

Наукова думка, 1986. – 288 с.

2. Піпа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин / О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.

3. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин / Хомяк О.М. – К. : КНУТД, 2008. – 250 с.

4. Чабан В.В. Динаміка основов'язальних машин / Л.А. Бакан, Б.Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2012. – 287 с.

5. Поляков В.С. Справочник по муфтам / И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1979. – 351 с.

6. Машины кругловязальные типа КО–2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы. 1992. – 86 с.

7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / А.П. Яковлев, В.В. Матвеев В.В. – К. : Наукова думка, 1975. – 704 с.

8. Піпа Б.Ф. К вопросу снижения динамических нагрузок в кругловязальной машине / Піпа Б.Ф., Набулси А.С.–А. – К. : ГАЛПУ, 1994. – 14 с. – Деп. в ГНТБ Украины 20.04.94, № 782–Ук 94.

Отримана/Received : 2.4.2017 р. Надрукована/Printed :8.6.2017 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

УДК 621.941

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

## ФОРМОУТВОРЕННЯ НЕПОВНИХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ

*В статті розглянуто область застосування та приведені характерні представники деталей машин з неповними сферичними поверхнями. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто методи отримання штучних заготовок з конструктивним елементом у вигляді неповної сферичної поверхні. Розглянуто питання формоутворення різанням неповних сферичних поверхонь деталей машин. Проведено аналіз існуючих кінематичних схем лезової та абразивної обробки неповних сферичних поверхонь. Розглянуто конструкції верстатних пристроїв для обточування неповних сферичних поверхонь. Запропоновано кінематичну схему процесу обточування неповних сферичних поверхонь зі зміщеним інструментом на основі якої розроблено верстатний пристрій. Отримані математичні залежності для визначення кутової подачі в залежності від режимів обробки.*

*Ключові слова: сферична поверхня, різання, метод, деталь, параметр.*

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

## FORMATION OF INCOMPLETE SPHERICAL SURFACES ON UNIVERSAL LATHES

*In the article examined field of application and presented typical representatives of machine parts with incomplete spherical surfaces. Conducted analysis of recent research and publications. Considered Methods of obtaining billets from artificial constructive element in the form of incomplete spherical surfaces. Considered the question of forming incomplete spherical surfaces cutting machine parts. Conducted analysis of existing kinematics schemes edge cutting and abrasive processing incomplete spherical surfaces. Considered machine tool design devices for turning incomplete spherical surfaces. The proposed kinematic scheme machining processing incomplete spherical surfaces with a displacement tool based on which the device is designed for machining.*

