

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ НА ИЗНОС ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК

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 проектировании тормозных механизмов, можно частично решить при помощи программного моделирования и анализа различных конструкции, при этом, необходимо решать проблемы оптимального производства и высокой технологичности производства деталей тормозной системы. Данный процесс может представлять собой определение параметров работы тормозных колодки при различных режимах работы. В данной статье рассматривается влияние начальной скорости торможения на износ тормозных колодок.

INFLUENCE OF INITIAL BRAKING SPEED ON BRAKE PAD WEAR

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. Problems arising in the design of brake mechanisms can be partially solved using software modeling and analysis of various designs, while it is necessary to solve the problems of optimal production and high manufacturability of production of parts of the brake system. This process can represent the determination of the parameters of the brake pads under various operating modes. This article discusses the effect of initial braking speed on brake pad wear.

В программном обеспечении ANSYS имеется специальная команда для управления расчетом величины износа[1-3].

Если рассмотреть, что приращение глубины износа на площади микроэлемента ΔA равно dh в момент времени dt , то мгновенное приращение объемного износа можно выразить в виде[2-4]:

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

где ΔA – площадь контакта тормозного диска и колодки.

Преобразовав формулу (1) с учетом контактного давления в зоне микроэлемента, получаем следующее выражение:

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

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

Исходя из того, что относительное сопротивление скольжения L является интегралом скорости от времени v , то уравнение (2) можно представить в виде:

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

где независимые переменные p и v постоянны.

Данное уравнение (3) можно добавить в программу моделирования путем компиляции метода расчета глубины износа [5,6].

Дальнейшее моделирование можно провести для определения влияния начальной скорости на износ тормозных колодок. Таким образом, в условиях начальной скорости торможения 1000 об/мин и коэффициента трения контактной поверхности 0,3 анализируется износ тормозных колодок с тормозными нагрузками 13000 Н, 17000 Н и 21000 Н методом конечных элементов. Зависимость температурного градиента тормозной колодки в конце торможения показана на рисунке 1. По результатам моделирования можно получить максимальную глубину износа соответствующих ступеней. На рисунке 2 показано количество шагов моделирования в виде горизонталей, а максимальная глубина износа - в виде вертикальной оси, а также кривые сравнения максимальной глубины износа тормозных колодок при различных тормозных нагрузках.

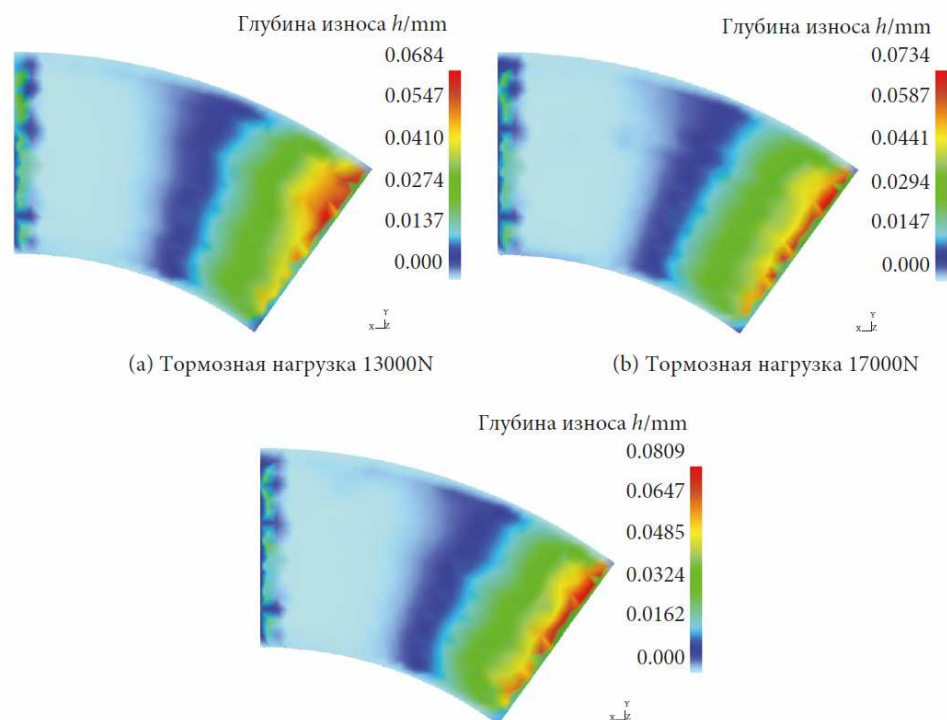


Рис. 1. Зависимость температурного градиента износа тормозных колодок при различных тормозных нагрузках

