

Удосконалення конструкції та технології виготовлення кульової опори підвіски автомобіля

Обґрунтована необхідність удосконалення сферичних шарнірних з'єднань на прикладі кульової опори передньої підвіски легкового автомобіля. Мета роботи полягає в удосконаленні конструкції і технології виготовлення кульового шарніра підвіски автомобіля для поліпшення його експлуатаційних можливостей шляхом підвищення довговічності роботи сферичної трибосистеми «кульовий палець-вкладиш». Сформульовані шляхи підвищення довговічності сферичних шарнірних з'єднань конструкторсько-технологічними методами. Розглянуто основні фактори впливу на процес зношування сферичної трибосистеми «палець-вкладиш». З врахуванням існуючого досвіду і результатів проведених досліджень розроблено саморегульований кульовий шарнір з пружним елементом оригінальної конструкції. На основі кінематичної схеми виготовлення сфери, розроблено пристрій для токарної обробки неповної сферичної поверхні пальця високої точності. Для зміцнення неповних сферичних поверхонь поверхневим пластичним деформуванням розроблено статико-імпульсний пристрій, який забезпечує формування поверхневого шару з гетерогенною структурою, необхідними фізико-механічними властивостями та геометрично визначеним мастилоутримуючим мікрорельєфом. Результати проведеної роботи планується узагальнити і використати для виготовлення конкурентоспроможних виробів, які містять деталі з неповними сферичними поверхнями.

Ключові слова: кульовий шарнір; сферична поверхня; поверхневий шар; гетерогенна структура; зношування; зміцнення.

Вступ. Постановка проблеми. В техніці широко застосовуються сферичні шарніри ковзання, які є відповідальними елементами машин. Характерним прикладом може служити кульова опора (КО) підвіски легкового автомобіля, основною деталлю якої є кульовий палець, неповна сферична частина (головка) якого знаходиться всередині корпусу і охоплюється вкладишем, виготовленим з полімерного матеріалу. Функціональним призначенням підвіски автомобіля є забезпечення пружного зв'язку між кузовом та колесами, пом'якшення поштовхів та ударів при русі автомобіля. Існує проблема передчасного виходу з ладу сферичної трибосистеми: «кульовий палець-вкладиш». Підвищене спрацювання пари тертя призводить до втрати кінематичної точності механізму у результаті погіршується керуваність автомобіля, з'являються недопустимі шум, удари та вібрації, що може призвести до аварійної відмови.

У сучасному машинобудуванні існує проблема передчасного виходу з ладу деталей машин. Втрата їх працездатності зазвичай пов'язана з руйнуванням поверхневого шару. Незважаючи на постійний розвиток науки і техніки задача підвищення надійності та довговічності деталей сферичних шарнірних з'єднань конструкторсько-технологічними методами, які б забезпечували високі експлуатаційні характеристики є актуальним завданням [1, 2].

Аналіз основних досліджень і публікацій. Більшість кульових шарнірів підвіски автомобілів відрізняються лише типорозмірами та конструктивним виконанням у залежності від призначення та маси автомобіля. Основними постійно діючими причинами виникнення дефектів кульових опор передньої підвіски при їх експлуатації є: зношування; пластичні деформації; втомні руйнування; корозія; фізико-хімічні зміни матеріалу деталей, оскільки сферична трибосистема «палець-вкладиш» працює в умовах граничного тертя з обмеженим змащуванням (товщина мастила від 1 мкм до молекулярних шарів).

Встановлено граничнодопустиме значення параметра радіального і осьового зазору - 0,7 мм спричиненого процесом зношування в парі тертя. За цієї умови кульова опора підлягає заміні або ремонту [3,4].

В прогресивних технологічних процесах все більше уваги приділяється операціям поверхневого зміцнення, яке забезпечує параметри якості поверхневого шару на рівні, відповідному максимальному підвищенню необхідної сукупності експлуатаційних властивостей. На сьогодні широке застосування знайшло пластичне зміцнення шляхом поверхневого пластичного деформування (ППД) [5].