*Keywords: spherical surface, cutting, method, parts, parameter.*

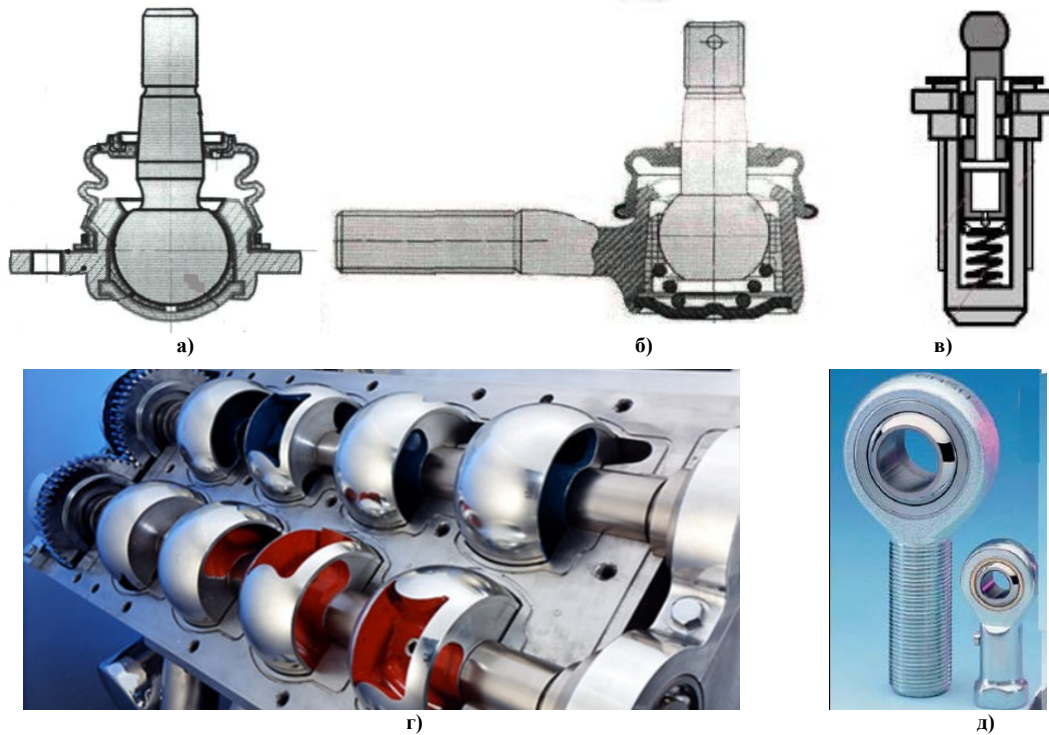
### Постановка проблеми

В сучасній техніці існує велика група деталей, конструктивним елементом яких є неповна сферична поверхня (НСП). Рис. 1: кульові пальці автомобільних кульових шарнірів, кульові пальці наконечників рульових тяг, сферичні наконечники штоків гідро-компенсаторів та розподільні вали з сферичними клапанами газорозподільного механізму двигунів внутрішнього згорання, шарніри роботів, кульові під'ятники, сферичні вкладиші бойків механізмів ударної дії і т. п.

Такі деталі переважно застосовуються в сферичних парах тертя, що утворюють кінематичні пари з трьома ступенями вільності. Найбільш важливою і трудомісткою частиною технологічного процесу виготовлення деталей з НСП є чорнова і чистова формотвірні операції лезової обробки сферичної поверхні, надання їй правильної геометричної форми з мінімальними відхиленнями від сферичності, заданого діаметра та шорсткості поверхні. В загальному рівень технологічного забезпечення для виготовлення НСП залишається недостатньо високим [1]. Тому питання розробки нових конструкцій ефективних верстатних пристроїв для обробки НСП є актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

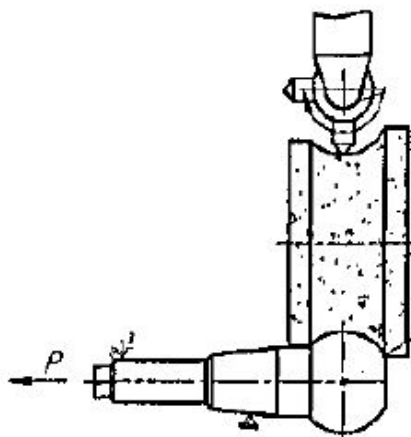
Отримання штучних заготовок з технологічним елементом у вигляді неповної сфери можливо різними методами: гарячим і напівгарячим об'ємним штампуванням, холодним об'ємним штампуванням, висадкою, комбінованим штампуванням, поперечно-клиновою прокаткою [2]. Крім перерахованих способів в одиничному і дрібносерійному виробництві можливе отримання деталей з НСП різанням з пруткової або штучної заготовки.



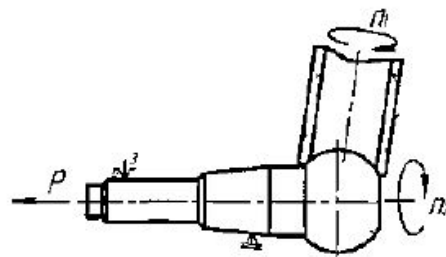
**Рис. 1. Характерні представники деталей з неповними сферичними поверхнями:**  
 а) кульовий шарнір; б) наконечник; в) гідрокомпенсатор; г) газорозподільний механізм двигуна внутрішнього згорання з сферичними клапанами; д) шарніри роботів

Деталі типу заготовок пальців кульових опор підвіски автомобіля як правило отримують гарячим штампуванням на кривошипних гарячощтампувальних пресах або холодною об'ємною висадкою, яка дозволяє отримати діаметральні розміри з точністю по 8-9 квалітету, а лінійні по 11-12 квалітету з параметром шорсткості  $R_a$  2.5...0.63 мкм [3].

При застосуванні високотехнологічних методів отримання заготовок методами ППД з НСП в якості формотвірної операції застосовують врізне шліфування профільними кругами рис.2, що дозволяє отримати сферичну поверхню пальця кульової опори по 6-8 квалітету. Шліфування сферичної поверхні трубчастими кругами рис. 3 не зважаючи на високу точність обробки має обмежене застосування через малу стійкість інструменту і можливе лише після чистових лезових формотвірних операцій.



