

УДК 629.113-592.2

О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук, С.О. Магопець, доц., канд. техн. наук, В.А. Онопа, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження працездатності пари тертя "гальмівний диск – гальмівна колодка" легкового автомобіля

В статті розглянутий вплив пари тертя "гальмівний диск – гальмівна колодка" на безпеку руху автомобіля. За допомогою сучасних методів металографічного й мікрорентгеноспектрального аналізу було встановлено характер протікання дійсного процесу тертя в парі "гальмівний диск – гальмівна колодка" та визначено оптимальний склад матеріалу гальмівної колодки й диску, що дало змогу зменшити величини їх спрацювання та підвищити довговічність пари тертя. Додаткові дослідження впливу полімерного матеріалу нанесеного на робочі поверхні гальмівної колодки та гальмівного диску не дали бажаного позитивного ефекту та зменшили ефективність гальмування.

гальмівна колодка, гальмівний диск, чавун, спрацювання, температура, шорсткість, залишкові напруження, механічні властивості матеріалу

З кожним роком автомобілі провідних світових виробників стають все досконалішими. Зростає потужність двигунів, постійно вдосконалюються характеристики підвіски й поліпшується аеродинаміка і комфорт, та значно підвищуються динамічні показники. Разом з тим, найголовнішим фактором в цьому переліку виступає безпека руху автомобіля. Автомобіль повинен не тільки інтенсивно збільшувати швидкість руху, але й при необхідності - швидко та надійно її зменшувати. Безпека руху автомобілів значною мірою залежить від характеристик та технічного стану гальмівної системи, внаслідок несправності елементів якої трапляється близько 42% дорожньо-транспортних пригод від загальної кількості пригод внаслідок всіх технічних несправностей (див. рисунок 1). Саме тому характеристикам цього механізму в експлуатаційних умовах, та під час обслуговування і ремонту, слід приділяти особливо підвищену увагу.

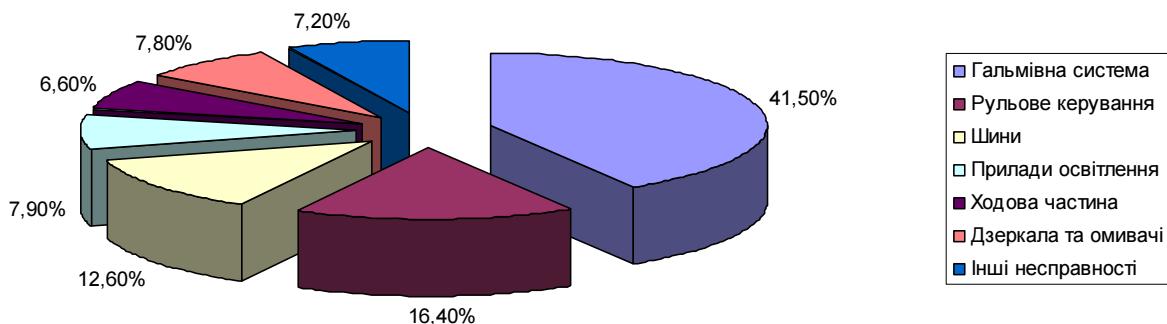


Рисунок 1 - Кількість аварій, що відбуваються через технічні несправності систем, механізмів та деталей автомобіля (узагальнені дані)

Конструктивно, більшість сучасних легкових автомобілів оснащуються як передніми так і задніми дисковими гальмами. При цьому, гальмівна система повинна постійно й максимально ефективно діяти, мати мінімальний час спрацювання й забезпечувати мінімальний шлях гальмування автомобіля із високою плавністю наростання гальмівного зусилля та одночасністю моменту початку гальмування всіх коліс.

Загальновідомо, що автомобіль який рухається, має кінетичну енергію. Процес же гальмування – це ні що інше як процес перетворення енергії руху в теплову енергію, який протікає із нагрівання гальм, в першу чергу - гальмівних дисків, температура яких може зростати до 300...400 °С та навіть перевищувати значення 500°С при інтенсивному гальмуванні. При цьому гальмівний диск прогрівається дуже нерівномірно (див. рисунок 2). Найвища температура спостерігається в області контакту диска з колодками; в інших ділянках температура нижче за рахунок охолодження повітрям і відведення тепла до більш холодних частин диску.

