УДК 629.113.5.62-592

К.О.Кравченко
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розглядається питання стабілізації температури фрикційного контакту «гальмівна колодка – диск». Наводяться наслідки підвищення температури взаємодіючих поверхонь. Пропонуються конструкційні рішення та способи по охолодженню фрикційних елементів гальм. Розглядається конструкція гальмової колодки з елементами, які утворюють активне газоподібне середовище при підвищенні температури в контакті. Приводиться оцінка ефективності подачі стисненого повітря в контакт пар тертя.

Ключові слова: *охолодження контакту, гальмівна колодка, диск, порофори*
Рис 5. Літ 9.

Е.А.Кравченко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Рассматривается вопрос стабилизации температуры фрикционного контакта «тормозная колодка - диск». Приводятся последствия повышения температуры взаимодействующих поверхностей. Предлагаются конструкционные решения и способы по охлаждению фрикционных элементов тормозов. Рассматривается конструкция тормозной колодки с элементами образующими активную газообразную среду при повышении температуры в контакте. Приводится оценка эффективности подачи сжатого воздуха в контакт пар трения.

Ключевые слова: *охлаждение контакта, тормозная колодка, диск, порофоры.*

K.Kravchenko

IDENTIFY WAYS TO IMPROVE THE COOLING EFFICIENCY OF BRAKES VEHICLES

The question of the temperature stabilization of frictional contact "brake pads - disc." Effects of temperature increases are interacting surfaces. Offers design solutions and methods for cooling the brakes friction elements. Consider making a brake shoe elements forming an active gaseous medium at elevated temperatures in contact. The evaluation of the efficiency of the compressed air in contact friction pairs.

Keywords: *contact cooling, brake shoes, disc, blowing agents.*

Вступ. Гальмівна система призначена для керованої зміни швидкості транспортного засобу, його зупинки, а також утримання на місці тривалий час за рахунок використання гальмівної сили між колесом і опорною поверхнею. При гальмуванні, внаслідок сил тертя , контакт колодки з диском нагрівається і досягає високих температур. Підвищення температури дисків призводить до аксіального перекосу (екрануванню) диска, а температурна деформації в близько реберної області обов'язково викликає хвилястість або горбистість поверхні тертя диска, тим самим збільшуючи тиск на фрикційні накладки і створюючи локальні температурні плями на поверхні тертя диска. Це приводить до зміни, в гіршу сторону, як фрикційних властивостей, так і міцнісного зв'язку із структурними змінами в матеріалах. При тривалому впливі високої температури можливі появи термічних тріщин з виходом їх на зовнішню грань. У таких умовах тертя відбувається швидкий тепловий знос фрикційних поверхонь. У зв'язку з цим, при проектуванні і експлуатації транспортних засобів актуальним питанням є охолодження фрикційних елементів поверхонь тертя.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В даний час для охолодження пар тертя існує велика різноманітність конструкцій гальмівних елементів. До найбільш поширених відноситься вентильований диск, який складається з двох тонких дисків, об'єднаних середнім шаром, так званих «каналів» або « ходів». Завдяки цим каналам, повітря від маточини, рухається по каналах, ефективно охолоджуючи диск (рис. 1, а). При такому охолодженні зростає

©К.О.Кравченко

ефективність гальм, навіть при інтенсивних навантаженнях. Гальмівний шлях автомобіля з вентильованими гальмівними дисками, зменшується на 15 %. При використанні вентильованих гальмівних дисків колодки транспортного засобу служать довше (до 20 %) [1].

а) б) в)

Рис. 1. **Схема роботи вентильованого гальмівного диска**

В автомобілебудуванні відомо технічне рішення, яке представлене на рис 1, б [2]. По додатково встановлених трубах, які є частиною переднього бампера та з'єднані з карбоновими напрямними, передається потік повітря для постійного охолодження гальмівних дисків.

У патенті № 2165040RU [3] пропонується на роторі гальмівного диска поперечні охолоджуючі вентиляційні ребра виконувати з опорними радіальними виступами і розташовувати вентиляційні ребра не радіально, як у загальних випадках, а по дотичній до зовнішньої утворюючої маточині ротора (рис. 1, в). Завдяки новому розташуванню і формі поперечних охолоджуючих вентиляційних ребер з'являється нова властивість, яка збільшує (приблизно на 40 %) їх контактуючих охолоджуючим повітрям поверхонь. Це дозволяє більш інтенсивно охолоджувати гальмівний диск при роботі.