Распределение износа тормозной колодки при различных нагрузках в основном одинаково. Максимальная глубина износа, при числе шагов моделирования 1000 и тормозной нагрузке-13000 Н составила $6,4 \cdot 10^{-2}$ мм. При нагрузке 17000 Н глубина износа составила $7,34 \cdot 10^{-2}$ мм, а при 21000 Н – $8,09 \cdot 10^{-2}$ мм. Максимальный износ как правило происходит в местах максимального возвышения пиков шероховатости поверхности трения, а количество точек контакта и размер каждой точки контакта увеличиваются с нагрузкой[7]. Поэтому на трение оказывает влияние нагрузка через размер контактной зоны и деформационное состояние. Таким образом, трение влияет на износ материала. Увеличение тормозной нагрузки непосредственно увеличивает контактное давление пары трения[8]. Площадь контакта становится большой,

фрикционный материал деформируется и тем самым увеличивается износ тормозной колодки. На рисунке 2 показано изменение величины износа тормозных колодок при различных тормозных нагрузках. На 200-ом шаге ранней стадии износа тормозной колодки износ находится в стадии резкого подъема, и влияние тормозной нагрузки на износ невелико. На более поздней стадии износа от 200-го шага до 1000-го шага наклон кривой износа остается в основном тем же самым, и накопление износа неуклонно увеличивается. Однако максимальная величина износа между различными нагрузками различна, и накопление разницы в износе становится большим.

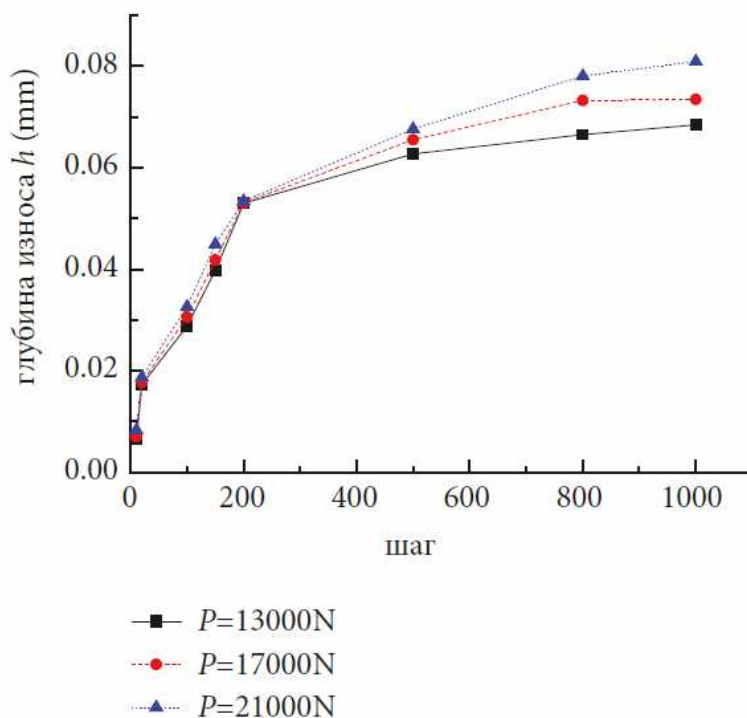


Рис. 2. Диаграмма глубины износа тормозных колодок при различных тормозных нагрузках

В ходе торможения планировалась тормозная нагрузка 17000 Н и коэффициент трения 0,3. По сравнению со степенью износа тормозных колодок при начальных скоростях торможения 800 об/мин, 1000 об/мин и 1200 об/мин соответственно, тенденция распределения показана на рисунке 3. Для того чтобы точно проанализировать изменение износа тормозной колодки необходимо получить результаты моделирования износа тормозной колодки с помощью постобработки [5-7]. Кривые сравнения максимальной глубины износа тормозной колодки при различных начальных скоростях торможения приведены на рисунке 4.

На рисунке 3 показано распределение износа тормозной колодки при различных начальных скоростях торможения на 1000-м шаге. Максимальная глубина износа при начальной скорости торможения 800 об/мин составила $6,71 \cdot 10^{-2}$ мм, а радиальный износ тормозной колодки неравномерно переходит из области внутреннего круга в область внешнего круга. При начальной скорости торможения 1000 об/мин максимальная глубина износа составила $7,34 \cdot 10^{-2}$ мм. При начальной скорости торможения 1200 об/мин радиальный износ тормозной колодки изменяется равномерно, а максимальная глубина износа составила

$8,25 \cdot 10^{-2}$ мм. Как правило, нагрев поверхностного слоя, деформация, химические изменения и износ вызваны относительной скоростью скольжения. Относительная скорость скольжения влияет на силу трения через температурный режим тормозной колодки [9]. Изменение нагрева и температуры может изменить свойства поверхностного слоя и условия его разрушения при трении [10]. Поэтому степень износа тормозной колодки разная. Начальная скорость торможения определяет относительную скорость скольжения в процессе торможения. Большая относительная скорость скольжения увеличивает силу выдавливания и силу сдвига шероховатой поверхности при трении, что приводит к увеличению деформации, величины напряжений и более серьезному износу тормозной колодки.

