

ИМИТАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ПРИ ОДНОКРАТНОМ ТОРМОЖЕНИИ

Федотов Е.С., Литвинов А.Е., Стародуб М.В.

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар

Ключевые слова: тормозная система, тормозной механизм, тормозная колодка, износ, тормозной диск, пара трения.

Аннотация. Проблемы, возникающие при торможении, возможно частично решить при помощи программного моделирования и анализа конструкции, при этом, попутно решая проблемы оптимального производства и высокой технологичности продукции. Данный процесс представляет собой определение параметров износа тормозной колодки при заранее известных условия испытания. В данной статье рассматривается анализ износа тормозных колодок при однократном торможении.

SIMULATION ANALYSIS OF BRAKE PAD WEAR DURING SINGLE BRAKING

Fedotov E.S., Litvinov A.E., Starodub M.V.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: brake system, brake mechanism, brake pad, wear, brake disc, friction pair.

Abstract. The problems arising during braking can be partially solved using software modeling and design analysis, while simultaneously solving the problems of optimal production and high manufacturability of products. This process is the determination of the parameters of the brake pad wear under a previously known test condition. This article discusses the analysis of brake pad wear during single braking.

Программное обеспечение ANSYS имеет специальную команду для управления расчетом глубины износа.

Если предположить, что приращение глубины износа на площади микроэлемента ΔA равно dh в момент времени dt , то мгновенное приращение объема износа можно выразить в виде [1-4]:

$$dV = \Delta A dh, \quad (1)$$

где ΔA – площадь контакта тормозного диска и колодки.

Подставляя значения формулы (3), получаем следующее выражение:

$$\frac{dh}{dL} = K \cdot \frac{p}{H}, \quad (2)$$

где p – контактное давление в зоне микроэлемента ΔA , $p = P_t / \Delta A$.

Поскольку относительное сопротивление скольжения L является интегралом скорости от времени v_t , то уравнение (2) можно записать как:

$$dh = K \cdot \frac{p \cdot v}{H} dt, \quad (3)$$

где независимые переменные p и v постоянны.

Уравнение (3) может быть добавлено в программу моделирования путем компиляции метода расчета глубины износа.

Процесс износа тормозной колодки представляет собой процесс истирания [3,4]. Результаты износа на поверхности тормозной колодки при различных ступенях представлены на рисунке 1. На износ тормозных колодок в основном влияет сила трения. В соответствии с направлением трения на рис. 1 (а) левый край тормозной колодки определяется как вход для трения, а правый край – как выход.

