

## ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ СФЕРИЧНИХ ШАРНІРНИХ З'ЄДНАНЬ

В статті проведено обґрунтування подальшого розвитку та удосконалення методів підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з'єднань на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначено перспективний напрям підвищення якості сферичної поверхні пальця кульової опори. Проведено дослідження кульових опор і отримано графік залежності величини зазору в спряженні палець-вкладиш від напрацювання. Розглянуто основні фактори впливу на процес зношування пари тертя палець-вкладиш. Сформульовано основні шляхи вирішення комплексної задачі з підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з'єднань. Запропоновані конструкторські і технологічні рішення для модернізації конструкції кульової опори підвіски легкового автомобіля, які забезпечують суттєве підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговуванні.

Ключові слова: надійність, довговічність, метод, зношування, параметр, зміцнення.

M.M. KOSIYUK, S.A. KOSTYUK  
Khmelnitsky National University

### IMPROVING OF THE DURABILITY SPHERICAL MOVABLE ARTICULATED JOINTS

In the article conducted the rationale for further development and improvement of methods improve durability spherical Movable articulated joints for example of ball joint front suspension of the car. Conducted analysis of recent research and publications. Defined perspective direction of improving the quality of the working surface of the finger ball joint. Conducted study of ball joints and received a plot of the magnitude of the gap in conjugation finger-insert of operating time. Considered the main factors affecting on the wear process of the friction pair finger-insert. Formulated the basic ways of solving the complex problem of improving the reliability and durability of the spherical Movable articulated joints. The proposed design and technological solutions for the modernization construction of ball joint suspension of the car, providing a significant increase in their operational properties and reduce complexity in the technical maintenance.

Keywords: reliability, durability, method, wear, parameter, hardening.

#### Постановка проблеми

В сучасній техніці більше 60% деталей машин відносяться до трибосистем ковзання. Серед них широко застосовуються рухомі сферичні шарніри ковзання, які є відповідальними елементами машин і визначають їх надійність та довговічність [1].

Підвищення довговічності – задача комплексна, яка пов'язує періоди проектування, виготовлення та експлуатації. Для її вирішення використовуються різні галузі знань, вона потребує використання нових організаційно-технічних рішень доцільність яких обґрунтовується з позицій економіки. Сучасний рівень розвитку техніки дозволяє отримати високі показники якості виробу, але затрати можуть бути настільки високими, що ефект від підвищення довговічності вузла не виправдає їх і сумарний результат від проведених заходів буде негативним. Але завжди є широкий діапазон різноманітних можливостей по підвищенню якості деталей вузлів з мінімальними затратами, а саме використання більш якісних матеріалів, розробка технологічних процесів спрямованих на підвищення довговічності та зносостійкості і модернізації їх конструкцій.

Задача з підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірів ковзання розглядається на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля типу «Mac Pherson» названої на честь винахідника. Підвіска компактна і проста, використовується з рульовим управлінням рейкового типу і поперечним розташуванням силового агрегату, що зумовило її широке використання в сучасному автомобілебудуванні.

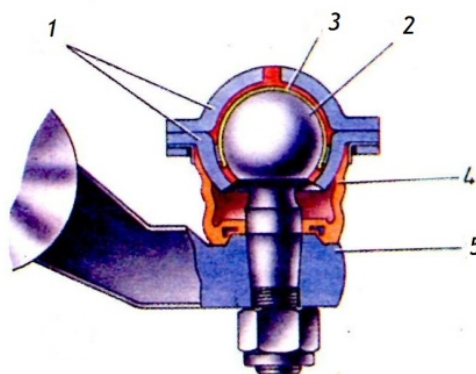


Рис. 1. Кульова опора

1 – корпус; 2 – палець; 3 – вкладиш підшипника ковзання; 4 – захисний армований пильник; 5 – кронштейн маточини

Кульова опора складається з корпусу в якому встановлений полімерний вкладиш, що охоплює сферичну головку пальця. Герметизація шарніра забезпечується встановленням захисного чохла. При збиранні шарніра закладається мастило ШРБ-4 розраховане на весь строк служби вузла (за умови збереження герметичності). На рис. 1 представлено типову конструкцію кульової опори автомобіля.

