

Заболотний О.В., Сичук В.А.
Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ПОРИСТИХ СОПЕЛ ДЛЯ АБРАЗИВОСТРУМЕНЕВИХ МАШИН

У статті представлений новий принцип підвищення довговічності сопел для машин абразивоструменевої обробки. Наведені результати дослідження створеного пористого елемента (частини нової конструкції сопла для абразивної обробки). Це було зроблено шляхом перетворення отриманих результатів 2D сканування в 3D з метою комп'ютерного моделювання потоку повітря через пористу циліндричну вставку.

Ключові слова: абразивоструменева машина, сопло, комп'ютерне моделювання, карбіди, повітряний прошарок.

Постановка проблеми. Абразивоструменева обробка великих, важкодоступних поверхонь є важливим процесом очистки виробів від бруду, іржі, різних хімічних покриттів, підготовки поверхонь перед наступними операціями, наприклад ґрунтування, фарбування, декоративної обробці. Обладнання для здійснення абразивоструменевої обробки складається з таких основних частин: пристрій який подає суміш повітря і абразиву з необхідної швидкістю та концентрацією під певним тиском і направляючої, або ж сопло, в яке подається вищезгадана суміш для створення чітко визначених параметрів потоку таких як вихідна швидкість, напрямок руху та сила потоку, площа контакту абразивних частинок по оброблюваній поверхні. Таке сопло працює в дуже агресивному середовищі і тому постійно зношується, а отже і робочі властивості даної частини абразивоструменевої машини погіршуються, що в свою чергу негативно відбивається на вихідних параметрах потоку суміші. Тому, матеріал викладений в даній статті покликаний змоделювати та дослідити можливість усунення або ж зменшення спрацювання сопла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення проблем зношування внутрішньої робочої поверхні сопла в основному велика увага приділялась виготовленню даного виробу з зносостійких твердих матеріалів, про що свідчать різноманітні патенти. Матеріали що використовуються – твердосплави, кераміка, карбіди (бору (B_4C), титану (TiC), вольфраму (WC), танталу-гафнію (Ta_4HfC_5)), штучні алмази. Найбільш популярним матеріалом для застосування в даній сфері є карбід бору.

Карбід бору (B_4C) був вперше отриманий в 1894 Анрі Муассаном. Це тугоплавке з'єднання володіє такими унікальними властивостями, як висока радіаційна та хімічна стійкість, цікаві з прикладної точки зору електрофізичні властивості і т.д. Карбід бору має такий тип кристалічної решітки і таку високу міцність хімічного зв'язку, що є третім за твердістю з усіх існуючих матеріалів, поступаючись тільки кубічному нітриду бору та алмазу. При цьому, тільки з карбіду бору можна отримувати великі полікристали будь-якої форми. Високотверді матеріали на основі карбіду бору активно застосовуються для виготовлення виробів, що протистоять механічній, хімічній, гідро- і аероабразивній, а також інших видів ерозії. З цього матеріалу виробляють сопла, різноманітні вузли тертя, торцеві ущільнення та інші вироби, що знаходять все більш широке застосування в сьогоднішній індустрії. Компактні вироби з карбід бору виходять двома способами – шляхом плавлення або методом порошкової металургії. Перший метод не отримав широкого розповсюдження в силу ряду причин, тому основним шляхом отримання виробів з карбіду бору та матеріалів на його основі став другий, метод порошкової металургії. [1]

Невирішені частини проблеми. Проблеми які виникають при виготовленні даних сопел для абразивоструменевих машин – це складність виготовлення, необхідність використовувати складне технологічне устаткування та дорогі матеріали, що призводить до високої вартості готового виробу.

Метою дослідження є вивчення і створення принципово нових умов, які необхідно створити для підвищення зносостійкості сопел абразивоструменевої машини і тим самим збільшити їх термін служби.

Причина спрацювання сопла абразивоструменевих машин ґрунтується на зміні геометричних розмірів внутрішньої робочої поверхні. Через тертя абразивних частинок по внутрішньому профілю сопла, воно втрачає свою першочергову форму, що й призводить до зміни вихідних параметрів потоку суміші повітря та абразиву наприклад таких як швидкість (в промислових соплах форми Вентурі вона зазвичай рівна біля 800 м/с). Як наслідок виникла ідея зменшити або ж взагалі усунути негативний контакт вищезгаданих абразивів з внутрішніми стінками сопла. Це можна досягнути подавши додатковий потік повітря, який і буде прошарком, що буде перешкоджати контакту абразиву з внутрішньою робочою поверхнею сопла. Принцип роботи ідеї зображено на рисунку 1.

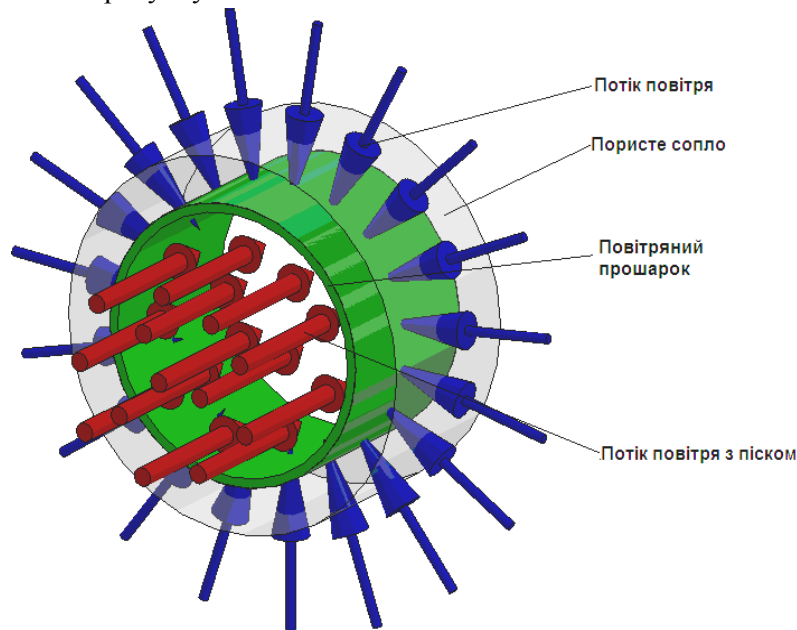


Рис. 1. Утворення повітряного прошарку

З рисунку 1 видно, що додатковий потік повітря буде подаватися в радіальному напрямку, тобто перпендикулярно основному потоку суміші повітря з абразивом. Головна умова працездатності – це пориста стінка сопла через яку буде продуватися повітря.

