

ЛІТЕРАТУРА

1. Samoichuk, K., Kovalyov, A., Fuchadzhy, N., Bezalychna, O., Shevtsova, A.: Energy Costs Reduction for Dispersion Using a Jet-Slot Type Milk Homogenizer. *Energies* 16(5), 2211 (2023). <https://doi.org/10.3390/en16052211>
2. Wilbey R. A. Homogenization of Milk: Principles and Mechanism of Homogenization, Effects and Assessment of Efficiency: Valve Homogenizers. In: Fuquay W, J., Fox F. P., McSweeney L. H. P (Eds.), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd Ed.), Elsevier, Netherlands. 750-754 (2011). DOI:10.1016/B978-0-12-374407-4.00223-5
3. Паляничка Н. О. Використання енергоефективного обладнання для диспергування емульсій. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 20, т. 1. С. 26–34. DOI: 10.31388/2078-0877-20-1-26-34.
4. Dagar N., Sharma R., Lal Rinawa M., Gupta S., Chaudhary V., Gupta P. Design and analysis of piston using aluminum alloy and composites in Solidworks and Ansys. *Materials Today: Proceedings*. 67, 5, 784-791 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.318>.
5. Гвоздєв О.В., Самойчук К.О., Паляничка Н.О. Комп'ютерне моделювання імпульсного гомогенізатора молока з використанням програмного забезпечення Ansys Workbench. Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. Праць. Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського. Донецьк: ДонНУЕТ ім. М. Туган-Барановського, 2012. Вип. 28. С. 294–299.
6. Palianychka, N., Samoichuk, K., Verkhohantseva, V., Sova, N., Kholobtseva, I. Quality Improvement of Emulsions Dispersion in the Pulsation Homogenizer Using Computer Simulation. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2025, страницы 735–745. DOI: 10.1007/978-3-031-82746-4_65.

УДК 621.9.02

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДОМ МОНТЕ КАРЛО ПРОЄКТНОЇ НАДІЙНОСТІ
ФОРМОУТВОРЕННЯ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ ВИРОБІВ****О.Л. Войчишен¹, К.В. Андрющенко², С.Т. Пацера³**¹аспірант, e-mail: voichyshen.o.l@nmu.one²аспірант, e-mail: andriushchenko.ky.v@nmu.one³професор, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com^{1,2,3}кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У статті вибрано ефективні методи та алгоритмічна модель досліджень комп'ютерним моделюванням надійності процесу формоутворення складних поверхонь та контролю їх геометричних параметрів. Визначено залежність надійності виконання вимог до геометричної точності конкретної спіральної поверхні від співвідношення поля допуску заданого геометричного параметра та середньоквадратичного відхилення його випадкових реалізацій.

Ключові слова: Спиральна поверхня, геометричний параметр, точність формоутворення, статистичне моделювання, критерій класифікації.

MONTE CARLO SIMULATION OF THE DESIGN RELIABILITY OF FORMING COMPLEX PRODUCT SURFACES

Oleksandr Voichyshen¹, Kyrylo Andriushchenko², Serhii Patsera³

¹Postgraduate student, e-mail: voichyshen.o.l@nmu.one

²Postgraduate student, e-mail: andriushchenko.ky.v@nmu.one

³Professor, e-mail: sergiy.patsera@gmail.com

^{1,2,3}Department of Mechanical Engineering Technologies and Materials Science, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The paper presents effective methods and an algorithmic model for computer simulation studies of reliability process forming complex surfaces and controlling their geometric parameters. The dependence of the reliability of fulfilling the requirements for geometric accuracy of a particular spiral surface on the ratio of the tolerance field of a given geometric parameter to the standard deviation of its random realizations is determined.

Keywords: geometric parameter, shape accuracy, statistical modeling, classification criterion.

Вступ. Складна поверхня виробу означає поверхню, яка має нестандартну, часто криволінійну форму, на відміну від простих плоских або циліндричних поверхонь. Приклад складної поверхні наведено на рис. 1 [1]. Вимоги до геометричної точності обраної поверхні вказані на рис. 2 та в табл. 1. Обробка таких поверхонь найчастіше потребує спеціального сучасного обладнання, такого як багатоосьові верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), та відповідно розробленої програми. Вказана керувальна програма повинна базуватися на наукових принципах теорії і практики формоутворення. Важливо враховувати численні технологічні фактори, що впливають на показники геометричної точності виробу, наприклад, сили різання. Показники надійності формоутворення складної поверхні залежать від методів оброблення, насамперед від фінішних проходів.