**Рис. 2. Схема шліфування сферичної поверхні кульового пальця профільним кругом**



**Рис. 3. Схема шліфування сферичної поверхні кульового пальця трубчастим кругом**

Основними недоліками абразивної обробки є: висока вартість інструменту та обладнання, необхідність введення попередніх операцій для формування сферичної поверхні, а також необхідність введення додаткової операції очищення виробів від абразиву.

Формування сферичних поверхонь різанням як правило отримують на верстатах токарної групи за допомогою схеми плоско-паралельного точіння (з використанням гідрокопіювальних верстатів та верстатів з ЧПК) рис.4, фасонного точіння, точіння з використанням поворотних пристроїв рис. 5 [4] та точіння з використанням спеціальних супортів на верстатах автоматах [5].

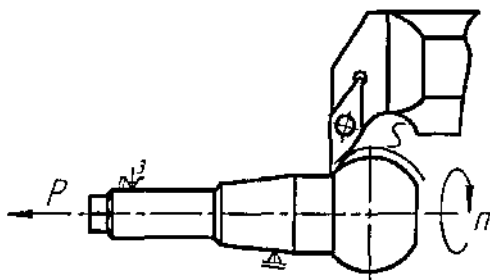


Рис. 4. Схема плоско-паралельного точіння сферичної поверхні кульового пальця

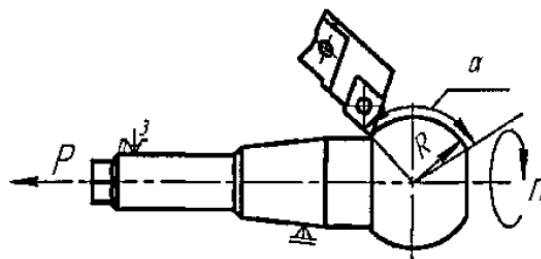


Рис. 5. Схема токарної обробки сфери кульового пальця з використанням поворотного пристрою

При плоско-паралельній схемі точіння з використанням верстатів з ЧПК, ріжучий інструмент переміщується по двом координатам, при цьому кінцева точка формування твірної (профілю) сфери постійно зміщується по радіусу вершини різця, що впливає на відхилення форми сфери від номінальної, що складає 30–90 мкм біля торцевих поверхонь. При реалізації даної схеми з використанням гідрокопіювальних верстатів отримати сферичну поверхню можливо лише з двох переходів при точінні лівим та правим різцем. При цьому зміщення напівсфер може досягати 0,1 мм, що потребує введення додаткової шліфувальної операції.

При обточуванні з використанням поворотних пристроїв можлива обробка зовнішніх НСП з  $R > 15$  мм, стандартним інструментом, при чому забезпечується переміщення вершини різця по дузі радіусом  $R$  на деякий кут  $\alpha$ , рис. 5.

Для забезпечення фасонного точіння сферичної поверхні необхідно застосовувати дорогий спеціальний інструмент (вартість якого вища від вартості стандартного на 350–500%) та потужні верстати підвищеної жорсткості. Крім того при використанні фасонних різців необхідно враховувати, що твердосплавні різці погано працюють на врізання (у порівнянні з різцями із швидкорізальних сталей), що ускладнює використання високопродуктивного твердосплавного інструменту.

Обточування з використанням спеціальних супортів на верстатах автоматах дозволяє отримати сферичні поверхні 9–11 квалітетів точності, що також в деяких випадках вимагає введення додаткової операції шліфування.

В роботі [6] запропоновано пристрої для обробки сферичних поверхонь на токарних верстатах складної конструкції, які встановлюються на місце верхніх напрямних супорта токарного верстата. Головним їх недоліком є низька жорсткість і як наслідок низька точність оброблених поверхонь.

Також відомий спосіб фрезерування сферичних поверхонь рис.6, який отримав широке застосування [4].