Широкі технологічні можливості ППД дозволяють одержувати гетерогенно зміцнені структури. Чергування у поверхневому шарі зміцнених твердих ділянок з менш зміцненими в'язкими сприяє гальмуванню розвитку мікротріщин і підвищенню втомної міцності матеріалу. При абразивному зношуванні поверхні тверді включення в пластичній основі утруднюють контакт абразивних часток з

матеріалом основи, що дозволяє багаторазово збільшити зносостійкість у порівнянні з рівномірно зміцненим поверхневим шаром. При цьому для одержання гетерогенно-зміцнених структур можуть бути використані різні методи ППД, але найефективнішою є статико-імпульсна обробка (СІО) [6-8].

Мета роботи – удосконалення конструкції і технології виготовлення кульового шарніра підвіски автомобіля для поліпшення його експлуатаційних можливостей шляхом підвищення довговічності роботи сферичної трибосистеми «кульовий палець - вкладиш».

Викладення основного матеріалу. Результати проведених авторами досліджень свідчать, що основними факторами, які впливають на довговічність кульової опори є [9]:

- 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 мастило 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.

Запропоновано модернізовану конструкцію кульового шарніра, розріз якого представлений на рисунку 1 [10, 11].

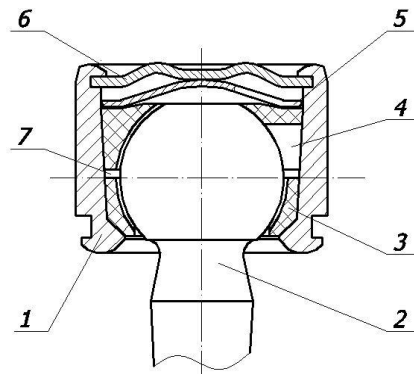


Рис. 1. Кульовий шарнір

1 – корпус; 2 – палець з кульовою головкою; 3 – вкладиш нижній;
4 – вкладиш верхній; 5 – пружний елемент; 6 – кришка; 7 – зазор.

Кульовий шарнір містить корпус 1, у конусному гнізді якого встановлено полімерний вкладиш 3 і 4, виконаний з можливістю осевого переміщення в гнізді корпусу 1 (наприклад, через наявність розрізів, канавок) і виготовлений із композиційного матеріалу із антифрикційними наповнювачами (наприклад, виготовлення вкладишу з полімеру, армованого вуглеволокном), що охоплює палець 2 з кульовою головкою, поверхневий шар якої зміцнений і має мікрорельєф для утримання мастила (сформований, наприклад, поверхнево-пластичним деформуванням). Вкладиш складається із двох частин - нижньої частини 3 й верхньої частини 4. Верхня частина 4 вкладиша та нижня частиною 3 вкладиша є зазор 7. У корпусі 1, над верхньою частиною 4 вкладиша розміщений пружний елемент 5 заглушки 6.

Кульовий шарнір збирається в такий спосіб. У конічну частину гнізда корпусу 1 запресовується нижня частина вкладиша 3, потім встановлюється палець 2 з кульовою головкою так, щоби нижня частина вкладиша 3 охоплювала кульову головку. На кульову голівку пальця 2 попередньо наносять

мастило. Після чого в кінчну частину гнізда корпусу 1 послідовно встановлюють верхню частину вкладиша 4, заглушку 6 з пружинним елементом 5. Заглушка 6 фіксується в корпусі 1, наприклад, вальцюванням.

Робота пропонованого кульового шарніра здійснюється при установленні його у підвіску і русі транспортного засобу.

Під час роботи конструктивні елементи кульового шарніра - корпус 1, полімерні вкладиші 3, 4 і кульовий палець 2, зазнають значних знакозмінних навантажень. При фіксуванні заглушки 6 в корпусі 1 відбувається первина деформація пружного елемента 5, який під час експлуатації забезпечує осьове переміщення вкладиша 4, завдяки зазору 7, а також щільність посадки кульової головки і вкладиша, стабілізує моменти хитання й обертання в кульовому шарнірі. 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 маслоутримуючого мікрорельєфу, в зоні контакту сферичної трибосистеми кульовий палець-вкладиш забезпечується незначний коефіцієнт тертя і як наслідок, висока зносостійкість і довговічність кульового шарніра.