Функціональне призначення кульових опор в конструкції підвіски автомобіля – забезпечувати обертальні, а також лінійні переміщення у всіх напрямках у площині свого кріплення.

В процесі експлуатації елементи підвіски зношуються, що супроводжується характерними параметричними відмовами, в більшості випадків кульових опор (зношування пари тертя палець-вкладиш).

Надійність підвіски як системи визначається надійністю та довговічністю її вузлів і елементів. Вихід з ладу елемента призводить до відмови вузла або системи в цілому. Незважаючи на постійний розвиток науки і техніки задача підвищення надійності та довговічності деталей рухомих сферичних шарнірних з'єднань конструкторсько-технологічними методами, які б забезпечували високі експлуатаційні характеристики залишається актуальною.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Основними постійно діючими причинами виникнення дефектів кульових опор передньої підвіски при їх експлуатації є [2]: зношування; пластичні деформації; втомні руйнування; корозія; фізико-хімічні зміни матеріалу деталей.

Причиною відмов деталей при експлуатації служать процеси, що протікають в поверхневому шарі контактуючих деталей. Найчастіше тут переважає процес зношування, так як пара тертя працює в умовах граничного тертя з обмеженим змащуванням (товщина мастила від 1 мкм до молекулярних шарів) [2, 3].

Встановлено гранично-допустиме значення параметра радіального і осьового зазору - 0,7 мм спричиненого процесом зношування в парі тертя [4]. За цієї умови кульова опора підлягає заміні або ремонту.

Вихід з ладу деталей машин як правило спричинений руйнуванням їх поверхневого шару, тому все більшу увагу приділяють операціям поверхневого зміцнення, які б максимально забезпечували експлуатаційні вимоги.

Особливе місце серед методів підвищення якості деталей машин займає зміцнювальна обробка поверхнево-пластичним деформуванням (ППД), яка з точки зору підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин дає можливість отримати зміцнений поверхневий шар необхідної твердості із залишковими стискаючими напруженнями, дрібнодисперсною структурою та згладженою формою мікронерівностей, при відносно не великих матеріальних витратах. Великий внесок у розвиток даного наукового напрямку зроблено в роботі [5, 6].

Перспективним напрямком підвищення якості робочої поверхні є створення зміцненого поверхневого шару з гетерогенною структурою з використанням способу поверхнево-пластичного деформування статико-імпульсної обробки (ППД СІО). Даний спосіб має широкі технологічні можливості і дозволяє формувати зміцнений поверхневий шар з необхідними фізико-механічними властивостями [5].

**Метою роботи** є обґрунтування подальшого розвитку та удосконалення методів підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірів ковзання на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Досвід експлуатації машин показує, що приблизно 90% відмов передньої підвіски легкового автомобіля спричинені виходом з ладу кульових опор. Кульова опора сприймає навантаження від маси спорядженого автомобіля та динамічні навантаження від нерівностей дорожнього покриття. Підвищене спрацювання пар тертя порушує нормальну взаємодію деталей у вузлах, що призводить до втрати кінематичної точності механізму в результаті погіршується керуваність автомобіля, з'являються недопустимі шум, удари та вібрації, що при подальшій експлуатації призведе до аварійної відмови.

Дослідження стану кульової опори на етапі експлуатації дають можливість виявити та усунути недоліки, які виникли на попередніх етапах проектування та виготовлення.

Проведено дослідження кульових опор легкового автомобіля Деу Ланос, які відбиралися на станції технічного обслуговування у м. Хмельницький з фіксованим пробігом 0; 1000; 20000; 40000 км. Вимірювання зазору у sprzęжені палець-вкладиш проводилось за наступною методикою.