За основу була взята конструкція промислового сопла UDC32–450 форми Вентурі яке зображено на рисунку 2.



Рис. 2. Абразивоструменеве сопло UDC32–450 форми Вентурі
а) вхідна широка горловина; б) вид збоку; в) вхідна вузька горловина.

На рисунку 3 зображено основні внутрішні геометричні розміри профілю сопла UDC32–450 форми Вентурі. Даний профіль забезпечує перетворення вхідних параметрів потоку у необхідні робочі вихідні. В широку горловину потік суміші повітря з абразивом поступає під тиском 6 атм та швидкістю 30 м/с. Далі на виході за рахунок внутрішнього профілю потік виходить з необхідною робочою швидкістю біля 800 м/с.

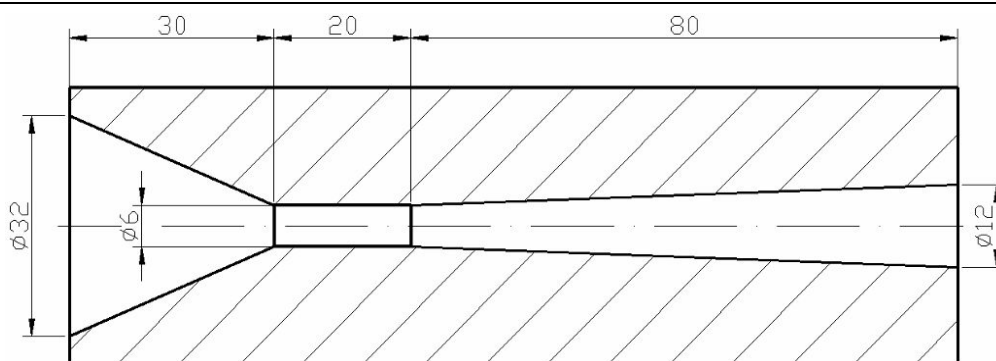


Рис. 3. Основні внутрішні геометричні розміри профілю сопла UDC32–450 форми Вентурі

Вивчивши спрацьовані сопла такої конструкції виявилося, що основне максимальне спрацювання проходить в вузькому циліндричному каналі $\varnothing 6$ мм (рисунок 4).

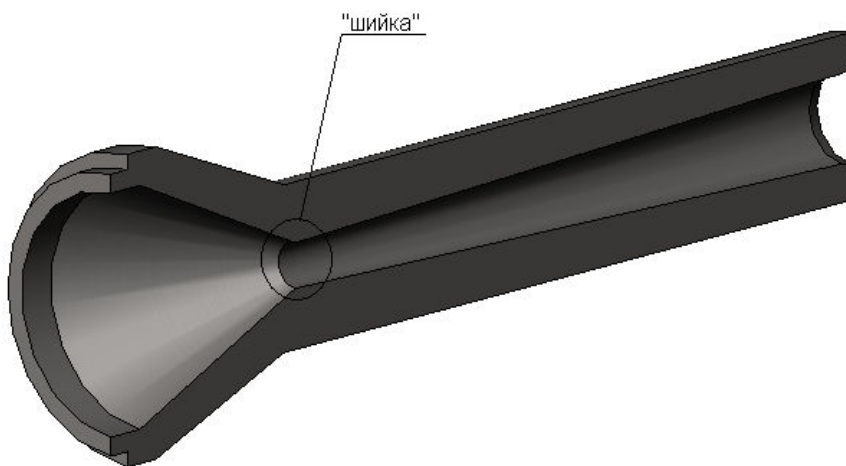


Рис. 4. Зона максимального зношення сопла форми Вентурі

Провівши 7 моделювань, в комп'ютерній програмі SolidWorks Flow Simulation, руху потоку в соплі при різних діаметрах, тобто симуляція спрацювання шийки сопла з $\varnothing 6$ мм до $\varnothing 12$ мм (рисунок 5) виявили зменшення швидкості вихідного потоку з 800 м/с до 426 м/с (рисунок 6), що негативно впливає на процес абразивоструменевої обробки.