Автори патенту № 2454576 [4] пропонують гальмівні колодки виконувати з поздовжніми канавками (рис. 2). При цьому повітря, що захоплюється обертовим диском, проходить через поздовжні поглиблення на робочій поверхні фрикційної накладки, створюючи турбулентні повітряні потоки (рис. 2). Тепловий потік від фрикційної накладки передається повітряним потокам, які відповідно нагріваються і відносять нагріте повітря в навколишнє середовище, охолоджуючи при цьому фрикційну накладку, а також гальмівний диск.

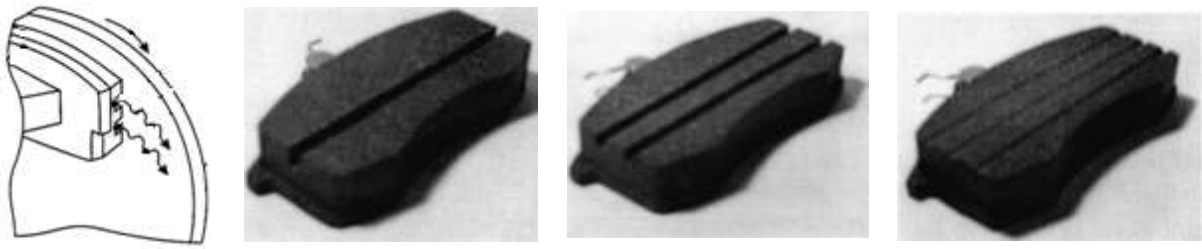

Рис. 2. **Гальмівна колодка з поздовжніми канавками [4]**

Для підвищення енергорозсіюючої здатності гальм транспортних засобів фірма Delphi [5] пропонує використовувати в колісному гальмі два плаваючих в осьовому напрямку гальмівних диска з нерухомою скобою. Таке рішення дозволяє розширити можливості щодо підвищення гальмівного моменту, залишаючись в рамках допустимого температурного діапазону. Маючи чотири поверхні охолодження, дана конструкція зменшує теплову напруженість деталей механізму. Також пропонується використання карбонокерамічних гальмівних дисків, які витримують високі температури нагрівання і не знижують вихідні характеристики гальмівного механізму.

Метою статті є розробка рекомендацій та конструктивних рішень по підвищенню ефективності експлуатації фрикційних гальмівних елементів**.**

©К.О.Кравченко

Матеріали і результати досліджень. При гальмуванні, внаслідок сил тертя, місце контакту колеса з гальмівними колодками нагрівається. Збільшення температури в контакті призводить до зміни фізико-механічних властивостей фрикційної пари «гальмівна колодка – диск» [6]. При цьому відбувається деформація металу або його швидкий знос. Внаслідок малої площі фактичного контакту, недостатнього тепловідведення із зони тертя і температурних спалахів відбувається виникнення на поверхні тертя гальмівних колодок підвищених середніх температур, ніж на диску, при яких додатково знижується міцність матеріалу колодки, і метал піддається інтенсивним пластичним деформаціям. У таких умовах тертя відбувається швидкий тепловий знос поверхонь диска і гальмівної колодки. При цьому швидкість зносу визначається виникненням і розвитком високої температури в зоні тертя [7]. Проблема ресурсозбереження гальм, якими обладнані автомобілі багатопланова. Вона потребує рішення техніко-економічних, технологічних, металознавчих, трибологічних знань, пов'язаних з вибором зносостійких матеріалів для робочої поверхні колодки.

Для охолодження трибопари пропонується в конструкції колодки використовувати вставки з порофорів, які при підвищенні температури утворюють активне газоподібне середовище.

