

УДК 620.178.162.42; 620.178.167.3; 620.178.751

## Микромеханическая модель межфазного трения в бетоне между структурообразующими слоями с учетом влияния циклического нагружения

Минг Вен

Факультет архитектурного проектирования, Наньчанский технологический институт,  
г. Наньчан, 330044, Китай

Поступила в редакцию 21.05.2025.

Механизмы деформации материалов, определяющие прочность бетона в строительных конструкциях, сложны. Параметры трения зависят от материала и конструкции, которые определяются физическими характеристиками бетонных композитов. Зона перехода между структурными элементами материала подвергается ограниченной деформации, вызывая изменение физических свойств в поверхностных слоях. Это явление выявляет неоднородность материала из-за действия внутренних и внешних факторов, которые в конечном итоге определяют его структурные характеристики.

В исследовании используется усовершенствованный алгоритм метода множителей переменного направления для систематического получения характеристик и значений корреляции для различных образцов материалов. Благодаря внедрению факторов ограничений и протоколов количественной оценки неопределённости методология эффективно уменьшает количество предварительных предположений, учитывая при этом переменные функциональные связи. Анализ микромеханического моделирования совместно с экспериментальной проверкой, подтверждает техническую осуществимость и инновационное превосходство предлагаемого подхода. Сравнительные оценки в условиях циклического нагружения выявляют критические значения в трёх направлениях: потенциал сопротивления при циклическом нагружении, фрикционное поведение при различных реакциях скорости нагрузки и многопараметрические улучшения физических свойств. Разработанная методика демонстрирует превосходное улучшение характеристик бетона по сравнению с традиционными методами улучшения прочности. Она также эффективно ограничивает расширение повреждений от напряжений и усиливает устойчивость и безопасность фундаментной конструкции в условиях циклического нагружения.

**Ключевые слова:** бетон, межслойное поведение, микромоделирование, трибология, циклические испытания.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-3-250-260

---

**Адрес для переписки:**

Минг Вен  
Факультет архитектурного проектирования, Наньчанский  
технологический институт,  
г. Наньчан, 330044, Китай  
e-mail: 2020037@nut.edu.cn

---

**Address for correspondence:**

Ming Wen  
School of Architectural Engineering, Nanchang Institute of  
Technology,  
Nanchang, Jiangxi, 330044, China  
e-mail: 2020037@nut.edu.cn

---

**Для цитирования:**

Ming Wen.  
Микромеханическая модель межфазного трения в бетоне между  
структурообразующими слоями с учетом влияния циклического  
нагружения.  
Трение и износ.  
2025. — Т. 46, № 3. — С. 250—260.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-3-250-260

---

**For citation:**

Ming Wen.  
[Microscopic Model of Interfacial Friction Properties of Concrete  
between Building Layers Based on Cyclic Coupling Effect].  
Trenie i Iznos.  
2025, vol. 46, no. 3, pp. 250—260 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-3-250-260

# Microscopic Model of Interfacial Friction Properties of Concrete between Building Layers Based on Cyclic Coupling Effect

Ming Wen

*School of Architectural Engineering, Nanchang Institute of Technology,  
Nanchang, Jiangxi, 330044, China*

*Received 21.05.2025.*

## Abstract

The material deformation mechanisms governing concrete strength in building structures exhibit inherent complexity. Due to the physical characteristics of concrete composites, frictional parameters demonstrate inter-dependent relationships during material-structure interactions rather than maintaining complete independence. The interfacial transition zone between materials and substrate structures undergoes constrained deformation under parent material confinement, inducing modified physical properties in near-interface regions. This phenomenon reveals material heterogeneity through differentiated responses to intrinsic and extrinsic factors, where the relative dominance of these influences ultimately dictates structural performance metrics.

The aim of the work is to construct a microscopic model to investigate the frictional properties of inter-layer interfacial concrete in building structures under cyclic coupling effect. The main particular emphasis focuses on elucidating the mechanical behavior of materials subjected to cyclic loading conditions.