Практичний досвід експлуатації кульових шарнірів свідчить про суттєвий вплив на їх довговічність відхилення від сферичності робочої поверхні кульового пальця. На основі кінематичної схеми обробки сферичної поверхні пальця (рис. 2), розроблено пристрій для токарної обробки неповної сферичної поверхні пальця, загальний вид якого представлено на рисунку 3 [12, 13]. Пристрій дозволяє вести чорнове і чистове обточування НСП з $R_{\min} = 5$ мм стандартним різцем, вершина якого зміщена відносно осі обертання пристрою на деяку відстань e , що дозволяє зменшити технологічну відстань від центра сфери до закріплення у патроні. Таким чином з'являється можливість обточування коротких деталей з НСП без спеціальних оправок.

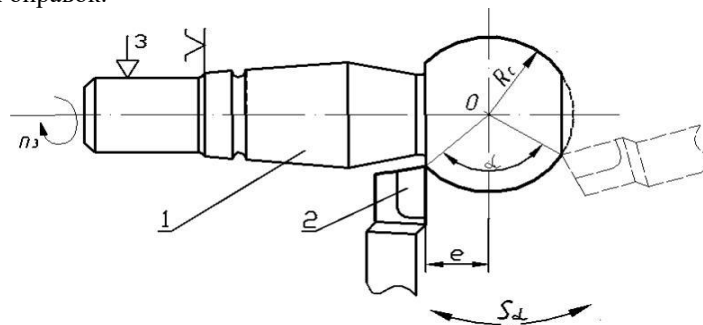


Рис. 2. Кінематична схема обробки неповної сферичної поверхні кульового пальця:
1 – заготовка; 2 – різець

Згідно кінематичної схеми обробки заготовці надається обертовий рух відносно власної осі D_3 з частотою n_3 об/хв., при цьому ріжучий інструмент здійснює головний рух подачі D_s огинаючи сферичну поверхню заготовки відносно центра сфери з кутовою подачею S_α на деякий кут α у площині різання.

Технологічними елементами режимів обробки НСП є: частота обертання заготовки, кутова подача, глибина різання, фізико-механічні властивості матеріалу заготовки та геометричні характеристики інструмента.

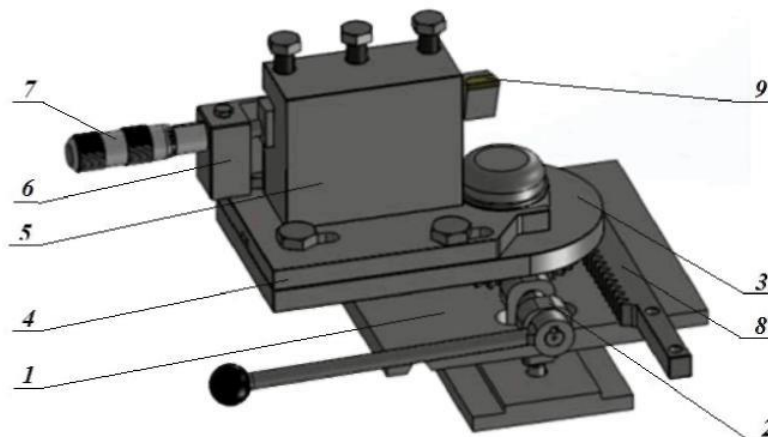


Рис. 3. Загальний вигляд пристрою для токарної обробки неповних сферичних поверхонь: 1 – платформа; 2 – механізм фіксації; 3 – поворотний стіл; 4 – платформа поперечних переміщень різцетримача; 5 – різцетримач; 6 – кронштейн; 7 – мікрогеометричний гвинт; 8 – зубчаста рейка; 9 – різець.

Пристрій встановлюється на призматичних напрямних станини токарного верстата, виконаний з можливістю поздовжнього переміщення і фіксації в потрібному положенні і містить поворотний стіл із закріпленим на ньому різцетримачем з установленим в ньому різцем, оснащений механізмом налагодження різцетримача і різця, регульованим підшипниковим вузлом, причому обертання столу здійснюється механізмом рейкового типу, який має кінематичний зв'язок із супортом верстата, який досягається за рахунок з'єднання зубчастої рейки з супортом поздовжніх переміщень верстата. Даний пристрій дозволяє вести обробку з широким діапазоном розмірів оброблюваної поверхні і може використовуватись в серійному та одиничному виробництві.