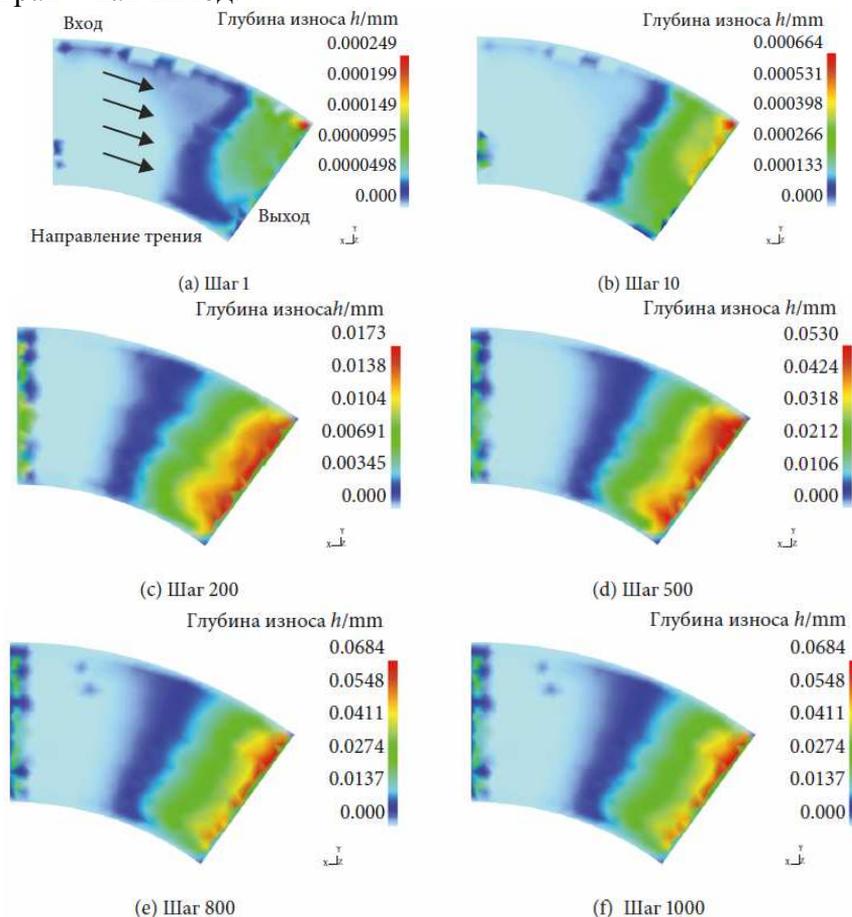


Рис. 1. Нефограмма глубины износа тормозных колодок

По нефограмме износа тормозной колодки видно, что распределение износа в процессе торможения неравномерно, а площадь износа изменяется со временем. На протяжении всего процесса износа существует значительная разница в степени износа между входом трения и выходом. Оба конца кромки тормозной колодки серьезно подвержены растягивающему напряжению и сжимающему напряжению на входе и выходе соответственно [2]. Из-за

вращательного движения тормозного диска существует линейная разница скоростей в радиальном направлении тормозного диска. Внешний край тормозной колодки имеет большую линейную скорость и износ, в то время как внутренний износ тормозной колодки слабый [5].

Точки P_1 - P_{15} , равномерно распределенные на тормозной колодке, (рис. 2), и моделируемая глубина износа строится в соответствии с результатами моделирования. Кривые глубины износа рисуются так, как показано на рисунке 3. Глубина износа представлена точками P_1 - P_{15} . Износ входа тормозной колодки состоит из двух частей [6,7]. Одна часть износа вызвана экструзией, вызванной относительным перемещением тормозного диска и тормозной колодки. Тормозная колодка и диск прижимаются друг к другу, так что поверхность тормозного диска не является плоской из-за деформации сетчатого элемента. Другая часть – это влияние трения на шероховатую поверхность. На поверхности тормозного диска будут наблюдаться зазубрины.

