue Crack Initiation Mechanisms of Interior Inclusion Induced Fracture of High Strength Steels in Very High Cycle Regime // Very High Cycle Fatigue. Proc. V Int. Conf. VHCF-5, June 28—30, 2011, Berlin, Germany / ed. by C. Berger and H.-J. Christ. — 2011, 19—26
12. **Mughrabi H.** On Multi-Stage Fatigue Life Diagrams and the Referant Life-Controlling Mechanisms in Ultrahigh-Cycle Fatigue // Fatigue Fract. Engng Mater. Struct. — 2002 (25), 755—764
13. **Shiozowa K., Morii Y., Nishino S., and Lu L.** Sub-surface Crack Initiation and Propagation Mechanism in High Strength Steel in a Very High Cycle Fatigue Regime // International Journal of Fatigue. — 2006 (28), no. 11, 1521—1532
14. **Janahmadov A.Kh.** Heat Failure of Friction Pairs (Brakes) Operating in Repeated — Short Regime // Friction and Wear. — 1996 (17), no. 4, 470—474
15. **Ivanova V.S.** Konceptiya ciklicheskoj vyazkosti razrusheniya // Ciklicheskaya vyazkost razrusheniya metallov i splavov. — M. — 1981, 5—19 (in Russian)
16. **Janahmadov A.Kh.** Tribological Properties at Contact Interaction of Nanostructure Coatings // Friction and Wear. — 2020 (41), no. 1, 63—71
17. **Zhurkov S.N., Narzullaev B.N.** Vremennaya zavisimost'прочности tverdyh tel // ZTF. — 1953 (23), № 10, 1677—1690
18. **Panin V.E., Egorushkin V.E.** Neravnovesnaya

16. **Janahmadov A.Kh.** Tribological Properties at Contact Interaction of Nanostructure Coatings // Friction and Wear. — 2020 (**41**), no. 1, 63—71
17. **Zhurkov S.N., Narzullaev B.N.** Vremennaya zavisimost prochnosti tverdyh tel // ZHTF. — 1953 (**23**), no. 10, 1677—1690 (in Russian)
18. **Panin V.E., Egorushkin V.E.** Neravnovesnaya termodinamika deformiruемого tverdogo tela kak mnogourovnevoj sistemy. Korpuskulyarno-volnovej dualizm plasticheskogo sdviga // Fizicheskaya mezhmekhanika. — 2008 (**11**), № 2, 9—30 (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](mailto:FWJ@tut.by)