Палець кульової опори базувався по кінчній поверхні в спеціальній оправці, яка встановлювалась в патрон токарного верстата. Корпус місцями свого кріплення приєднувався до спеціальної державки, яка закріплювалась в різцетримачі верстата. Індикаторна стійка встановлювалась на станину верстата. Для вимірювань використовувався індикатор годинникового типу. Вимірювальний наконечник індикатора торкався корпусу кульової опори на рівні центрів з натягом. Переміщуючи супорт токарного верстата (в право, в ліво) в напрямку повздовжньої подачі вимірювався осьовий зазор, а в напрямку поперечної радіальний. Схема вимірювань представлена на рис. 2.

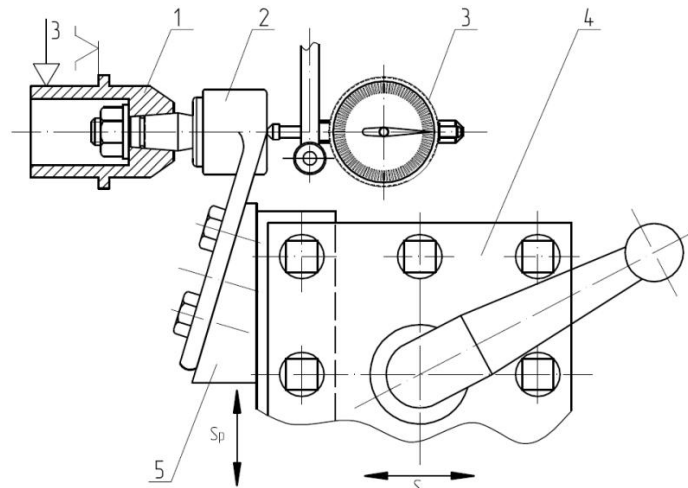


Рис. 2. Схема вимірювань зазору

1 — оправка; 2 — кульовий шарнір; 3 — індикатор; 4 — різцетримач; 5 — державка

Кульова опора з нульовим пробігом вважається еталонною. Пробіг в 1000 км відповідає періоду припрацювання (відбулося згладжування нерівностей поверхонь тертя з утворенням певного мікрорельєфу, рис. 4а, рис. 5.а), 1000 – 20000 км – період нормального зношування (швидкість зношування деталей пари тертя стабілізувалась, встановилась робоча шорсткість, рис. 4б), 20000 – 40000 км відповідає періоду зношування з врахуванням інтенсифікатора (в парі тертя спостерігається збільшення зазору та сліди від корозійного і абразивного зношування сферичної поверхні пальця, рис. 4в, 4г. На робочій поверхні полімерного вкладиша спостерігається укорінення абразивних частинок металу рис. 5б). Динамічні навантаження, які виникають з появою зазору у sprzęженні інтенсифікують процес зношування. Вплив динамічної складової на процес зношування відображає проміжок (після 20000 км) кривої 1 рис. 3. Після 40000 км починається період інтенсивного зношування в наслідок чого стрімко збільшується радіальний та осьовий зазор.

За результатами вимірювань побудовано графік залежності величини зазору в парі тертя палець-вкладиш від напрацювання, рис. 3.

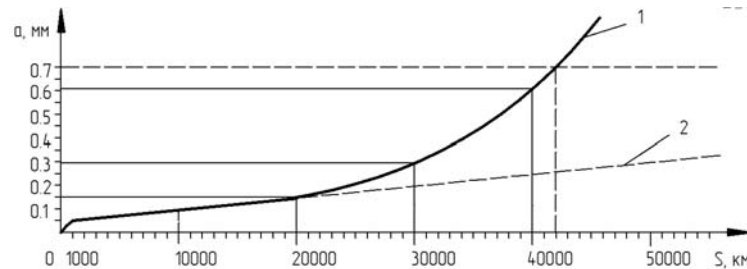


Рис. 3. Графік залежності величини зазору від напрацювання

1 — практична крива з врахуванням динамічних навантажень; 2 — теоретична крива нормального зношування

Демонтовані кульові опори розбирались для досліджень стану контактуючих поверхонь пари тертя палець-полімерний вкладиш.