Робота даного пристрою ґрунтується на властивості сферичної поверхні, яка полягає у тому, що будь-який її перетин площиною, включаючи площини, зміщені щодо центру сфери, дає коло. Це дозволяє представити процес формоутворення неповної сфери як узгоджені рухи по напрямній лінії твірної кола, отриманої за рахунок обертання заготовки і твірної лінії кола, описаного 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 з мінімальним відхиленням від сферичності.

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 неповних сферичних поверхонь статико-імпульсним ППД з отриманням поверхневого шару з гетерогенною структурою, необхідними фізико-механічними властивостями та геометрично визначеним мастилоутримуючим мікрорельєфом розроблено кінематичну схему процесу обробки, представлену на рис.4.

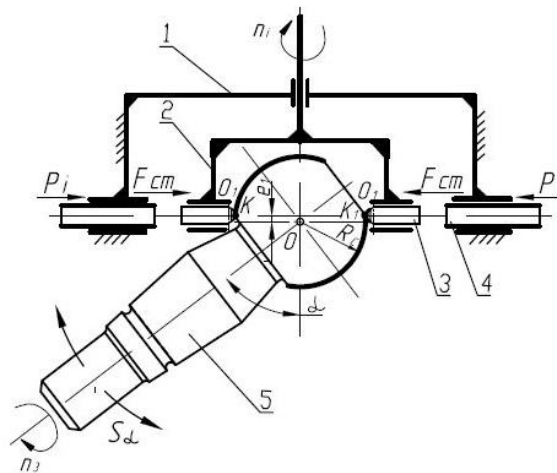


Рис. 4. Кінематична схема процесу статико-імпульсної обробки неповної сферичної поверхні:
1 – корпус; 2 – ротор; 3 – деформуючий елемент; 4 – ударник; 5 – палець

Згідно кінематичної схеми обробки ротору деформуючої головки надається обертовий рух відносно осі ZZ з частотою n_i , об/хв. Кульовий палець обертається з частотою n_3 , об/хв навколо власної осі та повертається у процесі обробки на деякий кут α відхилення від сферичності робочої поверхні кульового пальця у площині деформуючих елементів. Сферична поверхня пальця знаходиться у постійному контакті з статично навантаженими інденторами силою $F_{ст}$. Статичне навантаження сприяє більш повному використанню енергії удару W.

Періодичне імпульсне навантаження генерується ударною системою, тобто ударами бойків по інденторам з періодичністю заданою механічним генератором імпульсів.

Технологічними параметрами викінчувально-зміцнювальної обробки неповних сферичних поверхонь є: частота обертання інструменту (ротора пристрою), частота обертання заготовки, кутова подача, статичне навантаження інденторів та енергія одиничного удару.

Для зміцнення поверхневого шару сферичних поверхонь, розроблена технологічна оснастка [14], загальний вигляд якої представлено на рисунку 5.

Технологічна оснастка встановлюється на призматичних напрямних станини токарного верстата. Інструментальна головка містить ротор, обертання якого забезпечується від шпинделя верстата. На роторі розміщені статично навантажені деформуючі елементи. Ударні механізми інструментальної головки кінематично зв'язані з генератором механічних імпульсів, виконаним у вигляді кулачкового механізму, встановленого на роторі. Це забезпечує статико-імпульсне навантаження на сферичну

поверхню кульового пальця, закріпленого у пристрої, який встановлений на поворотному столі. Причому пристрій має індивідуальний привід, а поворотний стіл кінематично зв'язаний із супортом верстата.

Запропонована оснастка розширює технологічні можливості поверхневого пластичного зміцнення завдяки використанню статико-імпульсного ППД, що підвищує продуктивність і точність обробки і дозволяє керувати глибиною зміцненого шару, ступенем зміцнення і мікрорельєфом сферичної поверхні кульового пальця.

