

УДК 621.822.1: 621.892.27

Синергетические принципы и закономерности разрушения материалов в условиях малоциклового усталости

А.Х. Джанахмедов

Азербайджанская Национальная академия авиации (АНАА),
Мардакянский пр., 30, г. Баку AZ1045, Азербайджан

Поступила в редакцию 02.05.2024.

После доработки 08.08.2024.

Принята к публикации 12.08.2024.

В работе рассматриваются синергетические принципы усталостного разрушения, позволяющие выделить фундаментальные механические характеристики материалов и оценить кинетику повреждаемости при разрушении металлов через критические параметры, контролирующие точки бифуркаций. Усталостное разрушение при этом рассматривается как кинетический процесс в зависимости от порядка поступления энергии циклического нагружения. На основе принципов физической мезомеханики и синергетики показано, что механические характеристики циклически нагруженного трибоконтакта являются важными параметрами материала, которые определяют уровень вносимой в каждом цикле нагружения энергии деформации на каждом масштабном уровне. Выявлено, что в трибоконтактах для практических целей необходимо добиваться, чтобы напряжение между покрытием и подложкой соответствовало предельной эластичности материалов, согласно критерию Гриффитса, а для вязких материалов принято во внимание другое значение критического напряжения — модификация Ирвина-Оравана. Приводятся критерии переходных режимов контакта, учитывая, что покрытие должно претерпевать изменения в полном согласии с подложкой, когда система деформируется под циклической нагрузкой. Результаты исследований при оценке механических характеристик материалов системы «покрытие — подложка» могут быть использованы в качестве диагностических признаков при анализе развития поврежденности трибоконтакта, работающих в условиях циклических усталостных нагружений.

Ключевые слова: синергетика, усталостное нагружение, трибоконтакт, развитие трещин, «покрытие — подложка», критерий переходного режима контакта.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-350-359

Адрес для переписки:

А.Х. Джанахмедов
Азербайджанская Национальная академия авиации (АНАА),
Мардакянский пр., 30, г. Баку AZ1045, Азербайджан
e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com

Для цитирования:

А.Х. Джанахмедов.
Синергетические принципы и закономерности разрушения материалов в условиях малоциклового усталости.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 4. — С. 350—359.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-350-359

Address for correspondence:

A.Kh. Janahmadov
Azerbaijan National Aviation Academy,
Mardakan ave., 30, Baku AZ1045, Azerbaijan
e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com

For citation:

A.Kh. Janahmadov.
[Synergetics Principles and Regularities Fracture of Materials under Low Cycle Fatigue Conditions].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 4, pp. 350—359 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-350-359

Synergetics Principles and Regularities Fracture of Materials under Low Cycle Fatigue Conditions

A.Kh. Janahmadov

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

Received 02.05.2024.

Revised 08.08.2024.

Accepted 12.08.2024.

Abstract

The work examines the synergetic principles of fatigue fracture, which make it possible to identify the fundamental mechanical characteristics of materials and evaluate the kinetics of damage during the destruction of metals through critical parameters that control bifurcation points. In this case, fatigue failure is considered as a kinetic process depending on the order of supply of cyclic loading energy. Based on the principles of physical mesomechanics and synergetics, it is shown that the mechanical characteristics of a cyclically loaded tribocontact are important material parameters that determine the level of strain energy introduced in each loading cycle at each scaling level. It has been revealed that for practical purposes in tribocontacts it is necessary to ensure that the tension between the coating and the substrate corresponds to the maximum elasticity of the materials, according to the Griffiths criterion, and for viscous materials, a different value of the critical stress is considered — the Irwin-Oravan modification. Criteria for transient contact modes are given, considering that the coating must undergo changes in full agreement with the substrate when the system deforms under cyclic load. The research results in assessing the mechanical characteristics of materials of the coating-substrate system can be used as diagnostic signs in analyzing the development of damage to tribocontacts operating under cyclic fatigue loading conditions.

Keywords: synergetics, fatigue loading, tribocontact, crack development, coating-substrate, criterion for the transition mode of contact.

DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-350-359

Адрес для переписки:

А.Х. Джанахмедов
Азербайджанская Национальная академия авиации (АНАА),
Мардакянский пр., 30, г. Баку AZ1045, Азербайджан
e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com

Для цитирования:

А.Х. Джанахмедов.
Синергетические принципы и закономерности разрушения
материалов в условиях малоциклового усталости.
Трение и износ.
2024. — Т. 45, № 4. — С. 350—359.
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-350-359

Address for correspondence:

A.Kh. Janahmadov
Azerbaijan National Aviation Academy,
Mardakan ave., 30, Baku AZ1045, Azerbaijan
e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com

For citation:

A.Kh. Janahmadov.
[Synergetics Principles and Regularities Fracture of Materials under
Low Cycle Fatigue Conditions].
Trenie i Iznos.
2024, vol. 45, no. 4, pp. 350—359 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2024-45-4-350-359