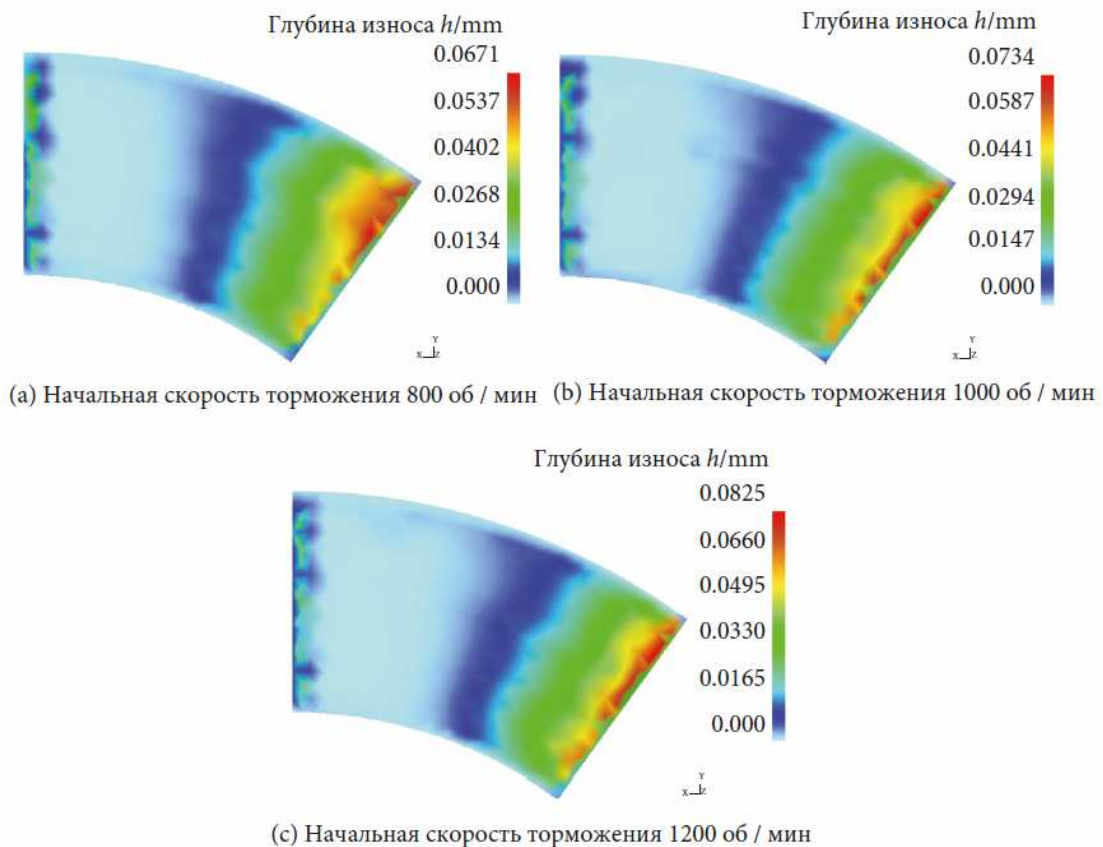


Рис. 3. Зависимость температурного градиента износа тормозных колодок при различных начальных скоростях торможения

На рисунке 4 горизонтальная ось представляет собой число шагов моделирования, а вертикальная ось – максимальную величину износа. Кривые износа показывают увеличение степени максимального износа тормозной колодки. Максимальная глубина износа при начальной скорости торможения 1200 об/мин обычно больше, чем при начальной скорости торможения 1000 об/мин во время торможения. Максимальная глубина износа при начальной скорости торможения 1000 об/мин также больше, чем при начальной скорости торможения 800 об/мин. Разница в максимальной глубине износа этих трех условий относительно невелика на ранней стадии износа. Разница в износе велика на более поздней стадии износа, и значение разницы в основном одно и то же.