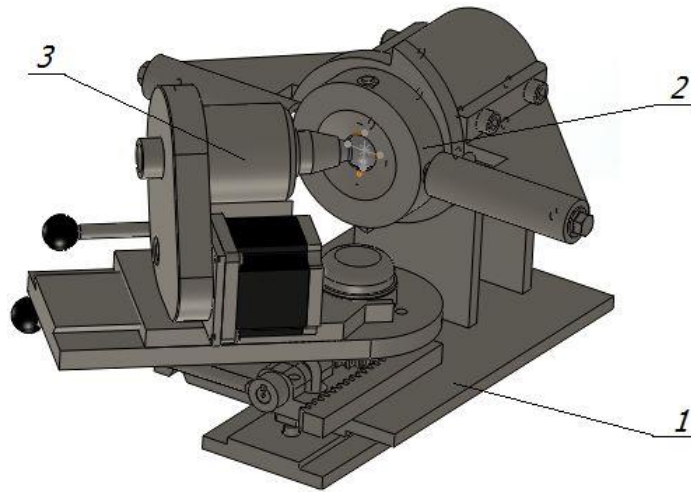


Рис. 5. Технологічна оснастка для статико-імпульсного зміцнення ППД неповної сферичної поверхні пальця кульової опори: 1 – платформа; 2 – інструментальна головка для статико-імпульсного деформування; 3 – поворотний пристрій для закріплення заготовки

Висновки. Встановлені основні фактори впливу на процес зношування сферичних шарнірних з'єднань на прикладі кульової опори підвіски автомобіля. Визначені основні шляхи підвищення їх довговічності. Запропоновані конструкторські і технологічні рішення для модернізації конструкції кульової опори підвіски легкового автомобіля.

Розроблено верстатні пристрої для обточування неповних сферичних поверхонь і їх зміцнення статико-імпульсним ППД з отриманням поверхневого шару з гетерогенною структурою, необхідними фізико-механічними властивостями та геометрично визначеним на сферичній поверхні мастилоутримуючим мікрорельєфом.

Результати проведеної роботи планується узагальнити для формування рекомендацій щодо проектування і виготовлення шарнірних з'єднань, які містять деталі з неповними сферичними поверхнями.

Список використаної літератури:

1. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Панфилов и др. ; под ред. А.Г. Суслова. – М. : Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2014. – № 1 (45). – С. 52–57.
3. Кузьменко А.Г. Развитие методов испытаний на износ и их применение для шаровых опор автомобиля : монография / А.Г. Кузьменко, С.В. Сытник. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – 222 с. – (Серия «Теоретическая и экспериментальная трибология» : в 12 т. ; Т. 11).
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. Зайдес С.А. Современное состояние отделочно-упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием / С.А. Зайдес // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – Т. 20, № 10. – С. 28–34.
6. 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.
7. Киричек А.В. Создание гетерогенной структуры материала статико-импульсной обработкой / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев // СТИН. – 2007. – № 12. – С. 28–31.
8. Киричек А.В. Разработка параметров для описания гетерогенно-упрочненной структуры / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, С.В. Баринев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – № 1 (285). – С. 63–66.
9. Косіюк М.М. Підвищення довговічності рухомих сферичних шарнірних з'єднань / М.М. Косіюк, С.А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. – 2017. – № 2. – С. 47–51.

10. Косіюк М.М. Удосконалення конструкції кульового шарніра підвіски автомобіля / М.М. Косіюк, С.А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. – 2017. – № 4. – С. 20–25.
11. Пат. 116145 Україна, МПК F16C 11/06. Кульовий шарнір / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет ; заявл. 21.11.16 ; опубл. 10.05.17, Бюл. № 9.
12. Пат. 116147 Україна, МПК B23B5/00. Пристрій для точіння зовнішніх сферичних поверхонь / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет ; заявл. 21.11.16 ; опубл. 10.05.17, Бюл. № 9.
13. Косіюк М.М. Формоутворення неповних сферичних поверхонь на універсальних верстатах токарної групи / М.М. Косіюк, С.А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. – 2017. – № 3. – С. 47–52.
14. Пат. 116148 Україна, МПК B23B5/00. Пристрій для зміцнення сферичних поверхонь / М.М. Косіюк, С.А. Костюк ; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет ; заявл. 21.11.16 ; опубл. 10.05.17, Бюл. № 9.

