

УДК 620.178.7

Моделирование микроконтактных взаимодействий при скольжении твердых частиц вдоль радиальных лопастей турбомашин

Б. Крупиц¹, В.Г. Барсуков², М.А. Илькевич²

¹Белостокской технологической университет, (Politechnika Białostocka),
Ul. Ojca Tarasiuka, 2, Kleosin 16-001, Польша (Polska)

²Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
ул. Ожешко, 22, г. Гродно 230023, Беларусь

Поступила в редакцию 27.09.2021.

После доработки 11.04.2022.

Принята к публикации 15.04.2022.

Контактные напряжения при скольжении дисперсных материалов по поверхности рабочих лопастей турбомашин определяют скорость эрозионного изнашивания оборудования. В статье рассмотрена механика фрикционного скользящего контакта частицы с радиальной лопастью ротора. Показано, что под действием центробежной силы и силы трения скорость скольжения частицы нарастает и асимптотически приближается в серединной и концевой части лопасти к значению линейной функции, зависящей от коэффициента трения частицы о лопасть и угловой скорости вращения ротора. Получены аналитические зависимости для определения скорости скольжения частицы, а также силы Кориолиса, прижимающей ее к лопасти. На примере ускоренного движения частиц кварца вдоль стальной лопасти проанализировано влияние диаметра частиц, угловой скорости вращения ротора и коэффициента трения частиц о лопасть на величину возникающих контактных напряжений и их распределение по длине лопасти. Результаты численного моделирования показали, контактные напряжения интенсивно растут с увеличением угловой скорости вращения ротора. При этом для роторов быстрого вращения центробежных ускорителей ($\omega = 400\text{—}500\text{ с}^{-1}$) на расстоянии 400—500 мм от оси вращения контактные напряжения превышают 700 МПа, что выше пределов текучести высокопрочных конструкционных сталей и неизбежно вызывает эрозионное разрушение поверхностных слоёв лопасти. Результаты исследований могут быть использованы в инженерной практике при проектировании центробежных устройств на этапе выбора материала лопасти, а также в учебном процессе при подготовке инженерных кадров для проектирования и эксплуатации центробежных технологических машин.

Ключевые слова: турбомашинa, лопасть, твёрдая частица, сила Кориолиса, контактные напряжения.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-2-141-149

Адрес для переписки:

В.Г. Барсуков
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
ул. Ожешко, 22, г. Гродно 230023, Беларусь
e-mail: v.g.barsukov@grsu.by

Address for correspondence:

V.G. Barsukov
Yanka Kupala state university of Grodno
Ozheshko st., 22, Grodno 230023, Belarus
e-mail: v.g.barsukov@grsu.by

Для цитирования:

Б. Крупиц, В.Г. Барсуков, М.А. Илькевич.
Моделирование микроконтактных взаимодействий при
скольжении твердых частиц вдоль радиальных лопастей
турбомашин.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 2. — С. 141—149.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-2-141-149

For citation:

B. Krupicz, V.G. Barsukov, and M.A. Ilkevich.
[Simulation of Micro Contact Interactions in Sliding of Solid Particles
Along the Radial Blades of Turbo Machines].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 2, pp. 141—149 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-2-141-149

Simulation of Micro Contact Interactions in Sliding of Solid Particles Along the Radial Blades of Turbo Machines

B. Krupicz¹, V.G. Barsukov², and M.A. Ilkevich²

¹Bialystok University of Technology,
Ojca Tarasiuka Str., 2, Kleosin, 16-001, Poland

²Yanka Kupala state university of Grodno
Ozheshko st., 22, Grodno 230023, Belarus

Received 27.09.2021.

Revised 11.04.2022.

Accepted 15.04.2022.

Abstract

Contact stresses during sliding of dispersed materials over the surface of turbo machine rotor blades are the most important factor that determines the rate of erosional wear of equipment. The article deals with the mechanics of the frictional sliding contact of a particle with a radial rotor blade. It is shown that under the action of the centrifugal force and the friction force, the sliding velocity of the particle increases intensively and asymptotically approaches in the middle and end parts of the blade to a linear function depending on the coefficient of friction of the particle against the blade and the angular speed of rotation of the rotor. Convenient for engineering calculations, analytical dependences are obtained to determine this velocity as well as the Coriolis` force pressing the particle to the blade. With regard to spherical particles, a formula is obtained for the computational assessment and modeling of the arising contact stresses. Using as example the quartz particles accelerated motion along a steel blade, the influence of the particle diameter, the angular velocity of the rotor, and the friction coefficient of the particles on the blade on the emerging contact stresses magnitude and their distribution along the blade length is analyzed. The results of numerical simulation showed that the contact stresses grow intensively with an increase of the rotor angular velocity. At the same time, for rotors of high-speed centrifugal accelerators ($\omega = 400\text{—}500\text{ s}^{-1}$) at a distance of 400—500 mm from the axis of rotation, contact stresses exceed 700 MPa, which is higher than the yield strength of high-strength structural steels and inevitably causes erosion destruction of the blade surface layers. The research results can be used in engineering practice in the design of centrifugal devices at the stage of the material for the blade choosing, as well as in the educational process in the training of engineering personnel for the design and operation of centrifugal technological machines

Keywords: turbo machine, blade, solid particle, Coriolis` force, contact stresses.