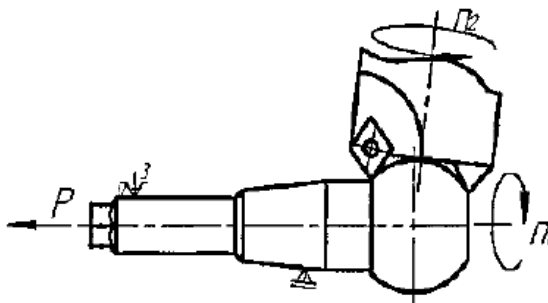


Рис. 6. Схема фрезерування сферичної поверхні кульового пальця

При використанні даної схеми обробки виникає ряд дефектів: огранка, місцеві зарізи, задирки і вириви матеріалу в місцях виходу інструменту, відхилення форми сфери в місці відводу ріжучого інструменту. Для усунення даних дефектів необхідне введення додаткових операцій чистового фрезерування і шліфування. Суттєвим недоліком даного методу є застосування спеціального інструмента.

Аналіз приведених способів формування НСП в умовах одиничного та серійного виробництва вказує на необхідність застосування лезової обробки та доцільність розробки верстатних пристроїв, які б дозволяли проводити чорнову і чистову обробку деталей з НСП.

**Мета статті** – дослідження процесу формування НСП різанням та розробка конструкції верстатного пристрою для обробки неповних сферичних поверхонь.

#### Виклад основного матеріалу дослідження

Використання поворотного пристрою в основі якого лежить кінематична схема рис. 7 дозволяє вести чорнове і чистове обточування НСП з  $R_{\min} = 5$  мм стандартним інструментом. Дана кінематична схема відрізняється тим, що вершина різця зміщена відносно осі обертання пристрою на деяку відстань  $e$ , що дозволяє зменшити технологічну відстань від центра сфери до закріплення в патроні. Таким чином з'являється можливість обточування коротких деталей з НСП без спеціальних оправок.

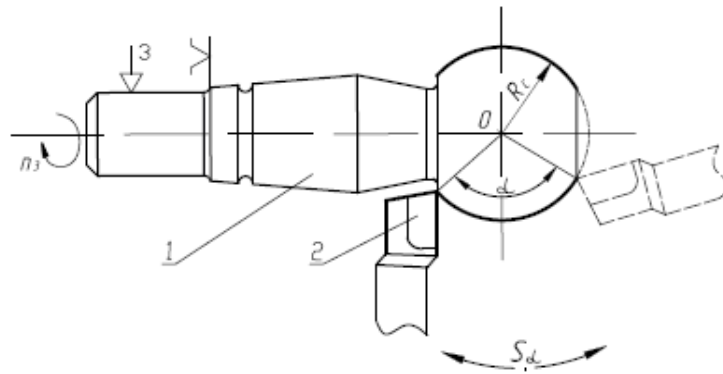


Рис. 7. Кінематична схема обробки сфери кульового пальця з використанням поворотного пристрою:  
1 – заготовка; 2 – різець

Згідно кінематичної схеми обробки заготовки надається обертовий рух відносно власної осі  $Dr$  з частотою  $n_3$  об/хв., при цьому ріжучий інструмент здійснює головний рух подачі  $Ds$  огинаючи сферичну поверхню заготовки відносно центра сфери з кутовою подачею  $S_\alpha$  на деякий кут  $\alpha$  у площині різання.

Кутова подача різця на один оберт заготовки розраховується за формулою:

$$S_\alpha = \frac{360 \cdot S}{\pi \cdot d_c} \cdot n_3, \quad (1)$$

де  $S$ , мм/об – подача вершини інструмента, що відповідає одному обертів заготовки;  $d_c$  – діаметр оброблюваної сфери.

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

Запропоновано пристрій для токарної обробки НСП [7] від якого представлений на рис. 8.