References:

1. Suslov, A.G., Bez#jazychnyj, V.F., Panfilov, Ju.V. and others (2008), *Inzhenerija poverhnosti detalej*, in Suslov, A.G. (ed.), Mashinostroenie, Moskva, 320 p.
2. Gun, I.G. and others (2014), «Razrabotka, modelirovanie i sovershenstvovanie processov proizvodstva sharovyh sharnirov avtomobilej», *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova*, No. 1 (45), pp. 52–57.
3. Kuz'menko, A.G. and Sytnik, S.V. (2010), «Razvitie metodov ispytanij na iznos i ih primenenie dlja sharovyh opor avtomobilja», monografija, in book's serija *Teoreticheskaja i jeksperimental'naja tribologija*, in 12 volumes, Vol. 11, HNU, Hmel'nickij, 222 p.
4. Sviders'kyj, V.P., Kyrychenko, L.M. and Pys'menjuk, O.F. (2005), «Pidvyshhennja znosostijkosti kul'ovoi' opory avtomobilja VAZ–2109», *Visnyk HNU*, No. 5, Ch. 1, Vol. 1, pp. 71–73.
5. Zajdes, S.A. (2016), «Sovremennoe sostojanie otdeločno-uprochnjajushhej obrabotki poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem», *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, Vol. 20, No. 10, pp. 28–34.
6. Kirichek, A.V., Solov'ev, D.L. and Lazutkin, A.G. (2004), «Tehnologija i oborudovanie statiko-impul'snoj obrabotki poverhnostnym plasticheskim deformirovaniem», *Mashinostroeie*, Moskva, 288 p.
7. Kirichek, A.V. and Solov'ev, D.L. (2007), «Sozdanie geterogennoj struktury materiala statiko-impul'snoj obrabotkoj», *STIN*, No. 12, pp. 28–31.
8. Kirichek, A.V., Solov'ev, D.L. and Barinov, S.V. (2011), «Razrabotka parametrov dlja opisanija geterogenno-uprochnennoj struktury», *Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii*, No. 1 (285), pp. 63–66.
9. Kosijuk, M.M. and Kostjuk, S.A. (2017), «Pidvyshhennja dovgovichnosti ruhomyh sferychnyh sharnirnyh z'jednan'», *Visnyk Hmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 2, pp. 47–51.
10. Kosijuk, M.M. and Kostjuk, S.A. (2017), «Udoskonalennja konstrukcii' kul'ovogo sharnira pidvisky avtomobilja», *Visnyk Hmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 4, pp. 20–25.
11. Kosijuk, M.M. and Kostjuk, S.A., Hmel'nyc'kyj nacional'nyj universytet (2017), Pat. 116145 Ukrai'na, *MPK F16C 11/06. Kul'ovyj sharnir* [Ball joint], State Register of Patents of Ukraine, Kyi'v, UA, Pat. 116145.
12. Kosijuk, M.M. and Kostjuk, S.A., Hmel'nyc'kyj nacional'nyj universytet (2017), *MPK B23B5/00. Prystrij dlja tochinnja zovnishnih sferychnyh poverhon'* [A device for sharpening external spherical surfaces], State Register of Patents of Ukraine, Kyi'v, UA, Pat. 116147.
13. Kosijuk, M.M. and Kostjuk, S.A. (2017), «Formoutvorennja nepovnyh sferychnyh poverhon' na universal'nyh verstatah tokarnoi' grupy», *Visnyk Hmel'nyc'kogo nacional'nogo universytetu*, Serija *Tehnichni nauky*, No. 3, pp. 47–52.
14. Kosijuk, M.M. and Kostjuk, S.A., Hmel'nyc'kyj nacional'nyj universytet (2017), *MPK B23B5/00. Prystrij dlja zmicnennja sferychnyh poverhon'* [A device for strengthening spherical surfaces], State Register of Patents of Ukraine, Kyi'v, UA, Pat. 116148.

Косіюк Микола Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету.

Наукові інтереси:

- автоматизація виробничих процесів;
- технологія машинобудування;
- машинознавство;
- методологія науково-технічної творчості та інтелектуальної власності.

E-mail: av_kny@ukr.net.

Костюк Сава Андрійович – аспірант кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету.

Наукові інтереси:

- технологія машинобудування;
- автоматизація виробничих процесів;
- машинознавство.

E-mail: kostyk3333@i.ua.

Стаття надійшла до редакції 22.09.2017.