

М.М. КОСІЮК, С.А. КОСТЮК  
Хмельницький національний університет

## МАШИНА ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ЗОВНІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ СТАТИКО-ІМПУЛЬСНОЮ ОБРОБКОЮ

*В статті розглянуті головні аспекти створення машини для підвищення працездатності деталей з сферичними та циліндричними поверхнями біполярною статико-імпульсною обробкою. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано машину для біполярного статико-імпульсного зміцнення зовнішніх поверхонь обертання, яка розширює технологічні можливості поверхнево-пластичного деформування та підвищує продуктивність і точність обробки, дозволяє керувати ступенем зміцнення, а також формувати поверхневий шар з геометрично визначеним мікрорельєфом.*

*Ключові слова: поверхнєве пластичне деформування, статико-імпульсна обробка, удар, енергія, зміцнення, мікрорельєф.*

M. KOSIYUK S. KOSTYUK  
Khmel'nitsky National University

## MACHINE FOR STRENGTHENING EXTERNAL SURFACES OF ROTATION BY STATIC-PULSE TREATMENT

*The article considers the main aspects of the machine to improve working capacity parts with sphericals and cylindrical surfaces bipolar static-pulse processing. The aim of the work is to generalize the results of research on the development of technology and equipment for strengthening cylindricals and incomplete sphericals surfaces of machine parts by surface plastic deformation.*

*The authors conducted a set of theoreticals and experimental studies of static-pulse processing, which allows to strengthen the surface layer of parts in a combined static and dynamic force. To increase the productivity of the processing process and energy efficiency, a scheme of bipolar hardening. In this processing scheme, the workpiece in the form of a cylindricals or sphericals surface simultaneously receives two counter deformation waves, the energy of which is maximally used during the deformation of the surface layer of the workpiece. This intensifies the process of strengthening the surface layer of the workpiece and increases the energy efficiency of the strikes. A machine for bipolar static-pulse hardening of the outer surfaces of rotation of machine parts has been developed, the percussion devices of which have low metal consumption and provide the transfer of impact energy to the deformation zone with maximum efficiency. This is achieved by a rational ratio of the geometric parameters of the elements of the impact system. The machine increases productivity and accuracy of processing, allows to control depth of the strengthened layer, degree of strengthening and a microrelief of external surfaces of rotation of details of cars in the automatic mode according to the set algorithm.*

*The machine is made modular, which expands the technological capabilities of surface-plastic deformation and is important for its practical use.*

*Keywords: surface plastic deformation, static-pulse processing, impact, energy, hardening, microrelief.*

**Вступ.** Одним із головних завдань сучасного машинобудування є забезпечення високої надійності техніки в період її експлуатації. Розробка заходів з підвищення працездатності, надійності, довговічності механізмів і машин є однією із прикладних проблем машинознавства, вирішення якої можливе завдяки підвищенню експлуатаційних властивостей поверхневого шару деталей машин комбінованими технологічними методами структурної модифікації і поверхневого зміцнення. Одним з найбільш ефективних способів управління параметрами якості поверхневого шару є обробка поверхневим пластичним деформуванням (ППД). Методи обробки ППД прості в реалізації, забезпечують формування низької шорсткості, заданої глибини і ступеня зміцнення, дрібнозернистої структури та інших показників якості оброблених деталей. Істотною перевагою цих методів є також висока продуктивність і економічність процесу. Крім того, вони не вимагають великих капіталовкладень. Ефективність ППД виключно висока для деталей, що працюють в умовах циклічних навантажень, в корозійних середовищах, а також мають концентратори напружень. Однак можливість створення поверхневого шару з рівномірним зміцненням, а також формування ППД твердості оброблюваного матеріалу і залишкових напружень стиску до цього часу залишається не повністю реалізованою [1-3].

Розвиток нових прогресивних зміцнюючих технологій сприяє розробці сучасного обладнання та енергоєфективних технологічних машин. Створення спеціального технологічного обладнання для зміцнення зовнішніх поверхонь обертання та обґрунтування параметрів і режимів його роботи є актуальною задачею для різних галузей машинобудування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В передових розвинених країнах у всіх галузях промисловості все частіше застосовують методи ППД, різноманітні конструкції робочих інструментів і технологічного оснащення, виконано великий обсяг дослідних робіт по оцінці якості зміцнених деталей, їх надійності, довговічності і декоративних властивостей.