Список использованных источников

1. **Janahmadov A.Kh. and Javadov M.Y.** Synergetics and Fractals in Tribology. — USA. Switzerland: Springer. — 2016
2. **Панин В.Е.** Синергетические принципы физической мезомеханики // Физическая мезомеханика. — 2000 (3), № 6, 5—36
3. **Sih G.G. and Tang X.S.** Scaling of Volume Energy Density Function Reflecting Damage by Singularities at Macro-, Meso- and Microscopic Level // Theor Appl. Fract. Mech. — 2005 (43), no. 2, 211—231
4. **Janahmadov A.Kh.** Mesomechanics of the Frictional Contact in Low-Cycle Fatigue Conditions // Journal of Friction and Wear. — 2022 (43), no. 3, 203—208
5. **Шугуров А.Р., Панин А.В., Дмитриев А.И., Никонов А.Ю.** Закономерности многоуровневого разрушения покрытий Ti-Al-N в процессе одноосного растяжения // Физический Мезомеханика. — 2020 (23), № 5, 56—68
6. **Cyr E., Mohammadi M., Mishra R.K., and Inal K.** A Three Dimensional (3D) Thermo-Elasto-viscoplastic Constitutive Model for FCC Polycrystals // Int. J. Plasticity. — 2015 (70), 166—190
7. **Zhang T., Zhou K., and Chen Z.** Strain Rate Effect on Plastic Deformation of Nanocrystalline Copper Investigated by Molecular Dynamics // Materials Science and Engineering — 2015 (648), 23—30
8. **Lazzarin P., Berto F., Gomez F.J. and Zappalorto M.** Some Advantages Derived from the Use of the Strain Energy Density over a Control Volume in Fatigue Strength Assessments of Welded Joints // Int. J. Fatigue — 2008 (30), no. 8, 1345—1357
9. **Huang R., Prevost J., Huang Z., and Suo Z.** Channel-Cracking of Thin Films with the Extended Finite Element Method // Eng. Fract. Mech. — 2003 (70), 2513—2526
10. **Шанявский А.А.** Масштабные уровни процессов усталости металлов. // Физическая Мезомеханика. — 2014 (E17), № 6, 87—98
11. **Джанахмедов А.Х.** Мезомеханика фрикционного взаимодействия. — Баку: Apostrof-A. — 2022
12. **Basquin O.H.** The Exponential Law of Endurance Tests // Am. Soc. Test. Materials Proc. — 1910 (10), 625—630
13. **Lawn B.R., Evans A.G., and Marshall D.B.** Elastic/Plastic Indentation Damage in Ceramics: The Median/Radial Crack System // J. Am. Ceram. Soc. — 1980 (63), 574—581
14. **Pharr G.M.** Measurement of Mechanical Properties by Ultra-Low Load Indentation // Mater. Sci. Eng. — 1998 (A253), nos. 1–2, 151—159
15. **Leyland A. and Matthews A.** Optimization of Nanostructured Tribological Coatings // in Nanostructured Coating / ed. by A. Cavaleiro and J.Th.M. DeHosson. — Springer Science + Business Megua, LLC. — 2006, 511—538

References

1. **Janahmadov A.Kh. and Javadov M.Y.** Synergetics and Fractals in Tribology. — USA. Switzerland: Springer. — 2016
2. **Panin V.E.** Sinergeticheskie principy fizicheskoj mezomehaniki // Fizicheskaja mezomehanika. — 2000 (3), № 6, 5—36 (in Russian)
3. **Sih G.G. and Tang X.S.** Scaling of Volume Energy Density Function Reflecting Damage by Singularities at Macro-, Meso- and Microscopic Level // Theor Appl. Fract. Mech. — 2005 (43), no. 2, 211—231
4. **Janahmadov A.Kh.** Mesomechanics of the Frictional Contact in Low-Cycle Fatigue Conditions // Journal of Friction and Wear. — 2022 (43), no. 3, 203—208
5. **Shugurov A.R., Panin A.V., Dmitriev A.I., Nikonov A.Ju.** Zakonomernosti mnogourovnevoogo razrusheniya pokrytij Ti-Al-N v processe odnoosnogo rastjazhenija // Fizicheskij Mezomehanika. — 2020 (23), № 5, 56—68 (in Russian)
6. **Cyr E., Mohammadi M., Mishra R.K., and Inal K.** A Three Dimensional (3D) Thermo-Elasto-viscoplastic Constitutive Model for FCC Polycrystals // Int. J. Plasticity. — 2015 (70), 166—190
7. **Zhang T., Zhou K., and Chen Z.** Strain Rate Effect on Plastic Deformation of Nanocrystalline Copper Investigated by Molecular Dynamics // Materials Science and Engineering — 2015 (648), 23—30
8. **Lazzarin P., Berto F., Gomez F.J. and Zappalorto M.** Some Advantages Derived from the Use of the Strain Energy Density over a Control Volume in Fatigue Strength Assessments of Welded Joints // Int. J. Fatigue — 2008 (30), no. 8, 1345—1357
9. **Huang R., Prevost J., Huang Z., and Suo Z.** Channel-Cracking of Thin Films with the Extended Finite Element Method // Eng. Fract. Mech. — 2003 (70), 2513—2526
10. **Shanjavskij A.A.** Masshtabnye urovni processov ustalosti metallov // Fizicheskaja Mezomehanika. — 2014 (E17), № 6, 87—98 (in Russian)
11. **Janahmadov A.Kh.** Mezomehanika frikcionnogo vzaimodejstviya. — Baku: Apostrof-A. — 2022 (in Russian)
12. **Basquin O.H.** The Exponential Law of Endurance Tests // Am. Soc. Test. Materials Proc. — 1910 (10), 625—630
13. **Lawn B.R., Evans A.G., and Marshall D.B.** Elastic/Plastic Indentation Damage in Ceramics: The Median/Radial Crack System // J. Am. Ceram. Soc. — 1980 (63), 574—581
14. **Pharr G.M.** Measurement of Mechanical Properties by Ultra-Low Load Indentation // Mater. Sci. Eng. — 1998 (A253), nos. 1–2, 151—159
15. **Leyland A. and Matthews A.** Optimization of Nanostructured Tribological Coatings // in Nanostructured Tribological Coatings // in Nanostructured Coating / ed. by A. Cavaleiro and J.Th.M. DeHosson. — Springer Science + Business Megua, LLC. — 2006, 511—538

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