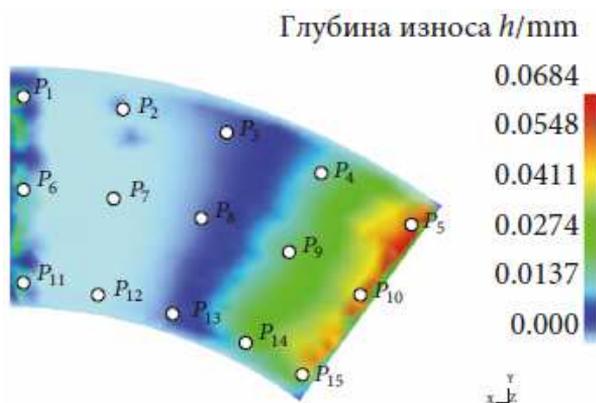


Рис. 2. Нефограмма отслеживания точки тормозной колодки

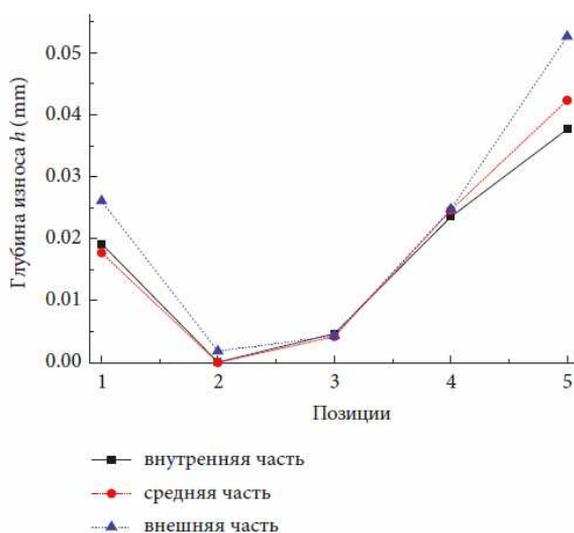


Рис. 3. Диаграмма кривых износа точек слежения за точками тормозных колодок

Зазубрины сжимаются во время относительного движения, в результате чего материал подвергается сдвиговой деформации и износу. Сочетание этих двух параметров усугубляет деформацию материала. Давление контакта на границе раздела увеличивается, а локальная температура повышается, так что износ становится значительным. Глубина износа на входе трения относительно большая. Поскольку промежуточная область находится далеко от края и прижимной силы, деформация материала не очевидна, а теплота трения низка, и поэтому степень износа невелика. В средней зоне тормозной колодки глубина износа сначала медленно увеличивается, а затем резко возрастает при изменении температуры и давления [6,8]. Из-за теплопроводности тормозного диска температура выхода трения тормозной колодки высока, а износ адгезивного материала незначителен. Фрикционный материал воздействует так, что поверхность трения становится шероховатой [9].

Сильный износ тормозной колодки во время торможения происходит только в локальных зонах. На рисунке 4 показан трехмерный профиль износа тормозной колодки на 1000-м шаге. Как показано на рисунке 4 (а), тормозная колодка имеет серьезные повреждения на краю фрикционного выхода; в это время максимальная глубина износа составляет 0,0684 мм. Область сильного износа составляет небольшую часть общей площади тормозной колодки, как и глубина износа. Рельеф поверхности явно не меняется. Для четкого анализа изменения рельефа поверхности выбирается половина максимальной глубины износа 0,0137 мм, мезоскопический размер глубины износа 0,005 мм и 0,001 мм для ограничения максимального износа. А топография поверхности выводится и наблюдается с разных уровней износа в виде половины максимальной глубины износа 0,0137 мм, мезоскопического размера глубины износа 0,005 мм и 0,001 мм. Когда максимальная глубина износа уменьшается до 0,0137 мм, глубина износа фрикционного выхода тормозной колодки явно изменяется. Это происходит потому, что на выходе нет защиты материала. Этот материал легко стирается и исчезает во время торможения, вызывая сильный износ, как показано на рисунках 4 (b). Чем ближе он находится к выходу, тем больше степень износа. Из рисунков 4(c) и 4(d) видно, что шероховатость поверхности большая от выхода до промежуточной области, а локальный износ сильно выражен на выходе.

Параметры торможения являются ключом к обеспечению эффективности торможения [2]. Правильный выбор параметров торможения не только экономит энергию, но и экономит материальные потери, вызванные износом [10]. Поэтому необходимо изучить влияние тормозных параметров на износ тормозных колодок. Тормозная нагрузка и начальная скорость торможения играют важную роль в износе тормозных колодок в процессе торможения [2]. Метод одной переменной используется для сравнения износа тормозных колодок в различных условиях работы.