В наукових працях і довідковій літературі відмічена висока ефективність зміцнення поверхневого шару деталей машин ППД, які дозволяють поряд з істотним зниженням шорсткості і хвилястості створити поверхневий шар із технологічними напруженнями стиску і високою мікротвердістю, серйозно збільшити ресурс деталі [4 -7]. Однак, технологічні можливості більшості відомих видів ППД в управлінні параметрами якості поверхневого шару обмежені.

Статико-імпульсна обробка (СІО) є прогресивним методом обробки ППД, що дозволяє здійснювати зміцнення матеріалу в умовах комбінованого статичного і динамічного силового впливу. Технологія зміцнення СІО включає наступні етапи: попереднє статичне і подальше періодичне імпульсне навантаження інструменту. Внаслідок раціонального використання хвильових процесів СІО відрізняється високою енергетичною ефективністю. З літературних джерел відомо низку суттєвих переваг СІО, яка дозволяє варіювати в широких межах міцністю та зносостійкістю поверхневого шару, створювати сприятливі стискаючі залишкові напруження, а також формувати гетерогенну структуру робочих поверхонь деталей машин [8, 9].

Аналіз способів зміцнення поверхневого шару деталей машин методами ППД вказує на доцільність застосування СІО та проведення заходів з підвищення ефективності використання енергії удару, а також розроблення устаткування, для формування зміцненого поверхневого шару з одночасним формуванням геометрично визначеного мікрорельєфу. Відомо, що при навантаженні матеріалу ударами з однаковою енергією при використанні різних ударних систем, перенесена енергія в зону деформації буде різною. Це пов'язано з хвильовими процесами, що протікають в ударній системі і залежать від геометричних параметрів елементів ударної системи, фізико-механічних властивостей їх матеріалів і швидкості співударяння [10].

Метою роботи є узагальнення результатів досліджень з розробки технології і обладнання для статико-імпульсного зміцнення циліндричних і неповних сферичних поверхонь деталей машин.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** На основі аналізу науково-технічних джерел авторами проведено комплекс теоретичних і експериментальних досліджень, результати яких опубліковані в роботах [11–16]. При СІО застосовуються машини ударної дії зі статичним навантаженням інструмента, вектор дії якого збігається з напрямком дії ударного імпульсу, за рахунок чого досягається стабільність процесу зміцнення та зменшення втрат енергії удару (рис.1).

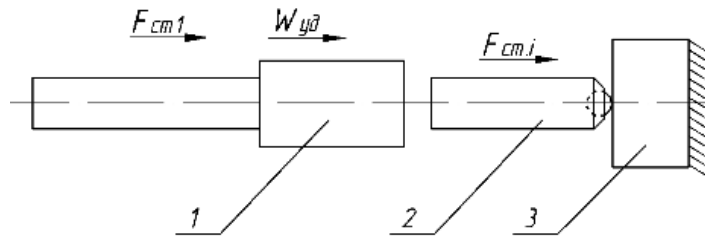


Рис. 1. Схема ударної системи  
1 – бойок; 2 – інструмент; 3 – заготовка.

Особливістю СІО є комбіноване статичне і динамічне навантаження матеріалу в зоні контакту інструмента і заготовки. В процесі СІО енергія удару подається в осередок деформації через проміжну ланку –інструмент з деформуючим елементом. Враховуючи особливості СІО ударні пристрої повинні забезпечувати передачу енергії удару в зону деформації з максимальним ККД, що досягається раціональним співвідношенням геометричних параметрів ударної системи (бойок-інструмент) і мати низьку металоємність.

Для дослідження параметрів ударного імпульсу в зоні деформації при поверхнево-пластичному зміцненні розроблено експериментально-вимірювальний комплекс оригінальної конструкції, який дозволяє моделювати процес одиничного ударного навантаження з різними початковими умовами, а також реєструвати параметри ударного імпульсу в зоні деформації.