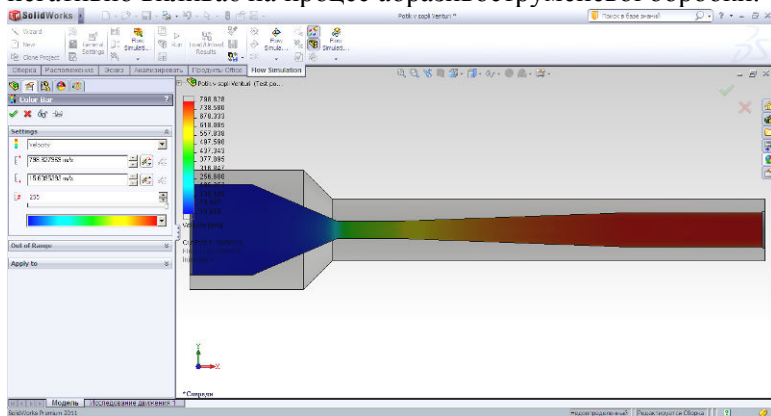


Рис. 5. Моделювання потоку руху повітря в SolidWorks Flow Simulation

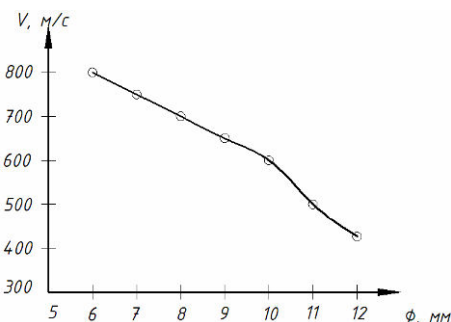
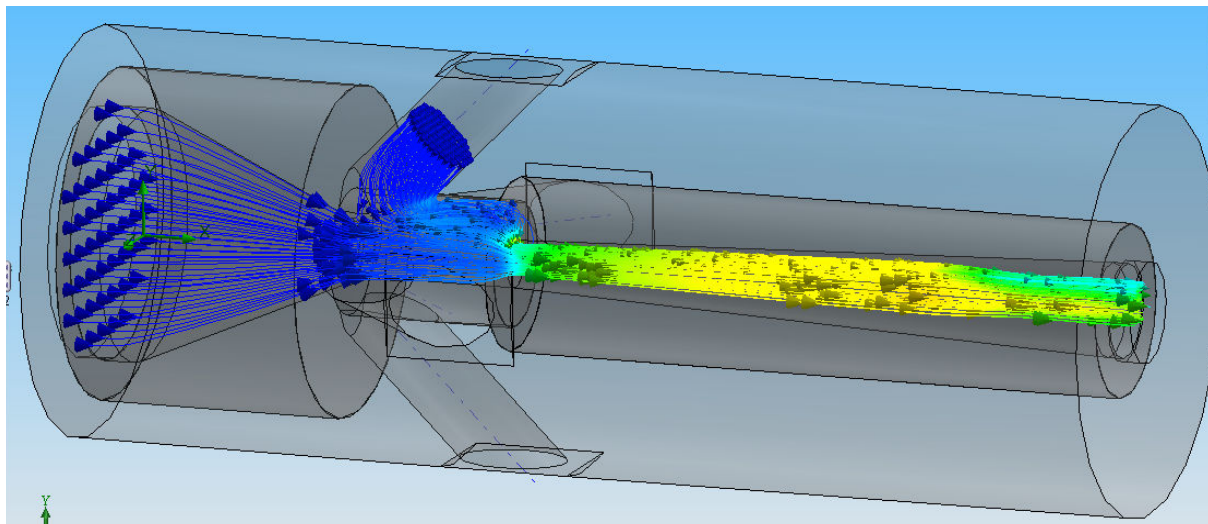
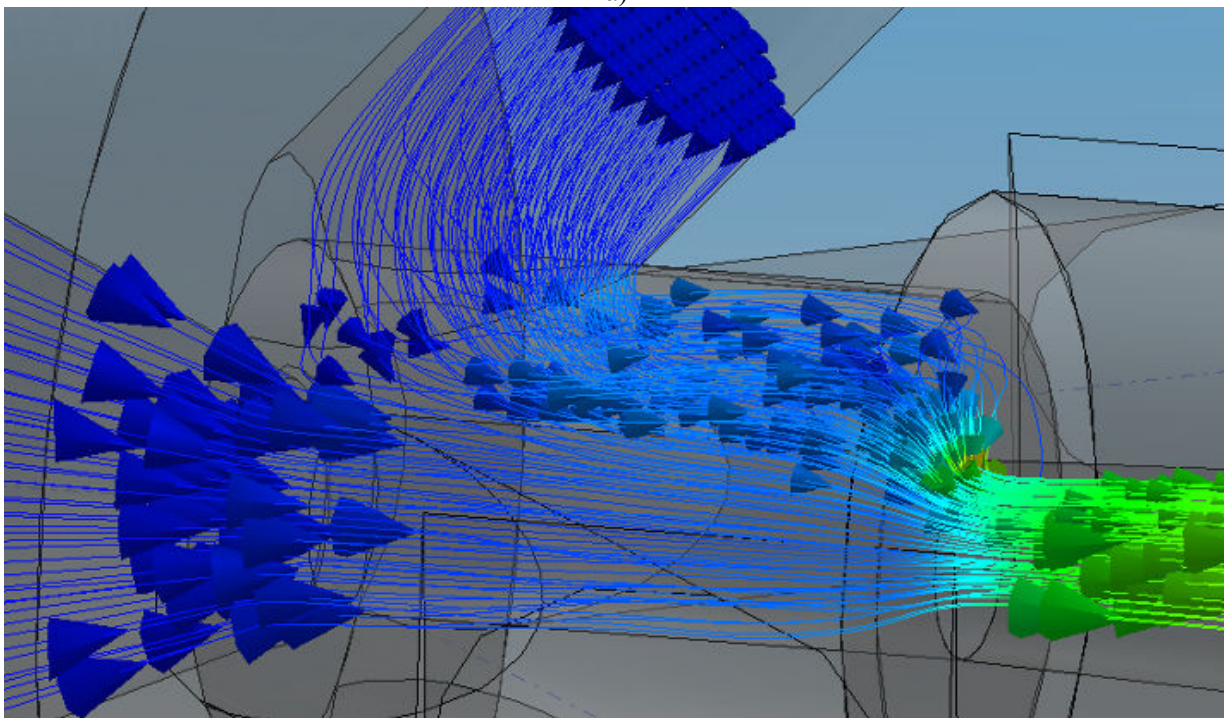


Рис. 6. Графік зменшення швидкості вихідного потоку

Для зменшення спрацювання шийки сопла було вирішено змінити його конструкцію з суцільної на збірну. Щоб перевірити задум, дану конструкцію було спроектовано в САПР системі SolidWorks для проведення віртуальних випробувань. Вхідні параметри тестування підбиралися такими як при роботі реальної абразивоструменевої машини. Результати випробування зображено на рисунку 7.



а)



б)

Рис. 7. Моделювання потоків повітря які протікають в соплі під час роботи абразивоструменевої машини. а – загальна конструкція; б – збільшений вигляд змішування потоків в зоні пористої вставки.