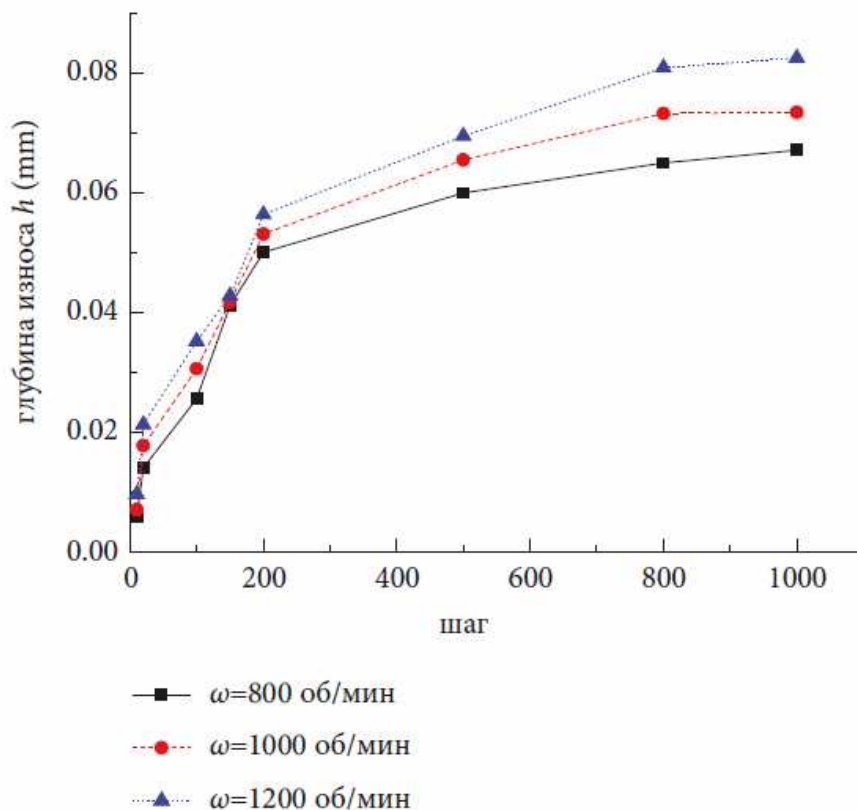


Рис. 4. Диаграмма глубины износа тормозных колодок при различных начальных скоростях торможения

Выводы. В ходе проведения данного моделирования можно сделать следующие выводы, что нагрузка непосредственно влияет на износ тормозных колодок. Увеличение тормозной нагрузки усугубляет износ тормозной колодки. При увеличении тормозной нагрузки с 13000 Н до 17000 Н максимальная глубина износа тормозной колодки составляет $8,09 \cdot 10^{-2}$ мм. Относительная скорость скольжения определяется начальной скоростью торможения. При увеличении начальной скорости торможения нагрев, возникающий при трении, ускоряет износ тормозных колодок [11]. Тормозить при высокой начальной скорости торможения трудно, а износ тормозных колодок очень серьезен. При тормозной нагрузке 21000 Н и начальной скорости торможения 1200 об/мин, то максимальная глубина износа составила $8,25 \cdot 10^{-2}$ мм. Таким образом, при различных видах износа выделяется достаточно большое количество теплоты, тем самым ухудшая фрикционные свойства колодок [12,13].

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Федотов Е.С. Изучение процесса теплопередачи 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.
4. 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.
 5. 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.
 6. 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.
 7. Поляков П.А. Разработка термомеханических моделей дисково-колодочных тормозов автомобилей / П.А. Поляков, Е.С. Федотов, Е.Ф. Складенко, А.А. Голиков // *Сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии»*. 2019. С. 262-268.
 8. 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.
 9. 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.
 10. Поляков П.А. Разработка критериев для оценки теплового равновесного состояния фрикционных узлов тормозных устройств / П.А. Поляков, Е.А. Полякова, А.А. Голиков, Р.С. Тагиев, Н.А. Задаянчук // *Фундаментальные основы механики*. 2020. № 5. С. 51-55.
 11. Поляков П.А. Управление ресурсом дисково-колодочного тормоза / П.А. Поляков, Е.А. Полякова, Р.С. Тагиев, А.А. Голиков, М.Б. Москаленко // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. 2020. № 5. С. 79-86.
 12. Тагиев Р.С. Оценка напряжений во фрикционном узле дисково-колодочного тормоза / Р.С. Тагиев, В.О. Сизов // *Мехатроника, автоматика и робототехника*. 2020. № 5. С. 42-48.
 13. Тагиев Р.С. Обзор технологий для лучшего отвода тепла в тормозных дисках. В сборнике: *Инновации технических решений в машиностроении и транспорте / Р.С. Тагиев, А.Н. Дурапов // Сборник статей VI Всероссийской научно-технической конференции для молодых ученых и студентов с международным участием*. 2020. С. 179-181.

Сведения об авторах:

Федотов Евгений Сергеевич – старший преподаватель кафедры АиМ, КубГТУ, г.Краснодар;

Литвинов Артем Евгеньевич – д.т.н., доцент, профессор кафедры НТиМ, КубГТУ, г. Краснодар;

Стародуб Марина Владимировна – ассистент кафедры ТНиГ, КубГТУ, г.Краснодар.