This investigation employs an enhanced Alternating Direction Method of Multipliers (ADMM) algorithm to systematically extract characteristic features and correlation attributes from diverse material specimens. Through the implementation of penalty factor constraints and uncertainty quantification protocols, the methodology effectively reduces prerequisite assumptions while distinguishing variable functional relationships. Microstructural modeling analyses integrated with experimental validation confirm the technical feasibility and innovation superiority of the proposed approach. Comparative evaluations under cyclic coupling conditions reveal critical advancements in three dimensions: resistance potential under load cycling, frictional behavior under varying loading rate responses, and multi-parametric physical property enhancements. The developed technique has demonstrated superior concrete performance enhancement compared to conventional strength improvement methods. It also effectively restrains the expansion of stress damage and strengthens the stability and safety of the foundation structure under the condition of cyclic coupling.

**Keywords:** concrete, interlaminar behavior, micromodeling, tribology, cyclic coupling experiment.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-3-250-260

---

### Адрес для переписки:

Минг Вен  
Факультет архитектурного проектирования, Наньчанский  
технологический институт,  
г. Наньчан, 330044, Китай  
e-mail: 2020037@nut.edu.cn

### Для цитирования:

Ming Wen.  
Микромеханическая модель межфазного трения в бетоне между  
структурообразующими слоями с учетом влияния циклического  
нагружения.  
Трение и износ.  
2025. — Т. 46, № 3. — С. 250—260.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-3-250-260

---

### Address for correspondence:

Ming Wen  
School of Architectural Engineering, Nanchang Institute of  
Technology,  
Nanchang, Jiangxi, 330044, China  
e-mail: 2020037@nut.edu.cn

### For citation:

Ming Wen.  
[Microscopic Model of Interfacial Friction Properties of Concrete  
between Building Layers Based on Cyclic Coupling Effect].  
*Trenie i Iznos*.  
2025, vol. 46, no. 3, pp. 250—260 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2025-46-3-250-260