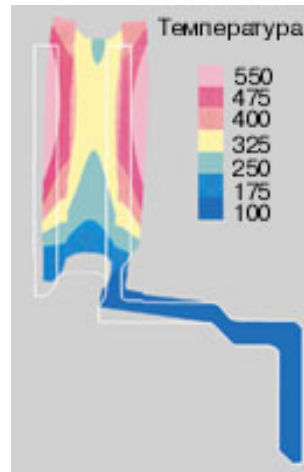


Рисунок 2 - Температура прогрівання диска під час гальмування

При такому нерівномірному нагріванні диск прогинається, а його товщина змінюється залежно від ступеня нагріву. В результаті плоскі робочі поверхні диска деформуються, здобуваючи форму, досить далеку від ідеальної, а характер їх зношення стає нерівномірним, досягаючи найвищої величини зносу в зоні максимального нагріву. Крім того, процес зношування прискорюють різні абразивні частинки, які попадають між диском і гальмівними колодками.

Таке явище приводить до зменшення площі контакту між диском і колодкою, що в свою чергу обумовлює необхідність підвищення сили дії на гальмівну педаль, з боку водія, для забезпечення необхідного зусилля гальмування. В міру збільшення ступеня зношення гальмівного диска може виникнути ситуація, коли сила тиску, що розвивається гальмівним циліндром, буде взагалі недостатньою для забезпечення надійного й ефективного гальмування. Гальмівний шлях, при цьому, стає неприпустимо більшим, а на слизькій дорозі (наприклад взимку, при ожеледиці) - особливо. В такій ситуації стійкість автомобіля та необхідний гальмівний шлях не зможе забезпечити навіть робота антиблокувальної системи (у разі її встановлення на автомобілі).

Проведені попередні дослідження показали, що однією з найбільш обмежених за ресурсом пар тертя автомобіля є пара "гальмівний диск – гальмівна колодка". Причинами, які сприяють цьому є значні (до 10 МПа, або 100 кг/см²) діючі високі контактні навантаження та інтенсивний (до 870 К або 600 °С) фрикційний розігрів при сухому абразивному терті та нерідко виникаючі фрикційні коливання (вібрація при гальмуванні). Аналіз зазначеної проблеми показав, що вчені, дослідники, конструктори та технологи проблемою підвищення працездатності й ресурсу даної пари займаються практично з тих часів, коли на автомобілях стали застосовувати гальмівні механізми такого типу.

Основні дефекти, які виникають в парі "гальмівний диск - гальмівна колодка" (див. рисунок 3) можна охарактеризувати так:

- скривлення диска - гальмівний диск набуває відхилення від площинності найчастіше в результаті перегріву й наступного різкого охолодження (див. рисунок 3 позиція 1), які

можуть бути спричинені, наприклад, екстремим гальмуванням автомобіля при інтенсивному характеру його руху в мокру (дощову) погоду;

- нерівномірність спрацювання диску за товщиною, яка найчастіше виникає в результаті неоднорідності матеріалу диску або гальмівних колодок (див. рисунок 3 позиція 2);

- шорсткість і нерівномірне спрацювання робочої поверхні із утворенням "буртиків" – як результат абразивного спрацювання та експлуатації при граничному зношенні колодок, що призводить до підвисання останніх (див. рисунок 3 позиція 3).

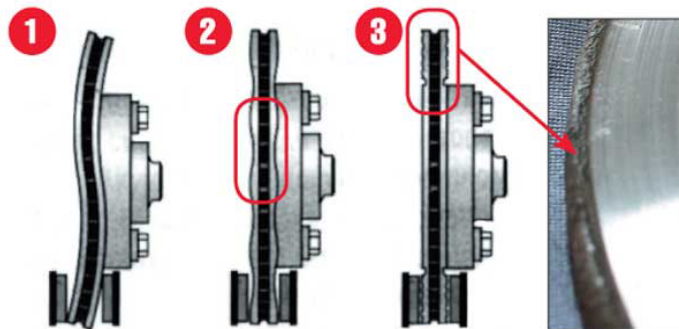


Рисунок 3 – Дефекти гальмівних дисків

Слід зазначити, що конструкцією гальмівних систем передбачено більш інтенсивне зношування саме гальмівної колодки у порівнянні із диском, який піддається зносу повільніше. Разом з тим, інтенсивність зношення спряження „гальмівний диск – гальмівна колодка” багато в чому визначається як характером протікання процесу гальмування (в більшості він визначається обраним водієм стилем керування автомобілем) так і комбінацією складових цієї пари тертя. Різні властивості матеріалів гальмівних колодок та дисків забезпечують відповідність різним технічним нормам; створюють індивідуальні області контакту із специфічним, притаманним лиш їм, тепловим навантаженням.