Аналіз джерел інформації виявив основні наукові напрямки дослідження процесів формоутворення. Равською Н.С. та ін. [2] викладені фундаментальні аспекти теорії формоутворення. Наголошується, що процеси формоутворення заданої поверхні є результатом взаємодії заготовки та інструменту і тому форма оброблюваної поверхні деталі визначається формою та розміром робочих поверхонь інструменту та його рухами відносно заготовки. Вказані процеси ускладнюються супровідними явищами. До них належать: деформації деталі, інструменту, похибки інструменту, пристроїв,

обладнання, зношування елементів технологічної системи, похибки вимірювань, настроювання обладнання, температурні деформації складових технологічної системи, вібрації при обробленні тощо.

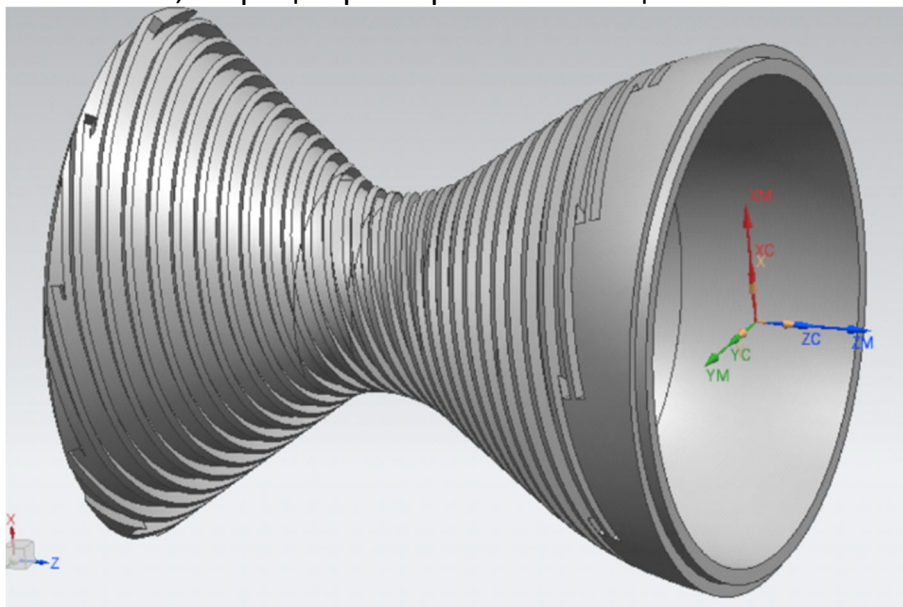


Рис. 1. – 3D модель виробу, який утворено складними поверхнями [1]
Складна спіральна поверхня

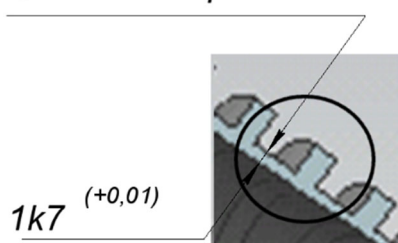


Рис. 2. – Вимоги до точності формоутворення обраної складної поверхні

Таблиця 1. – Вимоги до геометричної точності обраної поверхні

Нормовані параметри геометричної точності	Значення параметру
Клас поля допуску	1k7
Верхнє відхилення e_s , мкм	10
Нижнє відхилення e_i , мкм	0
Поле допуску T_d , мкм	10

Роботи Радзевіча С.П. [3,4] присвячені теорії формоутворення поверхонь під час механічного оброблення деталей, зокрема, різанням (лезовим і абразивним інструментами). Розглядаються основи програмування для верстатів з ЧПК і методи оброблення складних форм. Зокрема підкреслюється, що «в системах з електронним зв'язком необхідно вибрати оптимальну

стратегію характеру і послідовності багатокоординатних рухів обладнання з ЧПК».

Воронцовим Б.С. проведено аналіз сучасного стану проблеми забезпечення якості, в першу чергу, кінематичної точності і плавності роботи зубчастих передач, профіль зубців яких окреслено довільною, а не тільки евольвентною кривою [5].

Дербаба В.А. та ін. [6,7] дослідили вплив допустимої граничної похибки вимірювання геометричних параметрів на показники достовірності пасивного контролю нормованих геометричних параметрів утворюваних складних поверхонь, таких як евольвентні поверхні зубчастих коліс. У вказаних дослідженнях застосовані комп'ютерні методи статистичного моделювання (Монте Карло) у поєднанні з імітаційним моделюванням контрольних процедур.

