

УДК 539.622

Критическое скольжение в подшипниках качения при гидродинамическом трении

Я.М. Клебанов, А.Д. Москалик, А.М. Бражникова

Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара 443100, Россия

Поступила в редакцию 25.02.2022.

После доработки 21.08.2022.

Принята к публикации 22.08.2022.

Исследованы условия возникновения заедания при гидродинамическом контакте деталей в условиях трения качения. Для этого использована известная модель трения, основанная на обобщённой зависимости Эйринга и позволяющая учитывать явление саморазогрева масляной плёнки. Возможность корректного описания кривых трения с помощью этой модели подтверждена сопоставлением с опубликованными экспериментальными данными. Получены условия, при которых в термической зоне кривых трения, несмотря на уменьшение коэффициента трения, продолжается увеличение мощности тепловыделения. Показано, что при работе подшипников в термической зоне возникает опасность заедания подшипников. Введено понятие критического относительного скольжения, являющегося границей термической зоны кривых трения, и исследована его зависимость от контактного давления и температуры для полиальфаолефинового масла в диапазоне температур 40–100 °С и масла марки МН-7,5у в диапазоне 60–140 °С. Показано, что критическое относительное скольжение увеличивается при уменьшении контактного давления в подшипнике, а также при возрастании температуры масляного слоя. Сделан вывод, что условия контакта между роликами и внутренним кольцом в большей степени способствуют росту мощности тепловыделения, чем условия контакта между роликами и наружным кольцом. Это указывает на более высокую опасность заедания на внутреннем кольце, чем на наружном, что подтверждается статистикой отказов подшипников качения. Для предотвращения заедания в подшипниках при их проектировании необходимо обеспечивать запас по отношению к критическому скольжению.

Ключевые слова: роликовый подшипник, относительное скольжение, саморазогрев, кривые трения, термическая зона.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-387-396

Адрес для переписки:

Я.М. Клебанов
Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара 443100, Россия
e-mail: jklebanov@mail.ru

Address for correspondence:

I.M. Klebanov
Samara State Technical University,
Molodogvardeyskaya str., 244, Samara 443100, Russia
e-mail: jklebanov@mail.ru

Для цитирования:

Я.М. Клебанов, А.Д. Москалик, А.М. Бражникова.
Критическое скольжение в подшипниках качения при гидродинамическом трении.
Трение и износ.
2022. – Т. 43, № 4. – С. 387–396.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-387-396

For citation:

I.M. Klebanov, A.D. Moskalik, and A.M. Brazhnikova.
[Critical Sliding in Rolling Bearings under Hydrodynamic Friction].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 4, pp. 387–396 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-387-396

Critical Sliding in Rolling Bearings under Hydrodynamic Friction

I.M. Klebanov, A.D. Moskalik, and A.M. Brazhnikova

Samara State Technical University,
Molodogvardeyskaya str., 244, Samara 443100, Russia

Received 25.02.20221.

Revised 21.08.2022.

Accepted 22.08.2022.

Abstract

The conditions for the occurrence of seizing during hydrodynamic contact of parts at rolling friction conditions are investigated. For this, the known friction model based on the generalized Eyring equation and taking into account the phenomenon of oil film self-heating was used. The possibility of a correct description of friction curves using this model is confirmed by comparison with published experimental data. Conditions are obtained under which, in the thermal zone of friction curves, despite a decrease in the friction coefficient, an increase in friction power loss continues. It is shown that the risk of bearing seizing occurs when they operate in a thermal zone. The concept of critical slide-roll ratio, which is the boundary of the thermal zone of friction curves, is introduced, and its dependence on contact pressure and temperature is studied for poly-alphaolefin oil in the temperature range of 40—100 °C and MN-7.5u oil in the range of 60—140 °C. It is shown that the critical slide-roll ratio increases with a decrease in the contact pressure in the bearing, as well as with an increase in the oil temperature. It is concluded that the conditions of contact between the rollers and the inner ring contribute more to the increase in friction power loss than the conditions of contact between the rollers and the outer ring. This indicates a higher risk of seizing on the inner ring than on the outer ring, which is confirmed by the statistics of rolling bearing failures. To prevent seizing in bearings during their design, it is necessary to provide a margin in relation to critical sliding.

Keywords: roller bearing, relative sliding, self-heating, friction curves, thermal zone.

DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-387-396

Адрес для переписки:

Я.М. Клебанов
Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, г. Самара 443100, Россия
e-mail: jklebanov@mail.ru

Для цитирования:

Я.М. Клебанов, А.Д. Москалик, А.М. Бражникова.
Критическое скольжение в подшипниках качения при гидродинамическом трении.
Трение и износ.
2022. — Т. 43, № 4. — С. 387—396.
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-387-396

Address for correspondence:

I.M. Klebanov
Samara State Technical University,
Molodogvardeyskaya str., 244, Samara 443100, Russia
e-mail: jklebanov@mail.ru

For citation:

I.M. Klebanov, A.D. Moskalik, and A.M. Brazhnikova.
[Critical Sliding in Rolling Bearings under Hydrodynamic Friction].
Trenie i Iznos.
2022, vol. 43, no. 4, pp. 387—396 (in Russian).
DOI: 10.32864/0202-4977-2022-43-4-387-396