Початкові умови навантаження та результати експериментальних досліджень при обробці заготовки, виготовленої із сталі 40Х, нормалізованої до твердості  $HV^{100} = 313$  наведені в таблиці 2.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що в ударній системі формується пролонгований ударний імпульс, який складається з основної та додаткової (хвостової) частини. Установлено, що форма імпульсу формується за рахунок рекуперації відбитих хвиль, геометричних співвідношень елементів ударної системи та оптимального статичного навантаження бойка й інструмента.

Проведено дослідження коефіцієнта корисної дії ударної системи в залежності від геометричних та акустичних властивостей ударної системи та умов навантаження. Найкращий результат зафіксовано для схеми із статичним навантаженням бойка та інструмента і використання ступінчастої форми бойка при співвідношенні довжин інструмента з деформуючими елементами та бойка, як 1/3. Аналіз отриманих результатів показав, що ця схема при однаковій енергії удару забезпечує підвищення мікротвердості до 20% у порівнянні з традиційною схемою обробки (без статичного навантаження), що вказує на зростання коефіцієнта використання енергії удару.

Для підвищення продуктивності процесу обробки та коефіцієнта використання енергії запропоновано схему біполярного зміцнення, зображеної на рис. 2. За такої схеми обробки, заготовка у вигляді циліндричної або сферичної поверхні, одночасно сприймає дві зустрічні деформаційні хвилі, енергія яких максимально використовується під час деформації поверхневого шару деталі. Це сприяє підвищенню коефіцієнта використання енергії удару бойків, інтенсифікує процес зміцнення поверхневого шару заготовки з одночасним формуванням геометрично визначеного мікрорельєфу.

Результати експериментальних досліджень

Початкові умови		Результати експериментальних досліджень		
Схема навантаження	Умови навантаження	Діаметр відбитка	Мікротвердість	Форма імпульсу
	$W_{уд} = 2.35$ Дж $F_{см.і} = 40$ Н; $R_i = 1.5$ мм	2.23	412	
	$W_{уд} = 2.35$ Дж $F_{см.і} = 40$ Н; $F_{см.1} = 150$ Н; $R_i = 1.5$ мм	2.28	430	

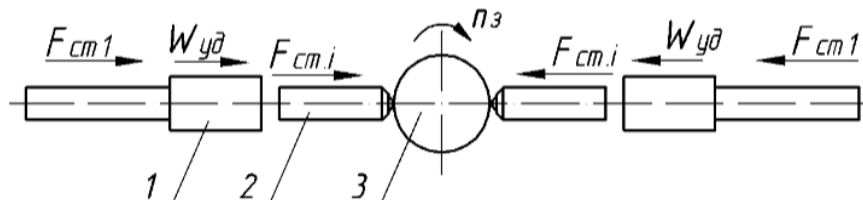


Рис. 2. Схема біполярного зміцнення  
1 – бойок; 2 – деформуючий інструмент; 3 – заготовка

Проведені дослідження процесу біполярної СІО у програмному комплексі Abaqus. На рис. 3 наведено контурні графіки розподілу напружень при зміцненні зразків прямокутного та круглого сечення для одного із кроків експерименту.

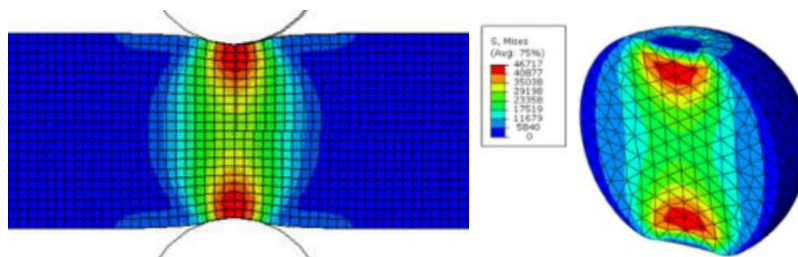


Рис. 3 – Контурний графік розподілу напружень під дією біполярного удару  
а – зразок прямокутного сечення; б – зразок сферичної форми

На рис. 4 – зображено модель ударної системи з статичним навантаженням інструмента з деформуючим елементом та комбінованим навантаженням бойка. Оброблювана поверхня заготовки 3 знаходиться у постійному контакті з статично навантаженими інструментами силою  $F_{см.і}$ . Статичне та динамічне навантаження бойка ударної системи інструментальної головки забезпечується за рахунок енергії пружно-деформованого тіла (стисненої пружини), параметри якої розраховуються так, щоб частина її потенціальної енергії перетворювалась в кінетичну енергію бойка  $W_{уд}$ , а інша витрачалась на статичне навантаження бойка  $F_{см.1}$ , і унеможливила його відскок.