Зробивши висновок по виконаній роботі було прийнято рішення спроектувати збірне сопло, яке буде складатися з трьох основних окремих частин: вхідна широка горловина, пориста циліндрична вставка, через яку і буде подаватися повітря перпендикулярно основному потоку, вихідна вузька горловина.

Для виготовлення даної вставки було визначено її геометричні розміри які зображені на рисунку 8.

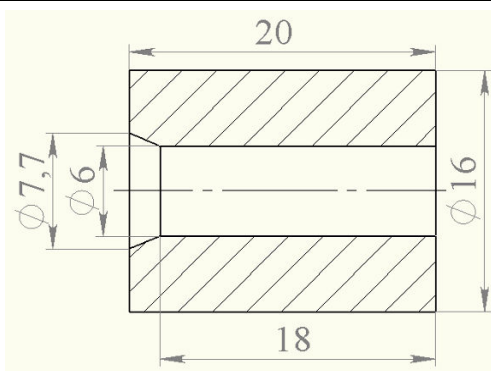


Рис. 8. Основні геометричні розміри пористої вставки

Для забезпечення даних розмірів було спроектовано та виготовлено спеціальне оснащення (рисунок 9), яке призначене для пресування представленого вище пористого елемента.

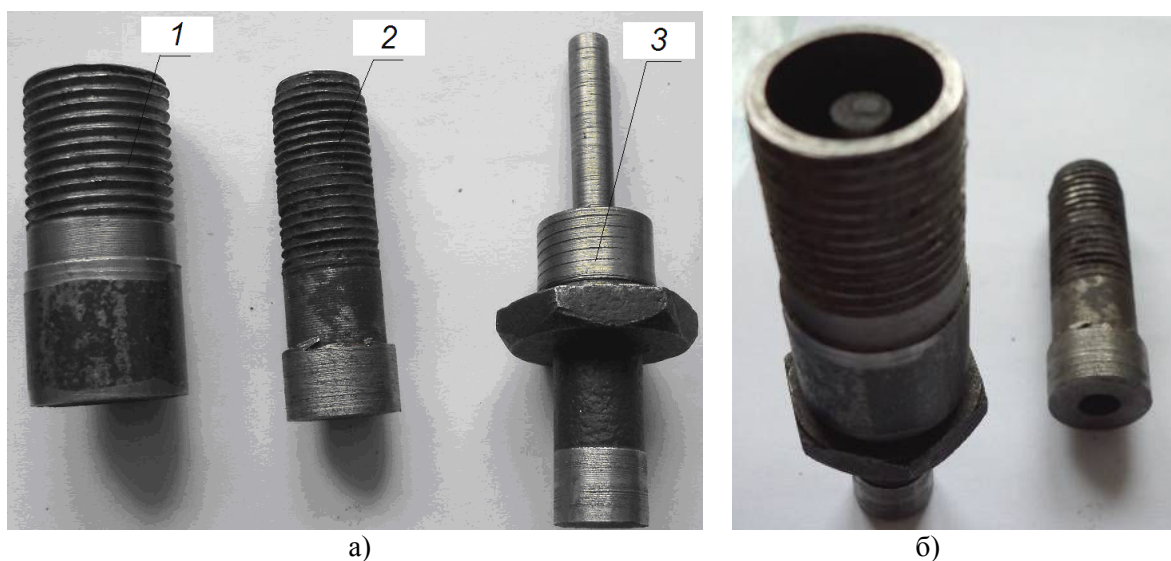


Рис 9. Оснастка для пресування. а – елементи оснастки; б – оснастка взборі.
1 – ємність для засипки; 2 – пуансон; 3 – матриця.

В порожнину, яка утворюється при зборці матриці 3 і ємності для засипки 1 поміщаємо металічний порошок. Розміщуємо приспособлення на пресі і надаємо осьового навантаження на пуансон 2, який буде чинити тиск на порошок, що знаходиться в порожнині.

Представлений пористий елемент було виготовлено з суміші металічного порошку на основі титану з розміром фракції $+0,63 \dots -1,6$ мм (рисунок 10) та вуглецевої сажі у співвідношенні 10 до 1. Пресування проводилося в оснастці на вертикальному гвинтовому пресі під тиском 400 кг/см^2 протягом 5 хвилин (рисунок 11).



Рис. 10. Металічний порошок на основі титану



Рис. 11. Вертикально-гвинтовий прес

Спінання проводилося методом СВЧ (рисунок 12) тривалістю 1 хв, оскільки суміш з якої було виготовлено пористий елемент піддається такому виду спінання. Результат виготовлення представлений на рисунку 13.