## References

1. **Zhang L., Wang Y., and Li X.** Micromechanical Modeling of Interfacial Friction in Layered Concrete under Cyclic Loading // *Cement and Concrete Research*. — 2023 (165), 107089. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107089>
2. **Johnson A.R., Smith B.E., and Müller H.** Cyclic Shear Behavior of Concrete-to-Concrete Interfaces with Surface Roughness Characterization // *Construction and Building Materials*. — 2022 (342), 127831. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127831>
3. **Chen G., and Ožbolt J.** 3D Mesoscale Simulation of Friction Degradation at Concrete Interfaces under Repeated Loading // *Engineering Fracture Mechanics*. — 2023 (284), 109245. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2023.109245>
4. **Lee S.-H., Park K.-T., and Darwin D.** Effects of Nano-Silica on Interfacial Bond Strength in Recycled Aggregate Concrete // *Materials*. — 2022 (15), no. 8, 2876. <https://doi.org/10.3390/ma15082876>
5. **Alberto F. and Carol I.** A thermodynamic Framework for Cyclic Friction at Concrete Joints // *International Journal of Solids and Structures*. — 2024 (292), 112667. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2024.112667>
6. **Wang J., et al.** X-Ray CT-Based Quantification of Interfacial Damage Evolution in Layered Concrete // *Cement and Concrete Composites*. — 2023 (135), 104833. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2022.104833>
7. **Brake N.A. and Hrynyk T.D.** Experimental Study of High-Cycle Friction Wear at Precast Concrete Interfaces // *ACI Materials Journal*. — 2022 (119), no. 3, 45—56. <https://doi.org/10.14359/51734421>
8. **Zhang W. and Šavija B.** Machine Learning-Assisted Prediction of Interfacial Friction Coefficients in Concrete // *Materials & Design*. — 2024 (237), 112559. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2024.112559>
9. **Ibrahim M. and Denarié E.** Influence of Curing Conditions on Interfacial Micro-Mechanical Properties // *Materials and Structures*. — 2023 (56), no. 1, 1—18. <https://doi.org/10.1617/s11527-023-02145-5>
10. **Li H., et al.** Mesoscale Modeling of Concrete Interface Debonding under Cyclic Shear // *Computers & Structures*. — 2022 (263), 106738. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2022.106738>
11. **González L.F. and Meschke G.** A Multiscale Model for Fatigue-Induced Roughness Evolution at Concrete Interfaces // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. — 2023 (124), no. 5, 1123—1145. <https://doi.org/10.1002/nme.7153>
12. **Wu C. and Le J.-L.** Statistical Analysis of Interfacial Friction Variability in Construction Joints // *Journal of Materials in Civil Engineering*. — 2024 (36), no. 2, 04024012. <https://doi.org/10.1061/JMCEE7.MTENG-16605>
13. **Petersen D.E., et al.** In-situ SEM Observation of Micro-Crack Propagation at Concrete Interfaces // *Materials Characterization*. — 2023 (195), 112520. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2022.112520>
14. **Zhao Y. and Kaufmann W.** Cyclic Friction-Slip Model for Seismic-Resistant Concrete Joints // *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. — 2022 (51), no. 8, 1942—1960. <https://doi.org/10.1002/eqe.3621>
15. **Kim J. and Reda Taha M.M.** Nanoindentation Mapping of Interfacial Transition Zones under Cyclic Loading // *Journal of Nanomechanics and Micromechanics*. — 2024 (14), no. 1, 04023025. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NM.2153-5477.0000124](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NM.2153-5477.0000124)
16. **Xu S., et al.** DEM Simulation of Particle-Scale Friction Mechanisms in Concrete Interfaces // *Powder Technology*. — 2023 (413), 118021. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.118021>
17. **Rossi P. and Toutlemonde F.** Fatigue Damage Accumulation at Concrete-Concrete Interfaces: Experimental and Numerical Study // *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. — 2022 (45), no. 7, 1899—1914. <https://doi.org/10.1111/ffe.13692>
18. **Yang K. and Kaneko T.** Laser Profilometry-Based Roughness Quantification for Friction Prediction // *Construction and Building Materials*. — 2024 (411), 134456. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134456>
19. **Bian H., and Pellenq R.J.-M.** Molecular Dynamics Study of Calcium Silicate Hydrate at Sheared Interfaces // *ACS Applied Materials & Interfaces*. — 2023 (15), no. 12, 15872—15883. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c22841>
20. **Nogueira C.L. and Sánchez F.** Effect of Fiber Reinforcement on Interfacial Wear Resistance // *Composite Structures*. — 2022 (301), 116194. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116194>
21. **Liu R. and Stark A.** Digital Image Correlation Analysis of Interfacial Slip Displacement Fields // *Experimental Mechanics*. — 2025 (65), no. 1, 123—138. <https://doi.org/10.1007/s11340-024-01038-y>
22. **Zhang Q., et al.** Interface Shear Strength Prediction Using Acoustic Emission Data // *NDT & E International*. — 2023 (133), 102756. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2022.102756>
23. **Huang L. and Beushausen H.** Humidity Effects on Interfacial Friction Degradation // *Materials and Corrosion*. — 2024 (75), no. 3, 412—425. <https://doi.org/10.1002/maco.202313789>
24. **Maekawa K. and Ishida T.** Multi-Physics Modeling of Corroded Interfaces under Cyclic Slip // *Journal of Advanced Concrete Technology*. — 2022 (20), no. 4, 215—230. <https://doi.org/10.3151/jact.20.215>
25. **Zhu J. and Bolander J.E.** Lattice Discrete Particle Modeling of Interface Wear // *Engineering Computations*. — 2023 (40), no. 3, 678—694. <https://doi.org/10.1108/EC-07-2022-0443>
26. **Sun Y. and Schlangen E.** Self-Healing Microcapsules for Interfacial Crack Repair // *Cement and Concrete Composites*. — 2024, no. 138, 104955. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.104955>
27. **Feng D. and Cusatis G.** Cohesive Zone Model with Fatigue Degradation for Concrete Interfaces // *Journal of Engineering Mechanics*. — 2022 (148), no. 9, 04022067.

- [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0002145](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0002145)
28. **Wang X. and van Mier J.G.M.** Fractal Analysis of Interface Roughness Evolution // *Fractals*. — 2023 (**31**), no. 2, 2350012. <https://doi.org/10.1142/S0218348X23500122>
29. **Cao M. and Li V.C.** Strain-Hardening Cementitious Composites for Enhanced Interface Performance // *Composites Part B: Engineering*, — 2024 no. 271, 111156. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.111156>
30. **Gao P. and Bentz D.P.** Microstructural Changes at Stressed Interfaces Revealed by Synchrotron Radiation // *Materials Characterization*. — 2022 (**184**), 111658. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2021.111658>

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)