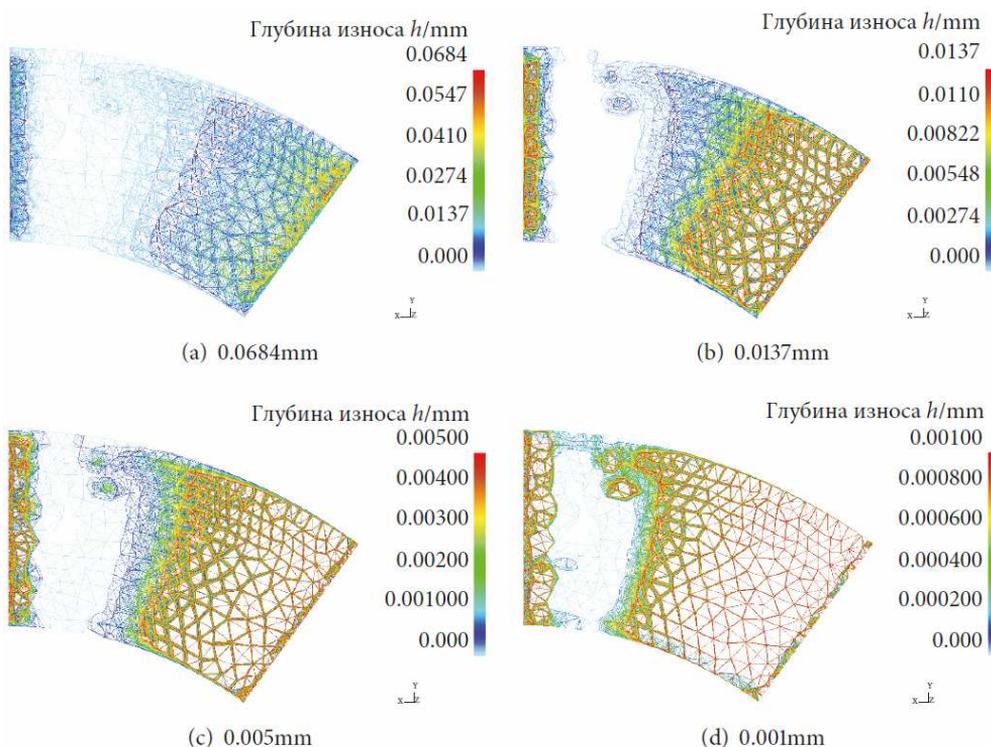


Рис. 4. Нефограмма профиля износа тормозной колодки при различных максимальных глубинах износа

Выводы. Износ тормозной колодки является кумулятивным процессом, и глубины износа тормозной колодки изменяется сперва быстро, а затем медленно. Фрикционные области входного и выходного краев тормозной колодки выдавливаются во время торможения, и сильнее изнашиваются по сравнению с серединой тормозной колодки.

Список литературы

1. Поляков П.А. Классификация систем охлаждения фрикционных узлов и критерии оценки/ П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Е.С. Федотов, Р.С. Тагиев, А.А. Голиков, М.Б. Москаленко // Современные проблемы теории машин. 2019. № 8. С. 72-76.
2. Тагиев Р.С. Исследование напряжений во фрикционном узле дисково-колодочном тормозе / Р.С. Тагиев, П.А. Поляков, Е.С. Федотов, А.Н. Дурапов // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. 2019. С. 747-752.
3. Поляков П.А. Математическое моделирование удельного давления тормозного механизма / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, А.А. Голиков, В.О. Виниченко // Мехатроника, автоматика и робототехника. 2020. №5. С. 20-25.
4. Федотов Е.С. Изучение процесса термопередачи в паре трения дисково-колодочного тормоза / Е.С. Федотов, П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, Н.Е. Сукач, Н.В. Слесарев // Механика, оборудование, материалы и технологии: электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. 2019. С. 773-778.
5. Федотов Е.С. Моделирование температурного поля дискового тормоза / Е.С. Федотов, Н.А. Вольченко, П.А. Поляков, Р.С. Тагиев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО "Кубанский государственный

- технологический университет": «Механика, оборудование, материалы и технологии». – Краснодар, 2019. – С.758-763.
6. Поляков П.А. Разработка тепловой модели тормозного диска фрикционного узла / П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, М.Б. Москаленко // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. №1 (150). С. 64-76.
 7. Поляков П.А. Разработка математической модели фрикционного узла дисково-колодочного тормоза автомобиля / П.А. Поляков, Р.С. Тагиев, В.А. Мищенко, А.А. Голиков // Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии». 2019. С. 245-251.
 8. Поляков П.А. Разработка термомеханических моделей дисково-колодочных тормозов автомобилей / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.Ф. Скляренко, А.А. Голиков // Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии». 2019. С. 262-268.
 9. Поляков П.А. Оценка влияния жесткости на удельное давление в паре трения тормозного механизма / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.А. Полякова, Н.А. Задаянчук, А.А. Голиков // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте. Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием. 2020. С. 154-158.
 10. Тагиев Р.С. Углеродные тормоза / Р.С. Тагиев, Р.П. Башук // Механика, оборудование, материалы и технологии. Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию ФГБОУ ВО "Кубанский государственный технологический университет". 2018. С. 725-728.