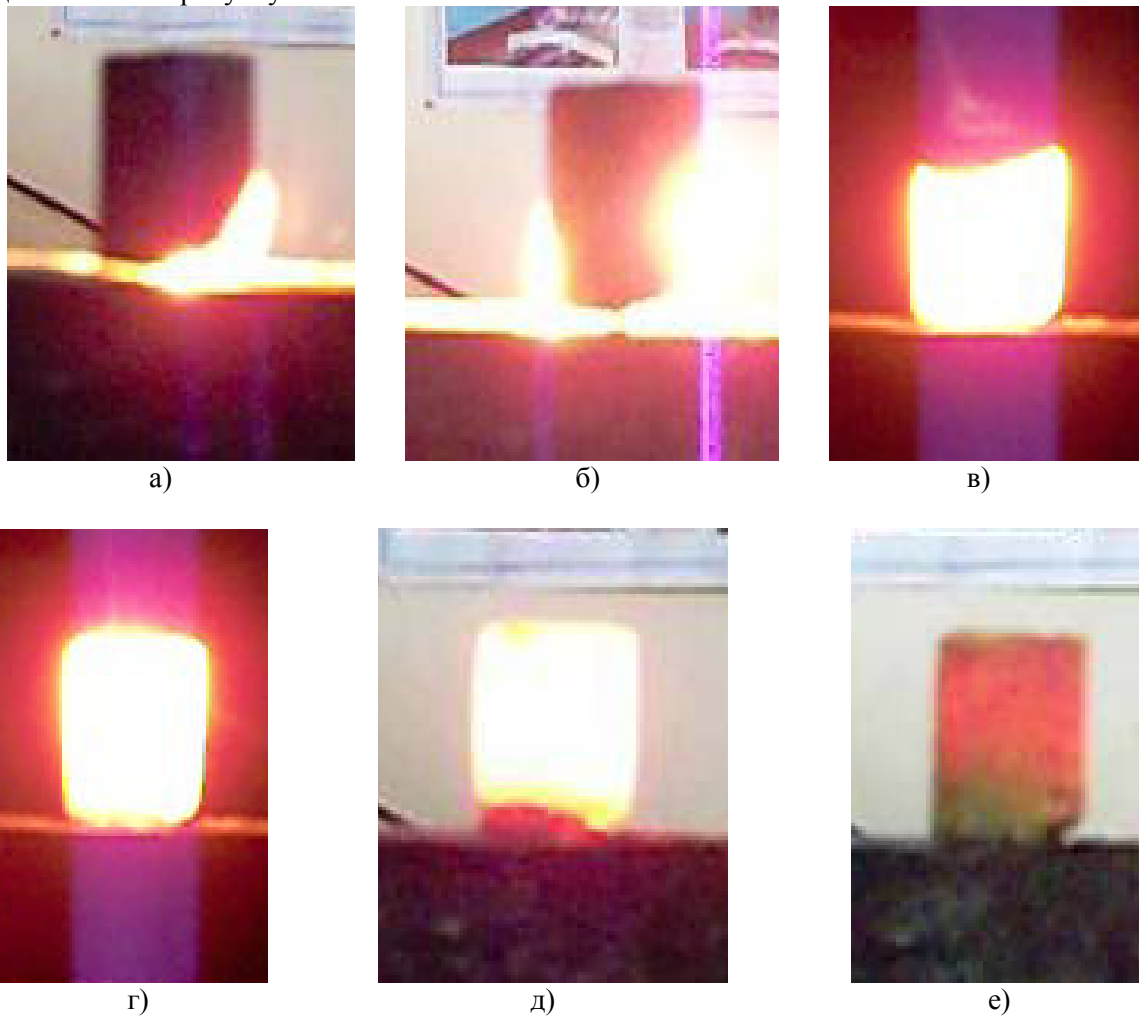


Рис. 12. Спінання зразка методом СВЧ



Рис. 13. Виготовлена пориста вставка

Дослідження внутрішньої структури виготовленого пористого виробу проводилося на електронно-скануючому мікроскопі Х-ТЕК 225/320 kV СТ SPECIAL (рисунок 14). В результаті сканування з кроком 0,01 мм по висоті пористої вставки було отримано 2000 зображень внутрішньої пористої структури, приклад зображення показано на рисунку 15.



Рис. 14. Проведення експерименту на електронно-скануючому мікроскопі X-ТЕК 225/320 kV СТ SPECIAL

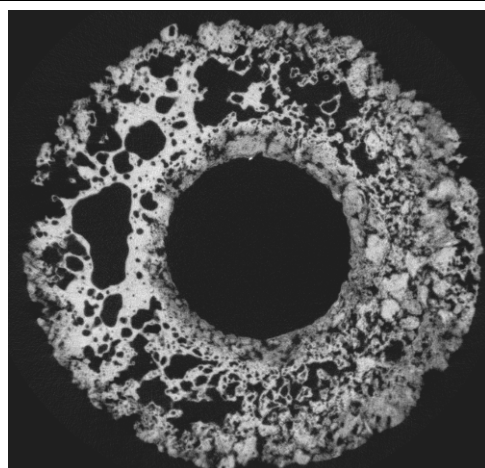


Рис. 15. Зображення внутрішньої структури отриманої з ЕСМ

Для проведення комп'ютерного моделювання потоку через виготовлену пористу вставку сопла необхідно «перетворити» реальний виготовлений об'єкт в його цифрову 3-вимірну копію. Щоб здійснити таку роботу було проведено ряд операцій по спрощенню моделі (рисунок 16), переведенні масиву 2D зображень у 3D вигляд в програмі Mimics 8.1 (рисунок 17), конвертування його в твердотільний об'єкт в програмі SolidWorks (рисунок 18), присвоєння необхідних числових та векторних параметрів потоку повітря в програмі SolidWorks Flow Simulation, тобто створення віртуального експерименту який буде відповідати реальному. Пористість пористого елемента - 0,566. Вхідна швидкість повітря - 30 м/с, тиск при якому подається повітря - 6 атм, повітря виходить з пористого елемента назовні в середовище з атмосферним тиском, тобто 1 атм. Дане програмне забезпечення рахує задану задачу використовуючи метод кінцевих елементів та згідно рівнянь Нав'є Стокса [2].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k u_i - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = S_i, \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P) u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) = S_k u_k + Q_H, \quad (3)$$

$$S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation}, \quad (4)$$

де t - час;

u - швидкість текучого середовища (повітря);

ρ - густина текучого середовища;

P - тиск текучого середовища;

S_i - зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу текучого середовища;

$S_{iporous}$ - дія опору пористого тіла;

$S_{igravity}$ - дія гравітації;

$S_{irotation}$ - дія обертання системи координат;

E - повна енергія одиничної маси текучого середовища;

Q_H - тепло, яке виділяється джерелом в одиничному об'ємі текучого середовища;

τ_{ik} - тензор в'язких зсувних напружень;

q_k - дифузійний тепловий потік, нижні індекси означають суму за трьома координатними напрямками.