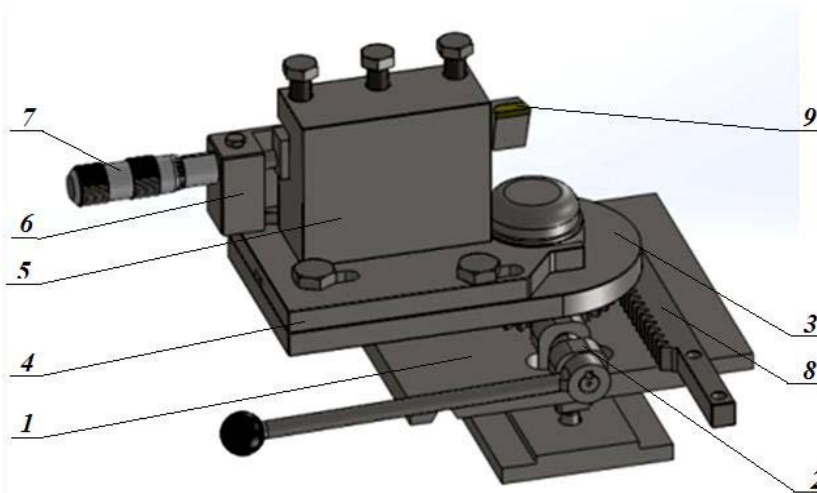


Рис. 8. Поворотний пристрій для токарної обробки неповних сферичних поверхнь:  
1 – платформа; 2 – механізм фіксації; 3 – поворотний стіл; 4 – платформа поперечних переміщень різцетримача;  
5 – різцетримач; 6 – кронштейн; 7 – мікрометричний гвинт; 8 – зубчаста рейка; 9 – різець

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.

В процесі обробки подача супорта верстата  $S_y$  перетворюється за рахунок рейкового механізму в кругову подачу  $S_\alpha$ , залежність між якими визначається формулою:

$$S_y = \frac{\pi \cdot S_\alpha \cdot d_0}{360}, \quad (2)$$

де  $d_0$  – дільний діаметр зубчатого колеса поворотного столу. Підставивши (1) у (2) отримаємо формулу (3) для визначення поздовжньої подачі супорта верстата в залежності від призначених  $s$ ,  $n_3$ ,  $d_c$ :

$$S_y = \frac{S \cdot d_0 \cdot n_3}{d_c} \quad (3)$$

Фрагмент процесу обробки сферичної поверхні пальця кульової опори автомобіля з використанням запропонованого пристрою представлено на рис. 9.

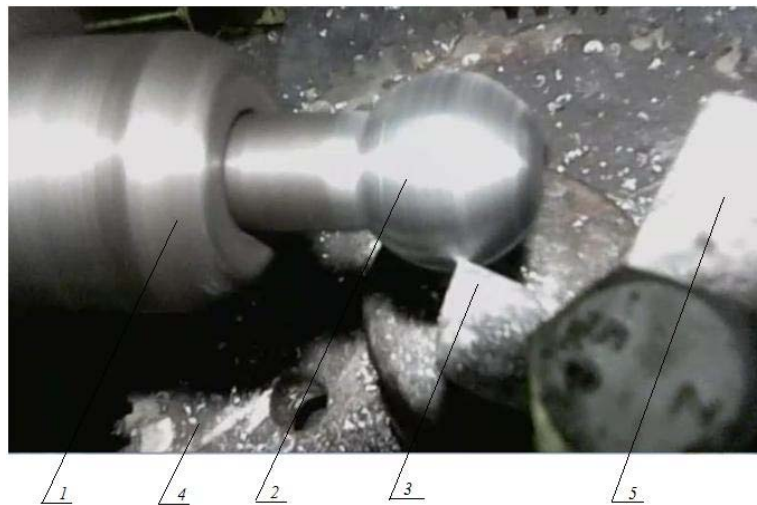


Рис. 9. Фрагмент процесу токарної обробки сфери кульового пальця з використанням поворотного пристрою: 1 – спеціальна оправка; 2 – заготовка; 3 – різець; 4 – поворотний стіл; 5 – різетримач

Перевагами даного пристрою є:

- при обробці вершина ріжучого інструменту формує твірну сферичної поверхні по заданому радіусу з постійними кінематичними кутами в плані;
- в процесі обробки формується мікрорельєф з стабільною шорсткістю;
- використовуються стандартні різці;
- використовуються універсальні верстати токарної групи малої потужності.
- пристрій встановлюється на напрямні станини токарного верстата без його модернізації та має підвищену жорсткість.

#### Висновки

Розглянуто методи отримання заготовок з конструктивним елементом у вигляді сферичної поверхні. Проведено аналіз кінематичних схем процесу обробки НСП. Запропоновано пристрій, який дозволяє якісно обточувати неповні сферичні поверхні в широкому розмірному діапазоні ( $d_c = 10-110$  мм).

При використанні запропонованого пристрою розширюються технологічні можливості процесу обробки, досягається висока продуктивність оброблення навіть в умовах дрібносерійного та ремонтного виробництва, оскільки на встановлення пристрою витрачається не більше 10 хв.