Так, за допомогою сучасних методів металографічного й мікрорентгеноспектрального аналізу, нами було встановлено, що реальний процес тертя в парі "гальмівний диск – гальмівна колодка" містить у собі три складові: мікрорізання, інтенсивне окислювання, перенесення і нанесення полімерних сполук і композитів, що входять до складу матеріалу гальмівної колодки, а також продуктів, що утворюються при роботі у фрикційному контакті, на поверхні гальмівного диска. Причому переважну роль може відігравати кожна із цих складових - все залежить від умов роботи, особливостей конструкції, технології виготовлення й властивостей матеріалів, що утворюють зазначену пару тертя. Наприклад, якщо взяти третю з перерахованих складових, то вона - результат дії змінного за величиною моменту тертя в контакті пари. В свою чергу, на ступінь посилення або послаблення коливальних впливів впливають декілька факторів:

- демпфуючі характеристики кінематичного ланцюга від джерела коливальних до рульового колеса;

- різна товщина гальмівного диска, яка може утворитися ще в процесі його виготовлення й зрости в процесі експлуатації через нерівномірне зношування;

- зносостійкість матеріалу гальмівного диску;

- здатність матеріалу гальмівної колодки до зношування;

- биття гальмівного диску, яке обумовлене жолобленням його конструкції при релаксації залишкових напружень в експлуатаційних умовах тощо.

Необхідно також відзначити, що всі ці залежності досить складні. Приміром, якщо взяти жолоблення гальмівного диска, то це - результат дії загального рівня напружень, які складаються із залишкових ливарних напружень і напружень, які утворилися при його механічній обробці. Тому, для уникнення процесу жолоблення гальмівного диску, необхідно впливати на обидві зазначені причини. Зокрема, для зниження рівня залишкових ливарних

напружень у заготовках гальмівних дисків потрібно підібрати найбільш сприятливий, з цього погляду, режим відпалу, що й було зроблено при проведенні комплексу робіт, оскільки той факт, що відпал завжди знижує залишкові напруги у виливках, - аксіома теорії термічної обробки металів і сплавів. Однак на практиці ж виявилось, що відпал вирішує проблему не повністю, тому що фінішне шліфування знову створює залишкові напруги в гальмівному диску. Причому такої величини, що в підсумку зводиться нанівець ефект відпалу заготовок гальмівних дисків. Саме тому, шліфування було замінено точінням, що й дозволило знизити даний негативний ефект.

В результаті був прийнятий наступний варіант: відпал при температурі 853 К (580 °С) протягом 2 годин, при якому знімаються залишкові ливарні напруги у відливці без зменшення твердості матеріалу й наступне точіння – в якості фінішної операції механічної обробки.

Крім того, був випробуваний варіант термоциклічного відпалу по режиму: п'ять семигодинних циклів нагрівання до 623 К (350°С) із охолодженням до кімнатної температури. В результаті - биття гальмівних дисків зменшилося, але враховуючи велику трудомісткість цей спосіб виявився неефективним.

В процесі експлуатації було визначено, що зносостійкість гальмівних дисків помітно знижується. Причини цього - зміна (окислювання) основної структури чавуну по границях графітних пластин поблизу поверхні; дроблення (диспергування) цементиту перліту; поява зернистого перліту при розкладанні цементиту й вигорянні вуглецю - тобто в матеріалі гальмового диска протікають процеси, які змінюють його структуру. Дані процеси - дифузійні, їх можна істотно сповільнити введенням елементів-карбідоутворювачів. Зокрема, виявлено, що підвищення вмісту молібдену до 0,6 і титану до 0,02 % гарантовано збільшує зносостійкість сірого чавуну. Такий й же результат додають добавки марганцю й хрому.

Механізм підвищення зносостійкості сірого чавуну за рахунок його мікролегуювання карбідоутворюючими елементами пов'язаний з їх стабілізуючим впливом на цементит перліту. В результаті процес обезвуглеводження чавуну різко сповільнюється. Причому одним з найбільш ефективних із цього погляду елементів є хром.

Доведено, що на інтенсивність зношування гальмівного диску досить сильний вплив оказує матеріал гальмівної колодки. Наприклад, дослідження шести різних матеріалів гальмівних колодок вітчизняного й закордонного виробництва, в яких зв'язуючим є фенолформальдегідна смола, а твердими включеннями - сталева висічка (вата), слюда, алюмінієва й латунна (мідна) стружка, показали, що матеріали гальмових колодок із вмістом в них грубих і твердих сталевих та латунних добавок зношують гальмівний диск більше, ніж із вмістом алюмінієвих і латунних (мідних) добавок більш дрібної фракції (див. рисунок 4).