В даному випадку при гальмуванні транспортного засобу колодки притискаються до диску. Температура в трибопарі підвищується. Під дією температури в колодці починається процес термічного розкладання елементів колодки порофорів, що приводе до виділення з великою швидкістю значної кількості газових продуктів [8]. Одним з основних продуктів розкладу є газ – азот, який взаємодіє з тонкими поверхневими шарами фрикційних вузлів. Це позитивно впливає на фрикційні властивості пари тертя – підвищує коефіцієнт зчеплення, різко зміцнює і стабілізує поверхню матеріалів, тим самим підвищуючи їх довговічність та зносостійкість.

Чавунні мікрочастки, що утворюються в процесі зносу, в зоні тертя гальмівної колодки і диску є відносно великими, що також призводить до збільшення інтенсивності зносу в зоні контакту «гальмівна колодка – диск», а їх переміщення в зоні тертя в процесі руху знижує коефіцієнт тертя гальмової колодки об поверхню диску. Це впливає на зменшення ефективності механічного гальмування і збільшення гальмівного шляху, що знижує безпеку руху.

Усунення твердих мікрочасток в контакті та підвищення ресурсозбереження при використанні гальмової системи пропонується гальмівну колодку виконувати з отворами й примусово під тиском подавати в момент гальмування охолоджувальне повітря (рис. 3). Це сприятиме охолодженню контакту «гальмівна колодка – диск» та віднесенню по жолобоподібним каналам 1 (рис. 3) продуктів фрикційного зносу у навколишнє середовище.

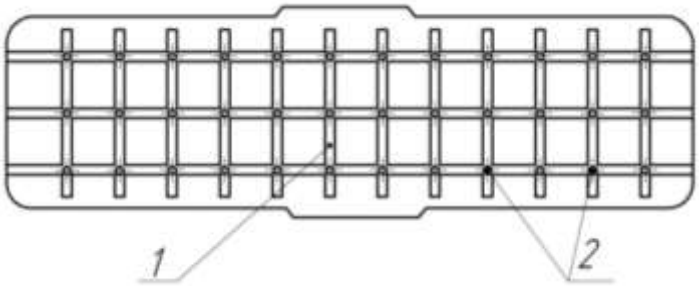

Рис. 3. **Гальмівна колодка з отворами для охолодження**

При гальмуванні температура гальмівної колодки змінюється від T_1 до T_2 в залежності від часу t. Результати експериментів показали, що при відсутності охолодження контакту залежність температури T від часу t має лінійний зростаючий характер. При подачі в отвори 2 гальмівної колодки стисненого повітря змінюється крива залежності температури T гальмівної колодки від часу t натиснення гальмівних колодок. Збільшення діаметрів d отворів 2 до деякої величини призводить до зменшення температури T в контакті.

При подачі стисненого повітря між гальмівною колодкою та диском виникає сила протитиску Q. Необхідно, щоб сила протитиску Q не погіршувала гальмівні характеристики

©К.О.Кравченко

транспортного засобу. Для цього необхідно регулювати діаметри *d* та глибину *h* отворів 2 (рис. 4). Проведені дослідження (рис. 4) показують, що при глибині *h>0,5 мм* отворів 2 не залежно від діаметру *d* величина *Q* набагато менша сили натиснення колодок та, відповідно, не впливає на гальмівні характеристики транспортного засобу. Відповідно доцільно отвори виконувати від *2 мм* до *8 мм*, подальше підвищення діаметру отворів 1 не впливатиме на температурні характеристики гальмівної колодки.

Вираз величини зносу ΔH гальмівної колодки по товщині за час $t_г$ до повної зупинки, визначається по формулі [7, 9]:

$$\Delta H = \frac{4}{3}\frac{a_к^2 B_г^2 \Delta h \upsilon_o^2 t_г}{A^2(\chi F_к)^2\left(\Delta\tau_{max} - \Delta\tau_{пер}\right)^2 \pi\lambda\gamma c}, \qquad (1)$$

де $a_к$ – коефіцієнт розподілу теплового потоку, показує яка частина тепла, що виникає при терті, поступила в колодку; $B_г$ – гальмівна сила; Δh – середня руйнована висота виступів фактичного контакту; υ_o – початкова швидкість гальмування; A – механічний еквівалент теплової роботи; χ – коефіцієнт фактичної площі контакту; $F_к$ – геометрична площа контакту колодки і диску; $\Delta\tau_{max}$ – підвищення температури та значення, при якому відбувається руйнування виступів шорсткості (залежить від матеріалу колодки і є константою); $\Delta\tau_{ср}$ – середня температура підвищення робочої поверхні тертя колодки; γ – питома вага колеса, що нагрівається; c – питома теплоємність.