На рис. 4 представлені фрагменти зношених сферичних поверхонь пальця, а на рис. 5. полімерного вкладиша.

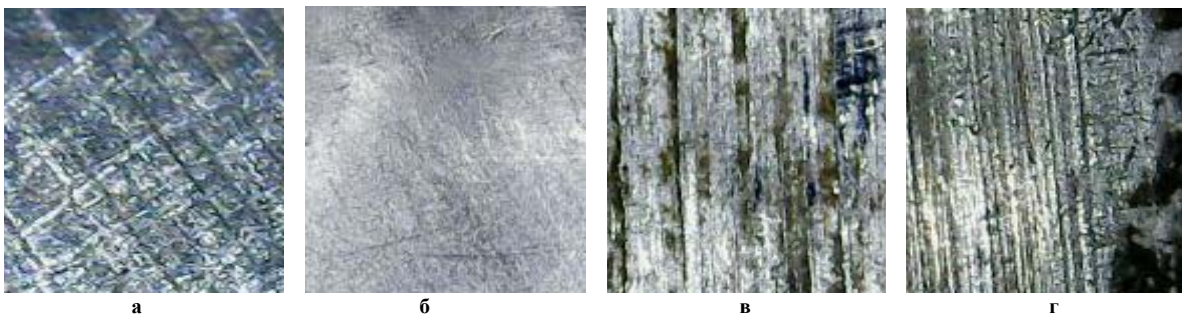


Рис. 4. Фрагменти зношених сферичних поверхонь пальця, X 25

а — поверхня в період припрацювання (1000 км); б — період нормального зношування (20000 км); в — поверхня з періодом напрацювання 30000 км; г — поверхня з напрацюванням більше 40000 км

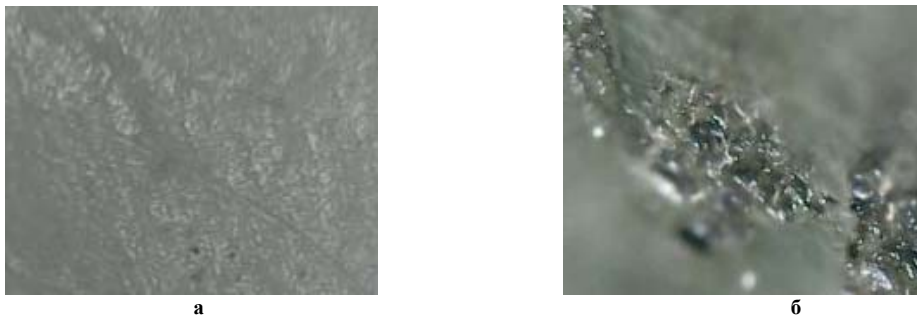


Рис. 5. Фрагменти сферичних поверхонь полімерного вкладиша, X 25

а – поверхня в період припрацювання (1000 км); б – поверхня з напрацюванням більше 40000 км

Аналіз літературних джерел та результатів проведених досліджень свідчать, що основними факторами, які впливають на довговічність кульової опори є:

- *контактний тиск*, який впливає на інтенсивність зношування і визначається масою спорядженого автомобіля, геометрією контактуючих поверхонь спряження та умовами експлуатації;
- *швидкість відносного ковзання*, яка залежить від конструктивних розмірів деталей пари тертя кульовий палець – полімерний вкладиш, кінематики їх спряження та умов експлуатації;
- *значення температури* в зоні контакту кульового пальця і полімерного вкладиша, що суттєво впливає на вибір матеріалів контактуючих поверхонь і мастила;
- *змащування*, яке суттєво впливає на процес зношування. При проведенні заходів спрямованих на поліпшення умов змащування (нанесення мастила утримуючого мікрорельєфу на поверхні тертя) можна досягти значного ефекту. Завдяки постійному відновленню мастильної плівки усувається безпосередній контакт поверхонь пари тертя внаслідок чого, значно зменшуються сили тертя і складаються умови для значного зниження швидкості зношування;
- *якість робочих поверхонь* пари тертя кульовий палець – полімерний вкладиш, що дозволяє отримати геометрично визначний на поверхні мікрорельєф зі згладженими мікронерівностями, що зменшує величину зношування та прискорює процес припрацювання;
- *відхилення від сферичності* робочої поверхні кульового пальця, яка суттєво знижує довговічність пари тертя.

Підвищення довговічності кульового шарніра, на думку авторів, можливо двома шляхами:

- 1) впровадження інноваційних конструкторських рішень для створення принципово нової конструкції кульового шарніру, використання більш зносостійких матеріалів і як наслідок, підвищенням вартості кінцевого виробу;
- 2) підвищення довговічності кульової опори шляхом її модернізації, поліпшення існуючих технологій виготовлення кульової опори. Як показує практика, цей напрямок найбільш легкий і малозатратний.

В роботі пропонується низка конструкторських і технологічних рішень, які забезпечують суттєве підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з'єднань.

Запропоновано пристрій для токарної обробки неповних сферичних поверхонь [7]. Пристрій встановлюється на призматичних напрямних станини токарного верстата, виконаний з можливістю поздовжнього переміщення і фіксації в потрібному положенні і містить поворотний стіл із закріпленням на ньому різцетримачем з установленим в ньому різцем, оснащений механізмом налагодження різцетримача і різця, регульованим підшипниковим вузлом, причому обертання столу здійснюється механізмом, який має кінематичний зв'язок із супортом верстату.

Робота пристрою для точіння сферичних поверхонь ґрунтується на властивості сферичної поверхні, яка полягає у тому, що будь-який її перетин площиною, включаючи площини, зміщені щодо центру сфери, дає окружність. Це дозволяє представити процес формоутворення неповної сфери як узгоджені рухи по напрямній лінії - окружності, отриманої за рахунок обертання заготовки і твірної лінії окружності, описаної вершиною різця по радіусу оброблюваної сфери. Таким чином, точність формоутворення сфери визначається не профілем ріжучого інструмента, а точністю траєкторії цих рухів, тобто кінематикою процесу, що дозволяє отримати сферичні поверхні високої точності.

До переваг запропонованого пристрою відноситься значне підвищення точності обробки і розширення технологічних можливостей. При використанні пристрою досягається висока продуктивність оброблення навіть в умовах дрібносерійного виробництва.

Для зміцнення поверхневого шару сферичних поверхонь, запропоновано пристрій [8]. В основу корисної моделі поставлена задача забезпечити розширення технологічних можливостей ППД, підвищення продуктивності і точності обробки неповної сферичної поверхні.

Задача вирішується шляхом встановлення у корпусі планетарної головки генератора механічних імпульсів, який має кінематичний зв'язок між ротором головки, розміщеними на ньому деформуючими елементами і ударними механізмами, закріпленними на корпусі пристрою, причому бойки ударних механізмів і деформуючі елементи виконані з можливістю переміщення у напрямку перпендикулярному до

осі обертання ротора. Це дозволяє управляти глибиною і ступенем зміцнення поверхневого шару, його мікрорельєфом, а також підвищувати якість, точність і продуктивність оброблення, завдяки використанню багатоеlementного деформуючого інструмента.