При фрикційному розігріві пари тертя понад 523 К (250°С) у контакті відбувається інтенсивне перенесення матеріалу гальмівних колодок на робочу поверхню гальмівного диску з характерним „намазуванням” на неї полімерного сполучного й окремих елементів композита. Причому товщина нанесеного шару циклічно змінюється: спочатку вона зростає, а потім, досягши деякої товщини, поступово зменшується, після чого цикл повторюється. Тривалість таких циклів для кожної ділянки робочої поверхні гальмівного диску своя, а ступінь однорідності утвореного шару залежить від дисперсності й вмісту композиційних складових і металевих включень матеріалу гальмівної колодки (наприклад включення на основі алюмінію й міді зменшують зношення гальмівного диска за рахунок плаваючого ефекту). Під час дослідження було також виявлено, що після нанесення полімерного матеріалу гальмівної колодки на поверхню гальмівного диску створюється ефект, який знижує темп зношення гальмівного диску; однак при цьому спостерігається різке падіння коефіцієнту тертя у фрикційному контакті пари, й відповідно і ефективність гальмування.

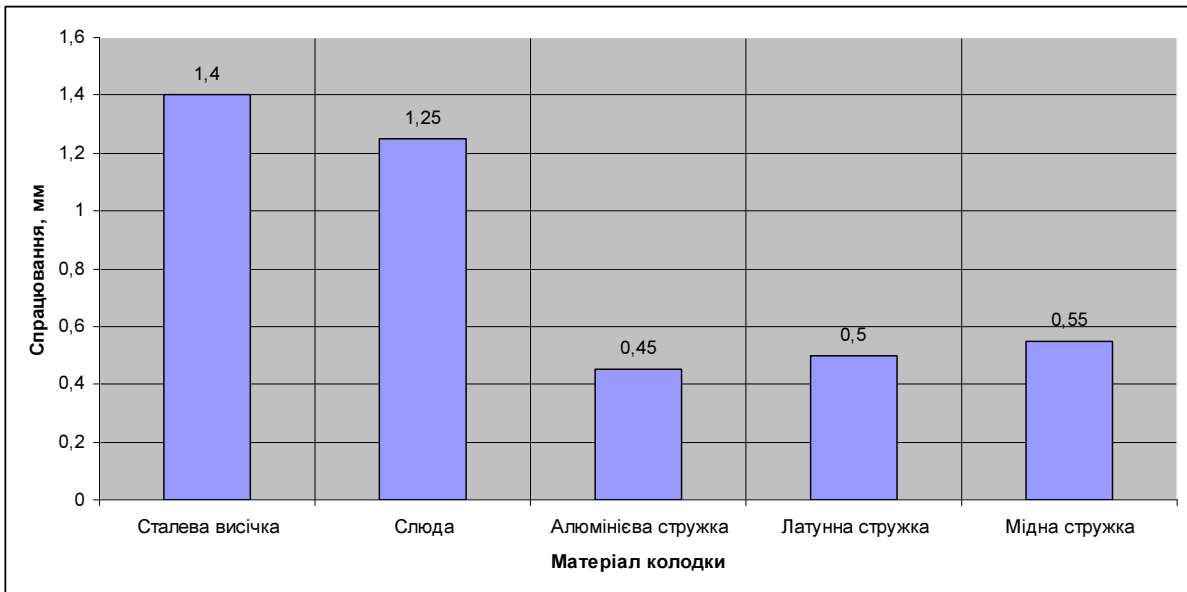


Рисунок 4 - Вплив матеріалу гальмівної колодки на інтенсивність зношування гальмівного диска

За результатами дослідження зв'язку зносостійкості гальмівних дисків з хімічним складом і механічними властивостями матеріалу, з якого вони виготовлені, було встановлено, що сірий перлітний чавун марки Сч190, традиційно використовується при виробництві гальмівних дисків автомобілів ВАЗ, ГАЗ, БАЗ та інших й за характеристиками міцності незначними чином перевершує чавунні аналоги, які застосовуються іншими закордонними автовиробниками, але поступається їм за зносостійкістю. Причому, як було встановлено, зносостійкість лінійно залежить від вмісту сірки при постійному (0,6...0,7%) вмісті марганцю, чим її більше, тим вище зносостійкість. При збільшенні кількості сірки в чавуні Сч190 із стандартних 0,02 до 0,12% його зносостійкість зростає на 50% без погіршення механічних властивостей. Вся справа в тому, що з ростом вмісту сірки в структурі чавуну збільшується кількість дрібнодисперсних тугоплавких і в той же час, пластичних включень сульфиду марганцю (Mn), якщо їх розміри не перевищують товщини графітних пластинок, то вони відіграють роль змащення.