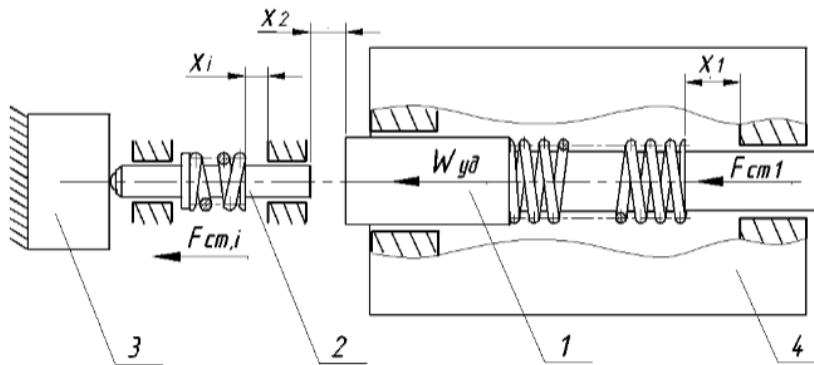


Рис. 4. Модель ударної системи  
 1 – боек; 2 – інструмент; 3 – заготовка; 4 – генератор імпульсів;  
 $x_1$  – попереднє стиснення пружини бойка;  $x_2$  – величина підйому бойка;  
 $x_i$  – попереднє стиснення пружини інструмента

Авторами пропонується машина модульної конструкції для біполярного статико-імпульсного зміцнення деталей з циліндричними та сферичними поверхнями, загальний вигляд якої зображено на рис. 5. Машина для біполярного зміцнення сферичних та циліндричних поверхонь методом ППД містить станину 1 на напрямних 2 якої встановлено супорт поздовжніх переміщень 3, передню бабку 4, в якій встановлено привід (не показано) і пристосування для закріплення і обертання заготовки 5, задню бабку 6, яка встановлена на напрямні 7. Заготовка закріплюється у пристосуванні 5, обертання якого забезпечується приводом (не показано), розміщеним в передній бабці 4.

На супорт поздовжніх переміщень 3 встановлено поворотний стіл 8 з індивідуальним приводом (не показано). Дві інструментальні головки 9, закріплені у пристосуванні 10, встановленому на поворотному столі 8 таким чином, що осі інструментів з деформуючими елементами головок 9 і вісь обертання стола 8 знаходяться в одній площині, перпендикулярній площині, в якій знаходиться вісь обертання пристосування для закріплення заготовки 5. Пристосування 10 оснащено механізмом регулювання інструментальних головок (не показано) відносно осі обертання заготовки, закріпленої у пристосуванні 5. Інструментальні головки 9, оснащені синхронізованими ударними системами з електромагнітними (пневматичними або гідравлічними), або механічними, переважно кулачковими, генераторами імпульсів з безступінчастим приводом (не показано) і цифровою системою керування. Поздовжнє переміщення супорта 3 забезпечується механізмом подачі (не показано), оснащеного безступінчастим приводом з цифровою системою керування.

Модуль управління машиною, виконаний на основі комп'ютеризованої системи з числовим програмним керуванням, містить пульт керування 11 та панель індикації 12.

Робота машини здійснюється наступним чином. Інструментальні головки 9, які закріплені на поворотному столі 8 налагоджуються на заданий розмір за допомогою пристосування 10, оснащеного механізмом регулювання (не показано) інструментальних головок 9 відносно осі обертання пристосування 5 для закріплення заготовки.

При обробці зовнішніх циліндричних поверхонь заготовку закріплюють у пристосуванні 5 і задній бабці 6, яка служить для додаткової підтримки оброблюваної заготовки. Надають обертовий рух заготовці  $V_3$  і поздовжню подачу  $S_n$ . Система керування машини у відповідності до алгоритму забезпечує біполярне статико-імпульсне зміцнення та формування геометрично визначеного мікрорельєфу поверхневого шару.