Проведено модернізацію конструкції кульової опори спрямовану на забезпечення стабільної щільності контакту в парі тертя (палець-вкладиш), що дасть можливість зменшити вплив динамічної складової і наблизитись до нормального процесу зношування крива 2 рис. 3 [9]. Кульовий шарнір містить корпус, палець із кульовою голівкою, заглушку і розміщений у гнізді корпусу вкладиш, який складається з двох частин. Гніздо корпусу має конусоподібну форму, заглушка оснащена пружинним елементом, а вкладиші виготовлені із композиційних матеріалів з антифрикційними наповнювачами з можливістю осьового переміщення у гнізді корпусу, причому кульова голівка пальця виконана зі зміцненим поверхневим шаром і мікрорельєфом, утримуючим мастило. Пропонована конструкція є саморегульованою.

В процесі експлуатації кульової опори, за рахунок використання вкладишів, виготовлених із композиційних матеріалів з антифрикційними наповнювачами, а також завдяки зміцненню поверхневого шару і наявності на сферичній поверхні кульового пальця кишень, що утримують мастило, в зоні контакту кульовий палець-вкладиш забезпечуються умови нормального зношування і як наслідок, висока зносостійкість і довговічність кульового шарніра.

Випробування дослідної партії кульових шарнірів, виготовлених у відповідності до запропонованої корисної моделі, підтвердили підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговуванні.

### Висновки

Проведено дослідження кульових опор і отримано графік залежності величини зазору у спряжені палець-вкладиш від напрацювання, установлені основні фактори впливу на процес зношування рухомих сферичних шарнірних з'єднань на прикладі кульової опори передньої підвіски автомобіля. Визначені основні шляхи підвищення їх довговічності. Запропоновані конструкторські і технологічні рішення для модернізації конструкції кульової опори підвіски легкового автомобіля, які забезпечують суттєве підвищення їх експлуатаційних властивостей і зниження трудомісткості при технічному обслуговуванні.

Результати проведеної роботи планується використати для розроблення рекомендацій щодо модернізації рухомих сферичних шарнірних з'єднань з метою підвищення їх довговічності.

### Література

1. Чернова Г.А. Оценка прочности деталей рулевого управления / Г.А. Чернова, В.Н. Тышкевич, К.А. Бадиков, Ю.И. Моисеев // Изв. ВолгГТУ. – 2013. – № 2. – С. 43–47.
2. Кузьменко А.Г. Контактная механика и расчеты на износ опор скольжения : монография / А.Г. Кузьменко, А.Г. Любин. – Хмельницкий : ХНУ, 2008. – 550 с.
3. Кузьменко А.Г. Теоретическая и экспериментальная трибология. В 12 т. Т. III Развитие методов контактной трибологии : монография / А.Г. Кузьменко. – Хмельницкий : ХНУ, 2010. – 270 с.
4. Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості кульової опори автомобіля ВАЗ – 2109 / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.Ф. Письменюк // Вісник ХНУ. – 2005. – № 5. Ч.1, Т. 1. – С. 71–73.
5. Киричек А. В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А. В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.Г. Лазуткин. – М. : Машиностроение, 2004. – 288 с.
6. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с., ил.
7. Поз. рішення на корисну модель № u201611728 Україна, МПК В23В 5/00. Пристрій для точіння зовнішніх сферичних поверхонь / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; Хмельницький національний університет (ХНУ). – u201611728 ; заявл. 21.11.2016.
8. Поз. рішення на корисну модель № u201611738 Україна, МПК В24 В 39/04. Пристрій для зміцнення сферичних поверхонь / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; Хмельницький національний університет (ХНУ). – u201611738 ; заявл. 21.11.2016.
9. Поз. рішення на корисну модель № u201611725 Україна, МПК F16 С 11/06. КУЛЬОВИЙ ШАРНІР / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; Хмельницький національний університет (ХНУ). – u201611725 ; заявл. 21.11.2016.

Рецензія/Peer review : 17.3.2017 р.

Надрукована/Printed : 19.4.2017 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Гладкий Я.М.