Список использованных источников

1. **Ган К.Г.** Методика расчета минимально допустимой нагрузки в скоростных малонагруженных подшипниках качения // Вестник МГТУ, серия Машиностроение. — 1994, № 1, 32—38
2. **Muraki M.** EHL Traction and Related Rheological Parameters under High Temperature Conditions // Journal of Synthetic Lubrication. — 1992 (9), no. 1, 29—43
3. **Muraki M.** Molecular Structure of Synthetic Hydrocarbon Oils and Their Rheological Properties Governing Traction Characteristics // Tribology International. — 1987 (20), no. 6, 347—354
4. **Zhang J., Tan A., and Spikes H.** Effect of Base Oil Structure on Elastohydrodynamic Friction // Tribology Letters. — 2017 (65), no. 1, 1—24
5. **Vengudusamy B., Enekes C., and Spallek R.** EHD Friction Properties of ISO VG20 Gear Oils with Smooth and Rough Surfaces // Friction. — 2020 (8), no. 1, 164—181
6. **Archard J.F. and Baglin K.P.** Nondimensional Presentation of Frictional Tractions in Elastohydrodynamic Lubrication — Part I: Fully Flooded Conditions // ASME. Journal of Lubrication Technology. — 1975 (97), no. 3, 398—410
7. **Баскин Э.М.** Уравнения долговечности силового подшипника при различных режимах смазки // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 1993, № 5, 57—64
8. **Иванов Б.А.** Оценка противозадирной стойкости подшипниковых узлов качения при высоких частотах вращения // Динамика и прочность механических систем. — Пермь: PPI. — 1982, 3—6
9. **Morales-Espejel G.E. and Gabelli A.** Rolling Bearing Seizure and Sliding Effects on Fatigue Life // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. — 2019 (233), no. 2, 339—354
10. **LaFountain A.R., Johnston G.J., and Spikes H.A.** The Elastohydrodynamic Traction of Synthetic Base Oil Blends // Tribology Transactions. — 2001 (44), no. 4, 648—656
11. **Spikes H., and Jie Z.** History, Origins and Prediction of Elastohydrodynamic Friction // Tribology Letters. — 2014. (56), 1—25
12. **Spikes H.** Basics of EHL for Practical Application // Lubrication Science. — 2015 (27), no. 1, 45—67
13. **Королев А.А., Королев А.В.** Влияние геометрических параметров рабочих поверхностей шарикоподшипника на его работоспособность // Трение и износ. — 2015 (36), № 2, 244—248
14. **Балыкин В.Б. и др.** Теория и проектирование опор роторов авиационных ГТД. — Самара: Изд. СГАУ им. Ак. С.П. Королёва. — 2007

References

1. **Gan K.G.** Metodika rascheta minimal'no dopustimoy nagruzki v skorostnykh malonagruzhennykh podshipnikakh kacheniya // Vestnik MGTU, seriya Mashinostroyeniye. — 1994, no. 1, pp. 32—38 (in Russian)
2. **Muraki M.** EHL Traction and Related Rheological Parameters under High Temperature Conditions // Journal of Synthetic Lubrication. — 1992 (9), no.1, 29—43
3. **Muraki M.** Molecular Structure of Synthetic Hydrocarbon Oils and Their Rheological Properties Governing Traction Characteristics // Tribology International. — 1987 (20), no. 6, 347—354
4. **Zhang J., Tan A., and Spikes H.** Effect of Base Oil Structure on Elastohydrodynamic Friction // Tribology Letters. — 2017 (65), no. 1, 1—24
5. **Vengudusamy B., Enekes C., and Spallek R.** EHD Friction Properties of ISO VG 320 Gear Oils with Smooth and Rough Surfaces // Friction. — 2020 (8), no. 1, 164—181
6. **Archard J.F. and Baglin K.P.** Nondimensional Presentation of Frictional Tractions in Elastohydrodynamic Lubrication — Part I: Fully Flooded Conditions // ASME. Journal of Lubrication Technology. — 1975 (97), no. 3, 398—410
7. **Baskin E.M.** Uravneniya dolgovechnosti silovogo podshipnika pri razlichnykh rezhimakh smazki // Problemy mashinostroyeniya i nadezhnosti mashin. — 1993, № 5, 57—64 (in Russian)
8. **Ivanov B.A.** Otsenka protivozadirnoy stoykosti podshipnikovyx uzlov kacheniya pri vysokikh chastotakh vrashcheniya // Dinamika i prochnost' mekhanicheskikh sistem. — Perm: PPI Publishing House. — 1982, 3—6 (in Russian)
9. **Morales-Espejel G.E. and Gabelli A.** Rolling Bearing Seizure and Sliding Effects on Fatigue Life // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. — 2019 (233), no. 2, 339—354
10. **LaFountain A.R., Johnston G.J., and Spikes H.A.** The Elastohydrodynamic Traction of Synthetic Base Oil Blends // Tribology Transactions. — 2001 (44), no. 4, 648—656
11. **Spikes H. and Jie Z.** History, Origins and Prediction of Elastohydrodynamic Friction // Tribology Letters. — 2014 (56), 1—25
12. **Spikes H.** Basics of EHL for Practical Application // Lubrication Science. — 2015 (27), no. 1, 45—67
13. **Korolev A.A. and Korolev A.V.** Influence of Geometrical Parameters of the Working Surface of the Bearing Raceway on Its Operability // Journal of Friction and Wear — 2015 (36), no. 2, 189—192
14. **Balyakin V.B. et al.** Teoriya i proyektirovaniye opor rotorov aviatsionnykh GTD. — Samara: Izd. SGAU im. Ak. S.P. Koroleva. — 2007 (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