При обробці неповних сферичних поверхонь, заготовку, наприклад, автомобільного кульового пальця, закріплюють у пристосуванні 5, надають обертовий рух  $V_3$  і поздовжню подачу  $S_n$  для підведення сферичної поверхні заготовки до контакту з деформуючими елементами інструментів головок 9.

Кутова подача  $S_a$  забезпечується завдяки повороту стола 8 на кут  $\alpha$ . Під дією ударної системи інструментальних головок 9 формується біполярне статико-імпульсне навантаження на сферичну поверхню заготовки. Система керування машини у відповідності до алгоритму, забезпечує оброблення всієї сферичної поверхні, нанесення геометрично визначеного мікрорельєфу з заданим коефіцієнтом перекриття пластичних відбитків.

Робота машини при зміцненні сферичних поверхонь ґрунтується на властивості сферичної поверхні, яка полягає у тому, що будь-який її перетин площиною, дає окружність. Таким чином, точність оброблення сферичної поверхні визначається кінематикою процесу, що дозволяє отримати неповні сферичні поверхні високої точності.

Запропонована машина розширює технологічні можливості поверхневого пластичного зміцнення завдяки використанню біполярного статико-імпульсного оброблення. Це підвищує продуктивність і точність обробки, дозволяє керувати глибиною зміцненого шару, ступенем зміцнення і мікрорельєфом зовнішніх поверхонь обертання деталей машин в автоматичному режимі у відповідності до заданого алгоритму.

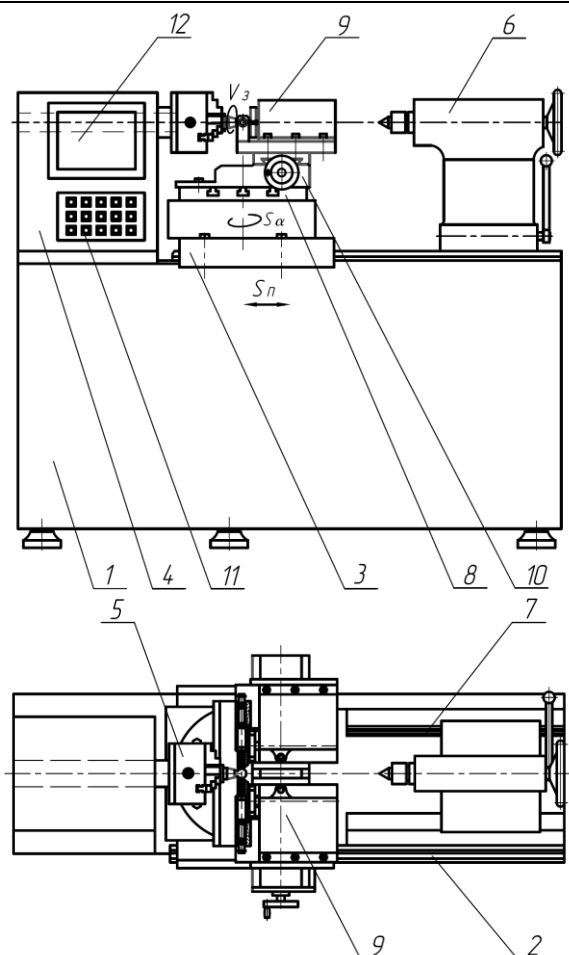


Рис. 6. Машина для біполярного статико-імпульсного зміцнення

**Висновок.** На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено машину для біполярного статико-імпульсного зміцнення зовнішніх поверхонь обертання деталей машин, ударні пристрої якої мають низьку металоємність і забезпечують передачу енергії удару в зону деформації з максимальним ККД. Це досягається раціональними співвідношеннями геометричних параметрів ударної системи. Машина підвищує продуктивність і точність обробки, дозволяє керувати глибиною зміцненого шару, ступенем зміцнення і мікрорельєфом зовнішніх поверхонь обертання деталей машин в автоматичному режимі у відповідності до заданого алгоритму. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури машини, що важливо для її практичного використання.