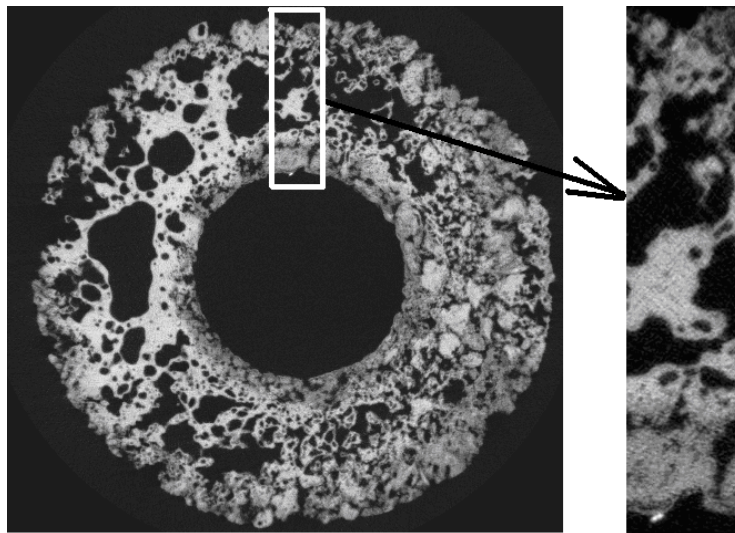


Рис. 16. Спрощення зображення

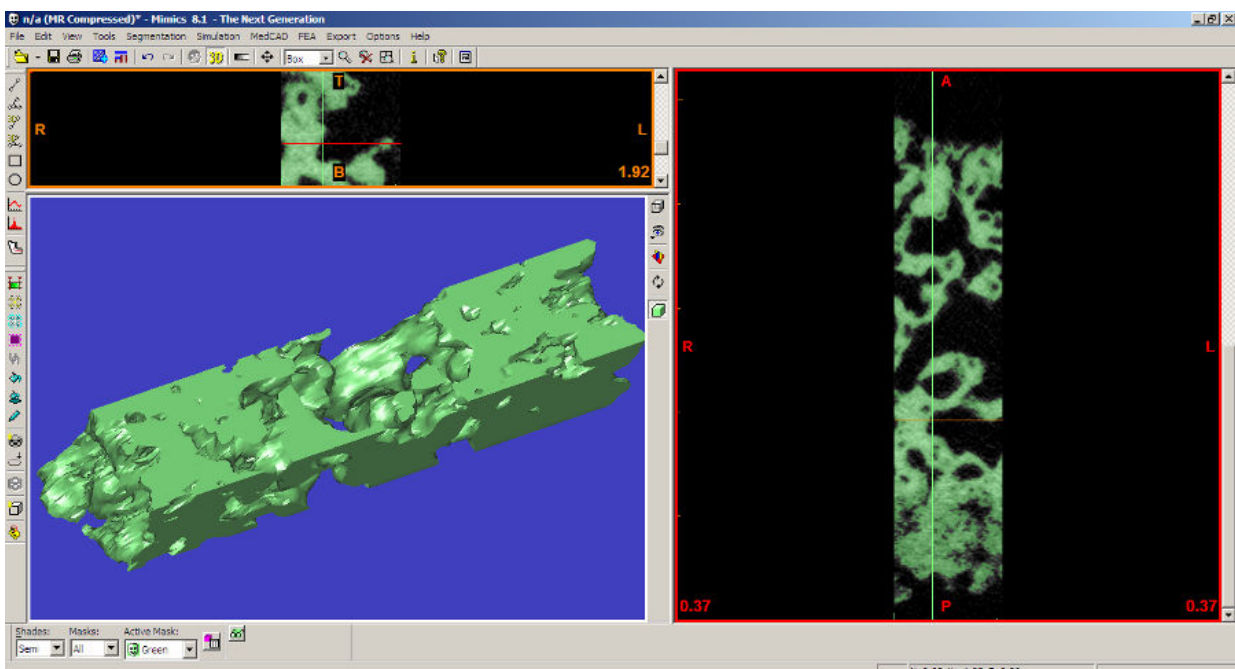


Рис. 17. Переведення масиву 2D зображень у 3D вигляд в програмі Mimics 8.1

Результати симуляції (рисунок 18) показали, що середня швидкість потоку який виходить назовні з пористого середовища рівна близько 500 м/с. Тобто при подачі повітря в радіальному напрямку через пористий елемент воно буде чинити опір основному потоку. І як наслідок на внутрішній робочій поверхні пористої вставки буде створюватися повітряний прошарок який буде перешкоджати контакту абразивних частинок з поверхню сопла.