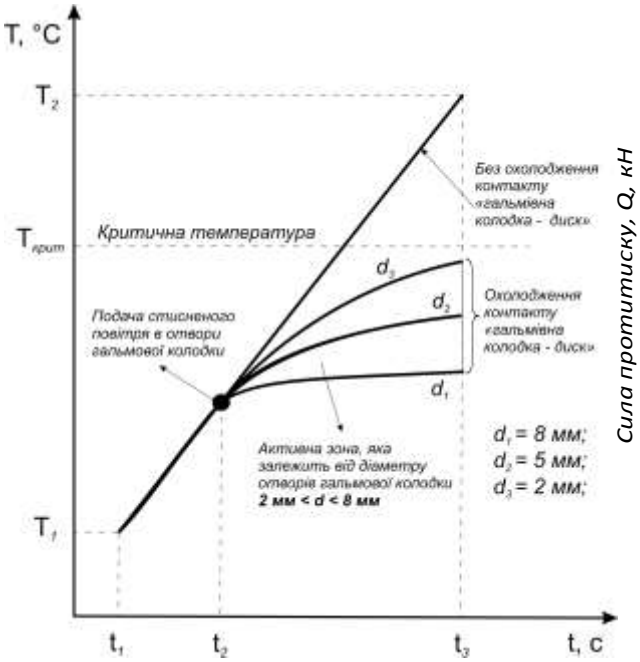

Рис. 4. **Залежність температури гальмівної колодки від часу натиснення колодок**

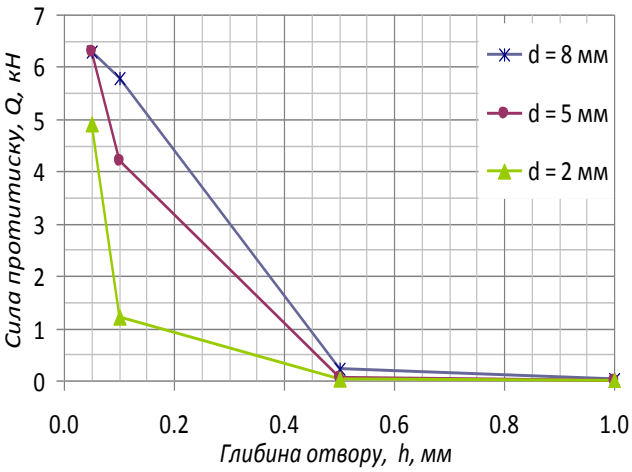

Рис. 5. **Залежність сили протитиску *Q* від глибини *h* отворів гальмової колодки**

З формули (1) видно, наявність отворів 2 та канавок 1 сприяє ефективному видаленню третього тіла (чавунних мікрочасток зносу) із зони тертя, що дозволяє зменшити середню руйновану висоту виступів фактичного контакту Δh в процесі гальмування, тим самим зменшується інтенсивність зносу колодки і збільшується її коефіцієнт тертя, що підвищує ефективність гальмування.

Середнє підвищення температури робочої поверхні тертя колодок можна визначити по наступній формулі [9]:

$$\Delta\tau = \frac{1}{t_г}\int_0^{t_г}\Delta\tau_n dt,$$

де $\Delta\tau_n$ – надлишкова температура поверхні, на якій виділяється тепло.

Зміна температури $\partial(\Delta\tau_n)$ до моменту часу t викликається кількістю тепла $q(t)dt$, що виділяється на одиниці поверхні:

$$\partial(\Delta\tau_n) = \frac{q(t)}{\sqrt{\pi\lambda\gamma c}\sqrt{t_1 - t}}dt.$$

З врахуванням віддачі тепла з поверхні тертя в довкілля маємо:

$$q(t) = q_a\left(1 - \frac{t}{t_в}\right) - \alpha\Delta\tau_n,$$

де q_a – кількість тепла, що виділяється на одиниці поверхні в одиницю часу (щільність теплового потоку) на початку процесу підвищення температури;

α – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні тертя в довкілля.