### Література

1. Овсенко А. Н., Серебряков В. И., Гаек М. М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения: монография. М.: Янус-К, 2003. - 296 с.
2. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей / А.Г. Суслов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Панфилов и др.; под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
3. Технологические процессы поверхностного пластического деформирования: монография / В.Ю. Блюменштейн, А.В. Киричек [и др.] ; под ред. С.А. Зайдеса. – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2007. – 404 с.
4. Зайдес, С.А. Энциклопедия поверхностного пластического деформирования / под ред. д.т.н., проф. С.А. Зайдеса. – Иркутск : Изд-во ИРНТУ. – 2015. – 396 с.
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. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник: в 2 т. Т. 1 / А. Г.Суслов, В. Ю. Блюменштейн, Р. В. Гуров [и др.]; под общ. ред. А. Г. Суслова. –М.: Машиностроение, 2014. – 480 с.
7. Технология и инструменты отделочно-упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник: в 2 т. Т. 2 / А. Г.Суслов, А. П. Бабичев, А. В. Киричек [и др.]; под общ. ред. А. Г. Суслова. – М.:Машиностроение, 2014. – 444 с.
8. 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.

9. Эффективные технологии поверхностного пластического деформирования и комбинированной обработки / В.Н. Беляев, В.П. Иванов, А.Р. Ингеманссон, А.Н. Исаев, А.В. Киричек и др. – М.: Изд. дом «Спектр», 2014. – 403 с.
10. Алимов О.Д., Манжосов В.К., Еремьянц В.Э. Удар. Распространение волн деформаций в ударных системах. – М.: Наука, 1985. – 358 с.
11. Косіюк М.М. Підвищення ефективності використання енергії удару при статико-імпульсному зміцненні поверхневим пластичним деформуванням / М. М. Косіюк, С. А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2018. - № 4. - С. 49-56. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2018\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_4_10).
12. Косіюк М.М. Механічний генератор імпульсів машини ударної дії для статико-імпульсного зміцнення / М. М. Косіюк, С. А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. - 2018. - № 5. - С. 302-308. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2018\\_5\\_48](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_5_48).
13. Косіюк М.М. Підвищення довговічності сферичних шарнірів зміцненням кульових пальців статико-імпульсною обробкою / М.М. Косіюк, С.А. Костюк // WORLD SCIENCE DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws\\_RS\\_GlobalSp.z\\_O.O.,\\_Warsaw,\\_Poland,\\_2019,\\_№\\_5\(45\)\\_Vol.1,\\_May\\_2019](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws_RS_GlobalSp.z_O.O.,_Warsaw,_Poland,_2019,_№_5(45)_Vol.1,_May_2019).
14. Патент 116148 Україна, МПК B23B5/00. Пристрій для зміцнення сферичних поверхонь / Косіюк М.М., Костюк С.А.; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет; заявл. 21.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
15. Патент 132726 Україна, МПК B24B 5/00. Пристрій для зміцнення неповних сферичних поверхонь статико-імпульсною обробкою / Косіюк М.М., Костюк С.А.; заявники і власники патенту Косіюк М.М., Костюк С.А.; заявл. 01.10.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5.
16. Патент 132728 Україна, МПК F16C 11/06. Спосіб збільшення ресурсу сферичного шарніра / Косіюк М.М., Костюк С.А.; заявники і власники патенту Косіюк М.М., Костюк С.А.; заявл. 01.10.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5.