Однак підвищувати концентрацію сірки в чавуні можна, на жаль, не безмежно. Якщо її ввести більше 0,13%, то починається укрупнення включень сульфиду марганцю до розмірів, які перевищують товщину графітних пластин. В результаті чого вони починають працювати як пори і міцність чавуну падає як показано на рисунку 5.

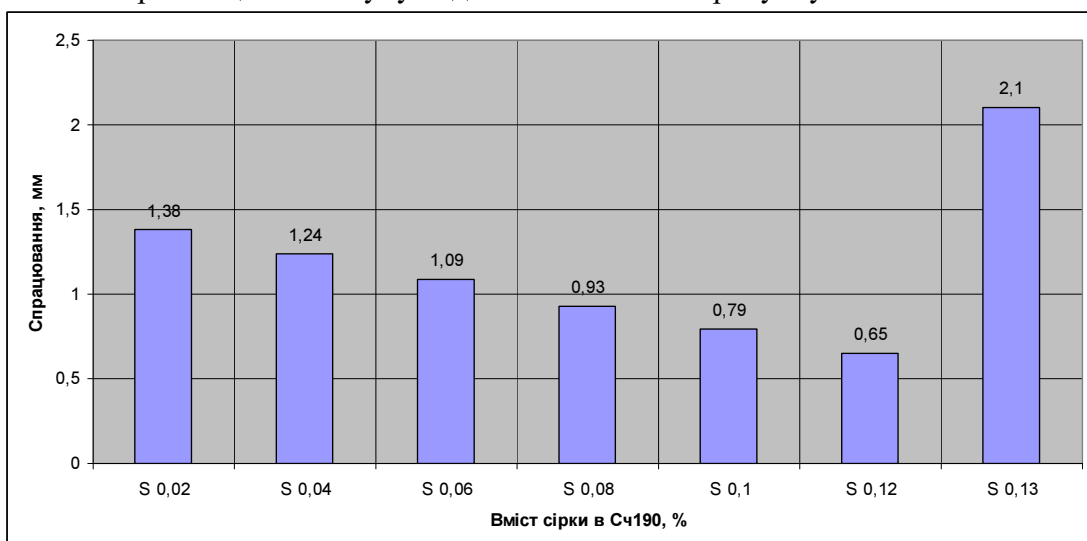


Рисунок 5 - Спрацювання гальмівного диска в залежності від вмісту в ньому сірки

Після проведення досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Для зняття остаточних напружень під час виготовлення гальмівного диску фінішною операцією повинна виступати токарна обробка робочої поверхні, а не шліфування.
2. Дослідження впливу нанесеного полімерного матеріалу гальмівної колодки на поверхню гальмівного диску не виявило бажаного ефекту та зменшило коефіцієнт тертя у фрикційному контакті пари й ефективність гальмування.
3. При збільшенні вмісту сірки в чавуні до 0,12% зношення гальмівних дисків знижується на 40%.
4. Стійкість інструменту при механічній обробці зростає більш ніж в 2 рази, а тріщиностійкість гальмівних дисків залишається задовільною.

Список літератури

1. Тормоза. Руководство по обслуживанию, диагностике и ремонту тормозных систем. М. Рэндалл. – М.: Алфамер Паблшинг, 2008. – 192 с.
2. Рынкевич С.А. Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С.А. Рынкевич. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с.
3. В.К. Вахламов. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. – М.: Академия, 2009. – 560 с.

О. Бевз, С. Магопец, В. Онопа

Исследование работоспособности пары трения "тормозной диск - колодка" легкового автомобиля

В статье рассмотрено влияние пары трения "тормозной диск - тормозная колодка" на безопасность движения автомобиля. С помощью современных методов металлографического и микрорентгеноспектрального анализа был установлен характер протекания действительного процесса трения в паре "тормозной диск - тормозная колодка" и определен оптимальный состав материала тормозной колодки и диска, которое дало возможность уменьшить величины их срабатывания и повысить долговечность пары трения.

O. Bevz, S. Magopez, V. Onopa

Research of influence of internal resistance of the system of issue of exhaust gases on the effective indexes of work

In the article influence of pair of friction is considered a "brake disk is a skid" on safety of motion of car. By the modern methods of metallographic and mikrorentgenospectral analysis character of flowing of actual process of friction was set in a pair a "brake disk is a skid" and optimum composition of material of skid and disk is certain, which enabled to decrease the sizes of their wearing-out and promote longevity of pair of friction.

Одержано 11.01.10