Коефіцієнт тепловіддачі з нагрітої поверхні в довкілля визначається як сума коефіцієнтів теплопереходу конвекцією $\alpha_к$ і випромінюванням $\alpha_в$:

$$\alpha = \alpha_к + \alpha_в.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням $\alpha_в$ залежить від приведеної міри тону колірної гамми (темною, світлою) випромінюючої поверхні колодки, абсолютної температури колодки і довколишньої температури середовища. У модифікованій конструкції колодки коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням $\alpha_в$ не розглядається, оскільки не значимо впливає на знос колодки, тому що організовується слабке відведення тепла із зони тертя поверхні диску і колодки в довкілля.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією $\alpha_к$ обчислюється залежно від критеріїв Рейнольдса Re і Прандля Pr [7].

Наявність канавок 1 в пропонованій конструкції колодок зменшує інтенсивність їх зносу ΔH, особливо при великих швидкостях руху, шляхом стабілізації температурного режиму за рахунок підвищення ефективності відведення тепла із зони тертя в довкілля. В процесі гальмування холодне повітря $\alpha_к$, що нагнітається під колодку, нагрівається і ефективно виходить в довкілля. Внаслідок цього відбувається збільшення $\alpha_к$, що зменшує середню температуру тертя робочої поверхні колодки $\Delta\tau_{пер}$, тим самим збільшується час для досягнення максимальної температури $\Delta\tau_{max}$, при якій відбувається руйнування виступів фактичного контакту, згідно формулі (1). У типовій колодці при збільшенні початкової швидкості гальмування інтенсивність її нагріву зростає.

Висновки. Застосування запропонованих способів дозволить:

- ✓ охолоджувати зону контакту «гальмівна колодка – диск», за допомогою подачі стисненого, охолодженого повітря у отвори гальмової колодки або утворювання в зоні контакту активного газоподібного середовища;
- ✓ підвищити ефективність гальмування і зменшити інтенсивність зносу гальмівних колодок за рахунок своєчасного видалення продуктів фрикційного зносу із зони контакту гальмівної колодки і поверхні катання колеса та стабілізувати температурний режим роботи гальмівної колодки;
- ✓ підвищити рівень безпеки руху транспортних засобів, за рахунок збільшення надійності гальмування.

1. Вентилируемые тормозные диски. Режим доступа: http://avto-blogger.ru/chto-takoe-v-avtomobile/ventiliruemye-tormoznye-diski.html
2. Охлаждение тормозов. Режим доступу: http://avmundial.ru/tyuning/599-ohlazhdenie-tormozov.html
3. Патент на изобретение № 2165040, кл. F16D65/847. Тормозной диск / Вейтцель О.О./ - заявл. 24.01.2000; опубл. 10.04.2001.
4. Патент на изобретение № 2454576, кл. F16D65/092. Колодка дискового тормоза автомобиля / Симагаева З.Д./ - заявл. 24.01.2008; опубл. 27.07.2009.
5. Волков В.П. Ретроспективный анализ развития конструкции тормозных механизмов легковых автомобилей / В.П. Волков, Н.В. Дюкарев, Ю.В. Волков // Вестник ХНАДУ. Вип. 41., 2008. – С. 59-61.
6. Горбунов М.І. Технічні рішення по стабілізації температури фрикційних елементів гальм / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, О.С. Ноженко, О.В. Просвірова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля:– Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013 – № 4(193) – С. 68 – 72.
7. Казаринов В.М. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов / В.М. Казаринов, В.Г. Иноземцев, В.Ф. Ясенцев – Москва: Транспорт, 1968 – 400 с.
8. Митрофанов А.П. Повышение эффективности шлифования путём импрегнирования абразивного инструмента веществами из класса порофоров // А.П. Митрофанов. – Волгоград: 2012. – 16 с.
9. Патент на полезную модель №95620, кл. B61H7/02. Износоустойчивая тормозная колодка с повышенным коэффициентом трения для скоростного движения // О.В. Мельниченко, Е.В. Чупраков, С.А. Горбаток/ опубл. 10.07.2010.

Стаття надійшла до редакції 30.04.2014.

©К.О.Кравченко