#### Література

1. Підгурський М.І. Досліджень формоутворення сферичних поверхонь на верстатах токарної групи [Електронний ресурс] / М.І. Підгурський, М.Г. Левкович, О.М. Лясота // ТНТУ. – 2012. – Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1795>
2. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров / Гун И.Г. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 360 с.
3. Холодная объемная штамповка : справочник / под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1973. – С.495.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / [под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
5. Пат. 2056976 Российская Федерация, МПК В23В5/36. Обработка фасонных поверхностей на

токарных станках / Лещев В.С. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа "Ролтом". – № 93003815/08–93 ; заявл. 25.01.1993 ; опубл. 27.03.1996, Бюл. № 2.

6. Семинский В.К. Приспособления и инструменты для токарных работ / П.Т. Вирченко, С.А. Платонов. – К. : Техника 1977.

7. Декларацийний патент на корисну модель 116147 Україна, МПК В23В5/00. Пристрій для точіння зовнішніх 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.

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Мазур М.П.

УДК 675.92.027

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, Ю.С. ГРЕЧУХА

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ТА КОНФІГУРАЦІЇ ЧАСТИН ЛИТИХ КОМБІНОВАНИХ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Проаналізовано існуючі методи математичного моделювання процесів лиття під тиском. Метою даної роботи є створення методу прогнозування конфігурації частин комбінованих виробів на основі числового моделювання процесу заповнення прес-форми з урахуванням технологічних параметрів різних полімерних матеріалів. Для проведення експериментальних досліджень були вибрані полімерні матеріали, які широко використовуються в сучасному виробництві для лиття деталей низу взуття: термоеластопласт, пластифікована суміш на основі полівінілхлориду, поліетилен і полістирол. Експериментально підтверджена гіпотеза про можливість підвищення експлуатаційних показників комбінованих виробів за рахунок цілеспрямованої зміни фізико-механічних властивостей полімерного матеріалу шляхом керування параметрами технологічного процесу лиття.*

**Ключові слова:** полімерні матеріали, лиття деталей низу взуття, фізико-механічні властивості полімерного матеріалу, параметрами технологічного процесу лиття.

N.N. ZASHCHEPKINA, Y. S. GRECHUKHA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

T. I. KULIK, M. ZLOTENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

## PREDICTION OF THE QUALITY AND CONFIGURATION OF CAST PARTS, COMPOSITE POLYMER MATERIALS

*Analyzed the existing methods of mathematical simulation of processes of casting under pressure. The aim of this work is to create a method of predicting the configuration of the parts of combined products based on numerical modelling of process of filling of the mold based on process parameters of various polymeric materials. For experimental researches were selected polymeric materials, which are widely used in modern manufacturing for molding of Shoe bottom parts: thermoplastic, plasticized mixture based on polyvinyl chloride, polyethylene and polystyrene. Experimentally confirmed the hypothesis about possibility of increase of operational indicators of combined products due to the purposeful change of physical and mechanical properties of the polymer material by controlling the parameters of technological process of casting.*

**Key words:** polymeric materials, molding Shoe bottom parts, physical and mechanical properties of the polymer material, the process parameters of the casting.

### Вступ

При литті полімерних виробів виникають відходи у вигляді матеріалу, що затвердіває у ливникових каналах. Особливо значний об'єм таких відходів має місце у взуттєвій промисловості, де при литті підшов використовують прес-форми із розвиненою системою розвідних та тунельних ливникових каналів.

Деяка частина подрібнених відходів може використовуватись як домішки до основного полімерного матеріалу для вторинного використання в процесі лиття під тиском. При цьому фізико-механічні характеристики вилитих виробів дещо погіршуються через часткову термодеструкцію вторинної сировини. Тому такий матеріал доцільно використовувати для виготовлення деталей, або їх частин, які не несуть значних навантажень в процесі експлуатації.

Оскільки в процесі носіння взуття середина і край каблука підшви підлягають інтенсивному зношуванню, доцільно вилити ці частини із первинного полімерного матеріалу, а для виливання решти підшви можна застосувати первинний матеріал із додаванням вторинного.

При цьому, якщо заповнення прес-форми відбувається із двох матеріальних циліндрів з різним складом матеріалу, необхідно забезпечити затікання відповідних розплавів у задані області оформлюючої порожнини.

### Аналіз стану проблеми

Відображені в роботах [1–3] існуючі методи математичного моделювання процесів лиття під тиском