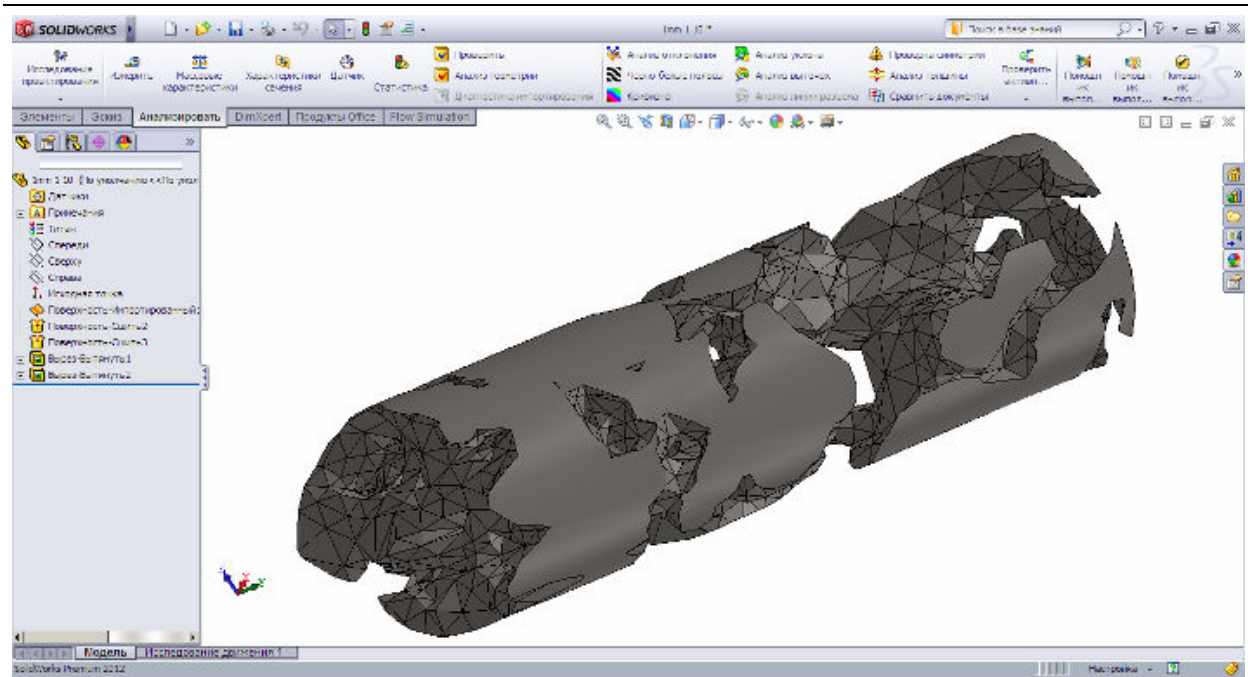


Рис. 18. Конвертування 3D зображення в твердотільний об'єкт в програмі SolidWorks

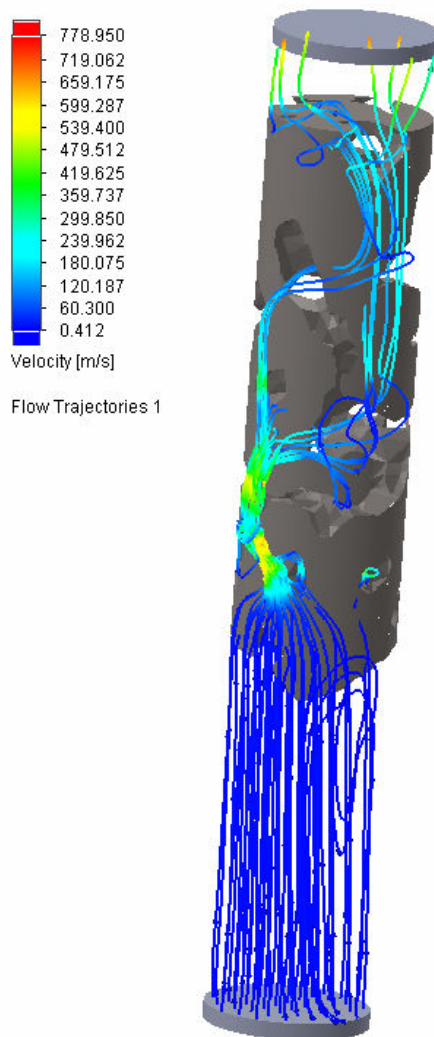


Рис. 18. Результат моделювання потоку повітря в програмі SolidWorks Flow Simulation.

Для логічного завершення роботи стосовно практичного виготовлення нової конструкції сопла абразивоструменевої машини було спроектовано (рисунок 19) і виготовлено основні його частини.

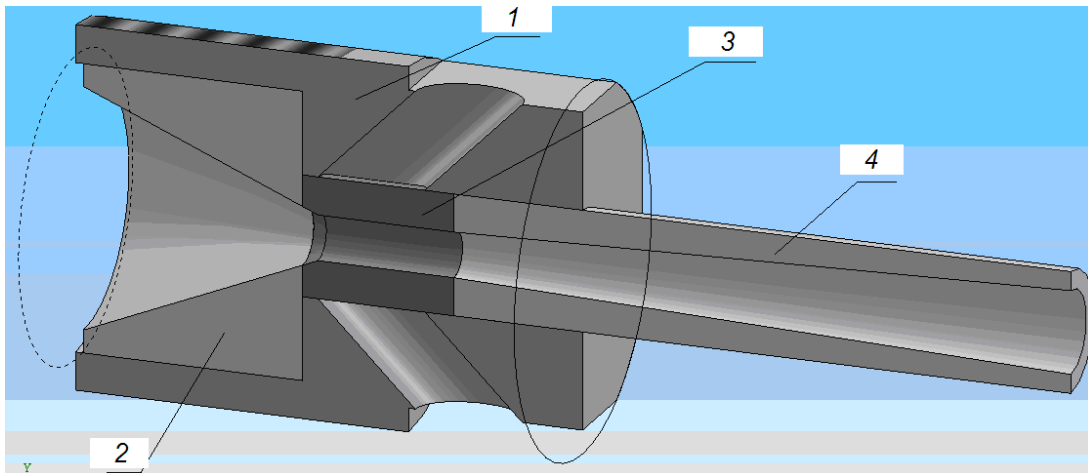


Рис. 19. САПР модель основних частин нової конструкції сопла абразивоструменевої машини. (1 – корпус; 2 - широкий конічний вхід; 3 - пориста циліндричні трубчаста вставка; 4 - вузький довгий конічний вихід).

Після безпосереднього виготовлення основних частин конструкції отримали готовий виріб який зображено на рисунку 20.