References

1. Polyakov P.A. Classification of systems of cooling of the friction nodes and the evaluation criteria / P.A. Polyakov, E.A. Polyakova, E.S. Fedotov, R.S. Tagiyev, A.A. Golikov, M.B. Moskalenko // Modern problems of theory of machines. 2019. No. 8. P. 72-76.
2. Tagiev R.S. investigation of the stress in the friction node, the disk-drum brake / R.S. Tagiev, P.A. Polyakov, E.S. Fedotov, A.N. Turapov // Mechanics, equipment, materials and technology: electronic collection of scientific articles on materials of international scientific-practical conference. 2019. P. 747-752.
3. Polyakov P.A. Mathematical modeling of the specific pressure of the braking mechanism / P.A. Polyakov, E.S. Fedotov, E.A. Polyakova, A.A. Golikov, V.O. Vinichenko // Mechatronics, automation and robotics. 2020. No. 5. P. 20-25.
4. Fedotov E.S. Learning thermoperiodic in a pair of friction disk-drum brake / E.S. Fedotov, P.A. Polyakov, R.S. Tagiev, N.E. Sukach, N.V. Slesarev // Mechanics, equipment, materials and technology: electronic collection of scientific articles on materials of international scientific-practical conference. 2019. P. 773-778.
5. Fedotov E.S. Modeling of the disc brake temperature field / E.S. Fedotov, N.A. Volchenko, P.A. Polyakov, R.S. Tagiev // Materials of the International Scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Technological University: "Mechanics, equipment, materials and technologies". – Krasnodar, 2019. – P. 758-763.
6. Polyakov P.A. Development of the thermal model of the brake disc of the friction unit / P.A. Polyakov, R.S. Tagiev, E.S. Fedotov, E.A. Polyakova, M.B. Moskalenko // Bulletin of Irkutsk state technical university. 2020. Vol. 24. No. 1(150). P. 64-76.
7. Polyakov P.A. Development of mathematical model of friction node disc drum brake car / P.A. Polyakov, R.S. Tagiyev, V.A. Mishchenko, A.A. Golikov // Collection of scientific articles on materials of international scientific-practical conference "Mechanics, equipment, materials and technologies". 2019. P. 245-251.
8. Polyakov P.A. Development of thermomechanical models of disc-pad brakes of cars / P.A. Polyakov, E.S. Fedotov, E.F. Sklyarenko, A.A. Golikov // Collection of scientific articles on the materials of the international scientific and practical conference "Mechanics, equipment, materials and technologies". 2019. P. 262-268.

9. Polyakov P.A. evaluation of the effect of stiffness on contact pressure in friction pair of the brake mechanism / P.A. Polyakov, E.S. Fedotov, E.A. Polyakova, N.A. Zadayanchuk, A.A. Golikov // Innovation technical solutions engineering and transport. Collection of articles of the VI All-Russian Scientific and Technical Conference for young scientists and students with international participation. 2020. P. 154-158.
10. Tagiev R.S. Carbon brakes / R.S. Tagiev, R.P. Bashuk // Mechanics, equipment, materials and technologies. Collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Kuban State Technological University. 2018. P. 725-728.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Федотов Евгений Сергеевич – старший преподаватель, avtoru2009@mail.ru	Fedotov Evgeny Sergeevich – senior lecturer, avtoru2009@mail.ru
Литвинов Артем Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, artstyleone@mail.ru	Litvinov Artem Evgenievich – doctor of technical sciences, professor, artstyleone@mail.ru
Стародуб Марина Владимировна – ассистент, starodub.m@mail.ru	Starodub Marina Vladimirovna – assistant, starodub.m@mail.ru
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия	Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Получена 30.11.2020