DOI:10.32864/0202-4977-2022-43-2-141-149

Адрес для переписки:

В.Г. Барсуков
Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,
ул. Ожешко, 22, г. Гродно 230023, Беларусь
e-mail: v.g.barsukov@grsu.by

address for correspondence:

V.G. Barsukov
Yanka Kupala State University of Grodno
Ozheshko st., 22, Grodno 230023, Belarus
e-mail: v.g.barsukov@grsu.by

Для цитирования:

Б. Крупиц, В.Г. Барсуков, М.А. Илькевич.
Моделирование микроконтактных взаимодействий при
скольжении твердых частиц вдоль радиальных лопастей
турбомашин.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 2. — С. 141—149.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-2-141-149

For citation:

B. Krupicz, V.G. Barsukov, and M.A. Ilkevich.
[Simulation of Micro Contact Interactions in Sliding of Solid Particles
Along the Radial Blades of Turbo Machines].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 2, pp. 141—149 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-2-141-149

Список использованных источников

1. **Chmielniak T.** Erozja pyłowa w maszynach przepływowych. Przegląd Zagadnień // Zagadnienia eksploatacji maszyn. — 1988 (76), № 4, 339—458
2. **Левданский А.Э., Левданский Э.И.** Высокоэффективные проточные процессы и аппараты. — Минск: БГТУ. — 2001
3. **Vaitekhovich P.E., Grebenchuk P.S., and Tabolich A.V.** Motion of Grindable Material on the Surface of the Accelerator of a Centrifugal-Impact Mill // Chemical and Petroleum Engineering. — 2015 (51), nos. 7—8, 452—455
4. **Vaitekhovich P.E., Borovskii D.N., Tabolich A.V., and Grebenchuk P.S.** Determination of the Basic Parameters of Impact Interaction of Abrasive Particles Against the Blades of the Rotor Accelerator of a Centrifugal Mill // Chemical and Petroleum Engineering — 2018 (54), no. 3, 12—15
5. **Hejwowski T., Weroński A.** Problematyka doboru materiałów na elementy pracujące w warunkach zużycia // Zagadnienia eksploatacji maszyn. — 2000 (121), № 1, 29
6. **Барсуков В.Г., Лежава А.Г.** Сравнительный анализ сил сопротивления движению грубодисперсных частиц вдоль радиальных лопастей турбомашин // Вестник Витебского государственного технологического университета. — 2021 (40), № 1, 22—31. <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-1-22-31>
7. **Липанов А.М. Д.К. Жилов.** Математическое моделирование динамики движения частиц в установках по измельчению центробежно-ударного типа. Часть I. Математическая модель // Химическая физика и мезоскопия. — 2014 (16), № 1, 82—87
8. **Свириденко А.И., Чижик С.А., Петроковец М.И.** Механика дискретного фрикционного контакта. — Минск: Наука и техника. — 1990
9. **Мышкин Н.К., Петроковец М.И.** Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. — М.: ФИЗМАТЛИТ. — 2007
10. **Мышкин Н.К., Горячева И.Г., Григорьев А.Я., Ковалева И.Н., Маховская Ю.Ю.** Контактное взаимодействие в прецизионных трибосистемах // Трение и износ. — 2020 (41), № 3, 263—271. DOI: 10.3103/s 1068366620030113

References

1. **Chmielniak T.** Erozja pyłowa w maszynach przepływowych. Przegląd Zagadnień // Zagadnienia eksploatacji maszyn. — 1988 (76), № 4, 339—458
2. **Levdanskiy A.E., Levdanskiy E.I.** Vysokoeffektivnyye protochnyye protsessy i apparaty. — Minsk: BGTU. — 2001 (in Russian)
3. **Vaitekhovich P.E., Grebenchuk P.S., and Tabolich A.V.** Motion of Grindable Material on the Surface of the Accelerator of a Centrifugal-Impact Mill // Chemical and Petroleum Engineering — 2015 (51), nos. 7—8, 452—455
4. **Vaitekhovich P.E., Borovskii D.N., Tabolich A.V., Grebenchuk P.S.** Determination of the basic parameters of impact interaction of abrasive particles against the blades of the rotor accelerator of a centrifugal mill // Chemical and Petroleum Engineering. — 2018 (54), no. 3, 12—15
5. **Hejwowski T., Weroński A.** Problematyka doboru materiałów na elementy pracujące w warunkach zużycia // Zagadnienia eksploatacji maszyn. — 2000 (121), № 1, 29
6. **Barsukov V.G., Lezhava A.G.** Sravnitel'nyy analiz sil soprotivleniya dvizheniyu grubodispersnykh chastits vdol' radial'nykh lopastey turbomashin // Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. — 2021 (40), № 1, 22—31 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2021-1-22-31>
7. **Lipanov A.M. D.K. Zhilov.** Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki dvizheniya chastits v ustanovkakh po izmel'cheniyu tsentrobezhno-udarnogo tipa. Chast' I. Matematicheskaya model' // Khimicheskaya fizika i mezoskopiya. — 2014 (16), № 1, 82—87 (in Russian)
8. **Sviridenok A.I., Chizhik S.A., Petrokovets M.I.** Mekhanika diskretnogo friktsionnogo kontakta. — Minsk: Nauka i tekhnika. — 1990 (in Russian)
9. **Myshkin N.K., Petrokovets M.I.** Friction, lubrication, wear. Physical foundations and technical applications of tribology. — Moscow: FIZMATLIT. — 2007 (in Russian)
10. **Myshkin N.K., Goryacheva I.G., Grigoriev A.Ya., Kovaleva I.N., Makhovskaya Yu.Yu.** Contact Interaction in Precision Tribosystems // Journal of Friction and Wear. — 2020 (41), no. 3, 263—271. DOI: 10.3103/s 1068366620030113

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