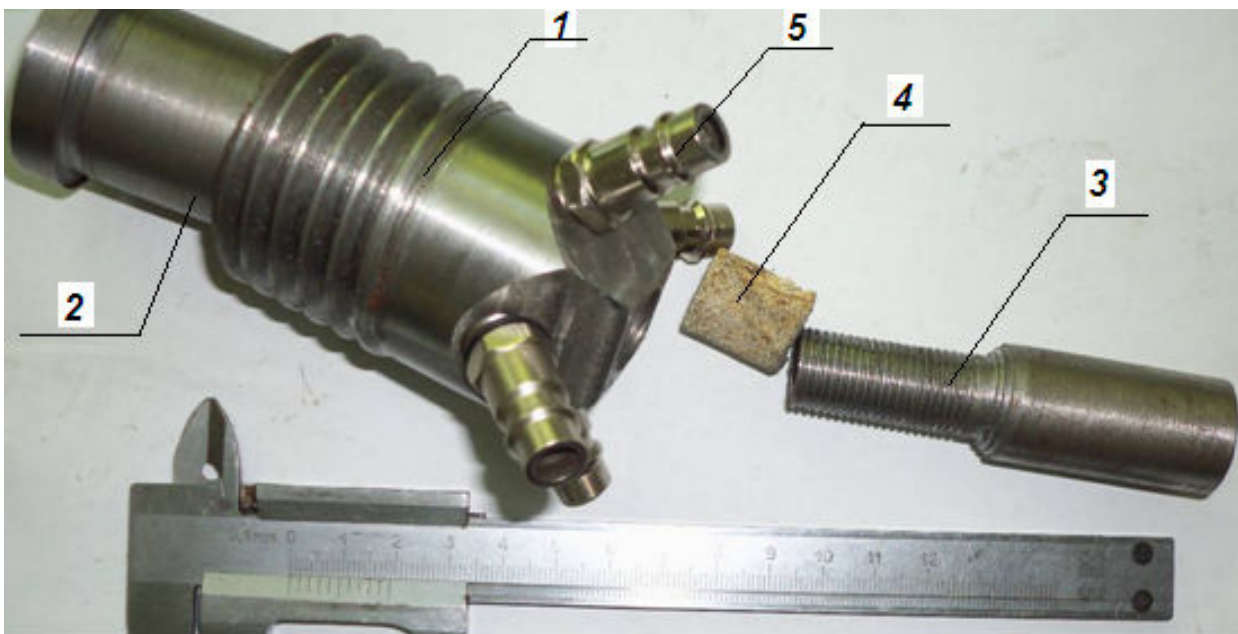


Рис. 20. Виготовлені основні частини нової конструкції сопла абразивоструменевої машини
1 – корпус; 2 – широкий конічний вхід; 3 – вузький довгий конічний вихід; 4 – пориста циліндричні трубчаста вставка; 5 – штуцери подачі повітря.

Висновки. Аналізуючи вище викладене, можна зробити такі висновки:

- сформульовано принципово новий метод підвищення зносостійкості сопел абразивоструменевої машини за рахунок створення повітряного прошарку на внутрішній робочій поверхні сопла, який перешкоджає тертю абразивних частинок з стінками інструменту, що суттєво збільшує термін його служби;
- спроектована і описана нова збірна конструкція сопла абразивоструменевої машини, основним функціональним елементом якої є пориста циліндрична вставка;
- спроектована і виготовлена оснастка для виготовлення пористої вставки
- проведено експериментальні дослідження виготовленої пористої вставки сопла;

- змодельовано «цифрову копію» виготовленої пористої вставки;
- проведено симуляцію потоку повітря через пористий елемент (пористу вставку), що в результаті підтвердило працездатність нового методу підвищення зносостійкості сопла;
- виготовлено усі необхідні складові частини нової конструкції сопла для абразивоструменевої машини.

1. Матеріали веб-сторінки <http://promsklo.com.ua/sandblast-nozzle>.
2. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике/ А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
3. Сичук В.А., Заболотний О.В. Технологія отримання зносостійкого сопла піскоструменевої машини методом сухого радіально-ізостатичного пресування. // Науковий журнал «Технологічні комплекси». - №1. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – с. 124-129.
4. Сичук В.А., Заболотний О.В. Нова технологія виготовлення та особливості використання зносостійкого сопла піскоструменевої машини // Наукові нотатки. – Випуск 29. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – с. 179-184.

REFERENCES

1. <http://promsklo.com.ua/sandblast-nozzle>
2. Alyamovskiy A.A. *SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoy praktike* [SolidWorks 2007/2008. Computer modeling in engineering practice]. SPb.: BKhV-Peterburg, 2008. 1040 p.
3. Sychuk V.A., Zabolotnyi O.V. Tekhnolohiia otrymannia znosostiikoho sopla piskostrumenevoi mashyny metodom sukhoho radialno-izostatychnoho presuvannia [Technology of wear-resistant nozzle sandblasting machine by dry radial isostatic pressing]. *Naukovyi zhurnal «Tekhnolohichni kompleksi»*. Vol. 1. Lutsk: RVV LNTU, 2010, pp. 124-129.
4. Sychuk V.A., Zabolotnyi O.V. Nova tekhnolohiia vyhotovlennia ta osoblyvosti vykorystannia znosostiikoho sopla piskostrumenevoi mashyny [New manufacturing techniques and features of using wear-resistant nozzle sandblasting machines]. *Naukovi notatky*. Vol. 29. Lutsk: RVV LNTU, 2010. pp. 179-184.

O. Zabolotnyi, V. Sychuk. Development a new design and investigation of porous nozzles for abrasive jet machine.

The paper presents a new principle of improving the durability of a nozzle for abrasive jet machine. It was presented results of the study of created porous element (a part of the new design of abrasive jet nozzle). It was done a conversion of obtained 2D scan results into 3D with the purpose of computer modelling to simulate the flow of air through a porous cylindrical insert.

Keywords: abrasive jet machine, nozzle, computer simulation, carbides, air layer.

АВТОРИ:

ЗАБОЛОТНИЙ О.В., к.т.н., доцент кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування, Луцький НТУ.

СИЧУК В.А., асистент кафедри комп'ютерного проектування верстатів та технологій машинобудування, Луцький НТУ.

AUTHORS:

O. ZABOLOTNYI, PhD., Assoc. Professor of Department of Computer Design Tools and Engineering Technology, Lutsk National Technical University.

V. SYCHUK, Assistant Prof. of Department of Computer Design Tools and Engineering Technology, Lutsk National Technical University.

РЕЦЕНЗЕНТ:

САВЧУК П.П., д.т.н., професор, завідувач кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування, Луцький національний технічний університет.

REVIEWER:

P. SAVCHUK, Dr.-Eng., Professor, Head of the Department of Materials Science and Engineering plastic forming structures, Lutsk National Technical University.

Стаття надійшла в редакцію 06.09.2014р.