#### References

1. Ovseenko A. N., Serebryakov V. I., Gaek M. M. Tekhnologicheskoe obespechenie kachestva izdelii mashinostroeniya: monografiya. M.: Yanus-K, 2003. - 296 s.
2. Suslov A.G. Inzheneriya poverkhnosti detalei / A.G. Suslov, V.F. Bezyazychnyi, Yu.V. Panfilov i dr.; pod red. A.G. Suslova. – М.: Mashinostroenie, 2008. – 320 s.
3. Tekhnologicheskie protsessy poverkhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya: monografiya / V.Yu. Blyumenshtein, A.V. Kirichek [i dr.]; pod red. S.A. Zaidesa. – Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2007. – 404 s.
4. Zaidesa, S.A. Entsiklopediya poverkhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya / pod red. d.t.n., prof. S.A. Zaidesa. – Irkutsk : Izd-vo IRNITU. – 2015. – 396 s.
5. Zaidesa S.A. Sovremennoe sostoyanie otdelchno-uprochnyayushchei obrabotki poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem / S.A. Zaidesa // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2016. – Т. 20, № 10. – С. 28–34.
6. Tekhnologiya i instrumenty otdelchno-uprochniyushchei obrabotki detalei poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem: spravochnik: v 2 t. T. 1 / A. G.Suslov, V. Iu. Blyumenshtein, R. V. Gurov [i dr.]; pod obshch. red. A. G. Suslova. –М.: Mashinostroenie, 2014. – 480 s.
7. Tekhnologiya i instrumenty otdelchno-uprochniyushchei obrabotki detalei poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem: spravochnik: v 2 t. T. 2 / A. G.Suslov, A. P. Babichev, A. V. Kirichek [i dr.]; pod obshch. red. A. G. Suslova. – М.:Mashinostroenie, 2014. – 444 s.
8. Kirichek A.V. Tekhnologiya i oborudovanie statiko-impulsnoi obrabotki poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem / A.V. Kirichek, D.L. Solovev, A.G. Lazutkin. – М.: Mashinostroenie, 2004. – 288 s.
9. Effektivnye tekhnologii poverkhnostnogo plasticheskogo deformirovaniia i kombinirovannoi obrabotki / V.N. Beliaev, V.P. Ivanov, A.R. Ingemansson, A.N. Isaev, A.V. Kirichek i dr. – М.: Izd. dom «Spektr», 2014. – 403 s.
10. Alimov O.D., Manzhosov V.K., Eremians V.E. Udar. Rasprostranenie voln deformatsii v udarnykh sistemakh. – М.: Nauka, 1985. – 358 s.
11. Kosiuk M.M. Pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia enerhii udaru pry statyko-impulsnomu zmitsnenni poverkhnym plastychnym deformuvanniam / M. M. Kosiuk, S. A. Kostyuk // Herald of Khmelnytskyi National University. - 2018. - № 4. - S. 49-56. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2018\\_4\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_4_10).
12. Kosiuk M.M. Mekhanichniy henerator impulsiv mashyny udarnoi dii dlia statyko-impulsnoho zmitsnennia / M. M. Kosiuk, S. A. Kostyuk // Herald of Khmelnytskyi National University. - 2018. - № 5. - S. 302-308. - Rezhym dostupu: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu\\_tekh\\_2018\\_5\\_48](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vchnu_tekh_2018_5_48).
13. Kosiuk M.M. Pidvyshchennia dovhovichnosti sferychnykh sharniriv zmitsnenniam kulovykh paltziv statyko-impulsnoiu obrobkoiu / M.M. Kosiuk, S.A. Kostyuk // WORLD SCIENCE DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws\\_RS\\_GlobalSp.z\\_O.O.,\\_Warsaw,\\_Poland,\\_2019,\\_№\\_5\(45\)\\_Vol.1,\\_May\\_2019](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws_RS_GlobalSp.z_O.O.,_Warsaw,_Poland,_2019,_№_5(45)_Vol.1,_May_2019).
14. Patent 116148 Ukraina, MPK B23B5/00. Prystrii dlia zmitsnennia sferychnykh poverkhon / Kosiuk M.M., Kostyuk S.A.; zaiavnyk i vlasnyk patentu Khmelnytskyi natsionalnyi universytet; zaiavl. 21.11.2016 ; opubl. 10.05.2017, Biul. № 9.
15. Patent 132726 Ukraina, MPK V24V 5/00. Prystrii dlia zmitsnennia nepovnykh sferychnykh poverkhon statyko-impulsnoiu obrobkoiu / Kosiuk M.M., Kostyuk S.A.; zaiavnyky i vlasnyky patentu Kosiuk M.M., Kostyuk S.A.; zaiavl. 01.10.2018; opubl. 11.03.2019, Biul. № 5.
16. Patent 132728 Ukraina, MPK F16C 11/06. Sposib zbilshennia resursu sferychnoho sharnira / Kosiuk M.M., Kostyuk S.A.; zaiavnyky i vlasnyky patentu Kosiuk M.M., Kostyuk S.A.; zaiavl. 01.10.2018; opubl. 11.03.2019, Biul. № 5.