Мета даної роботи полягає у виборі ефективних методів та раціональної послідовності досліджень комп'ютерним моделюванням надійності процедур формоутворення та геометричного контролю складних поверхонь. Потрібно визначити залежність надійності виконання вимог до геометричної точності в залежності від співвідношення поля допуску та середньоквадратичного відхилення.

Матеріал і результат досліджень. До базових аспектів методології проведених досліджень відносяться наступні:

- декомпозиція складного процесу на окремі простіші блоки, для яких можливо створити адекватну математичну модель;
- досліджуваний процес представляється масивом дискретних подій виготовлення виробів, тобто комп'ютерним імітаційним моделюванням відтворюється циклічний процес виготовлення партії виробів;
- застосування у статистичному моделюванні (методом Монте Карло) адекватних (до реальних процесів) розподілів випадкових відхилень геометричних параметрів (в інтервалі нормованого поля допуску);
- обґрунтований вибір критеріїв для поділу змодельованих технологічних оброблювальних систем за рівнем точності;

За результатами проведеного аналізу створена алгоритмічна модель досліджень (рис.3.).

Запропонованим критерієм K_r , згідно якому технологічні оброблювальні підсистеми можна класифікувати за рівнем точності формоутворення складної поверхні, обрано вираз

$$K_r = T_d / \sigma, \text{ де} \quad (1)$$

T_d – поле допуску, мкм

σ – середньо квадратичне відхилення (СКВ), мкм.

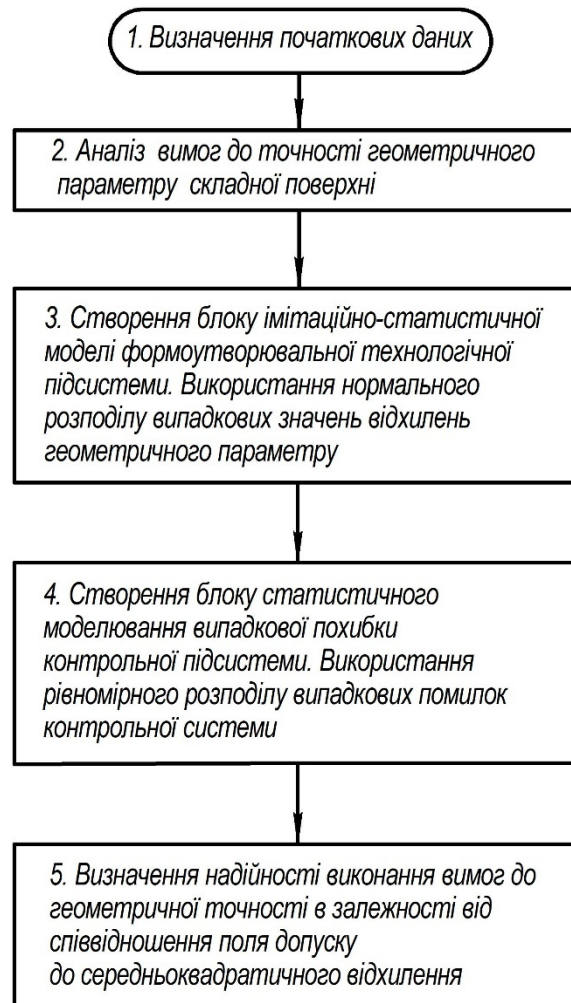


Рис. 3. – Узагальнена схема алгоритму проведених досліджень

Поле допуску визначає діапазон допустимих відхилень розміру деталі, тоді як СКВ характеризує розкид випадкових відхилень навколо їх середнього значення.

Статистичні показники надійності формоутворення в поєднанні з відповідним контролем визначалися за формулою (2).

$$P(\Delta) = 1 - (НП + НЗ)/N, \quad \text{де} \quad (2)$$

НП – кількість виробів, що некоректно зараховано придатними, шт;

НЗ – кількість виробів, що некоректно зараховано бракованими, шт;

N – загальний обсяг статистичної вибірки.

Результати досліджень наведені на рис. 4.

Варіанти оброблювальної формоутворювальної системи стосовно технологічної точності позначені кольорами: зеленим – підвищеної точності; синім – нормальної точності; червоним – зменшеної точності.

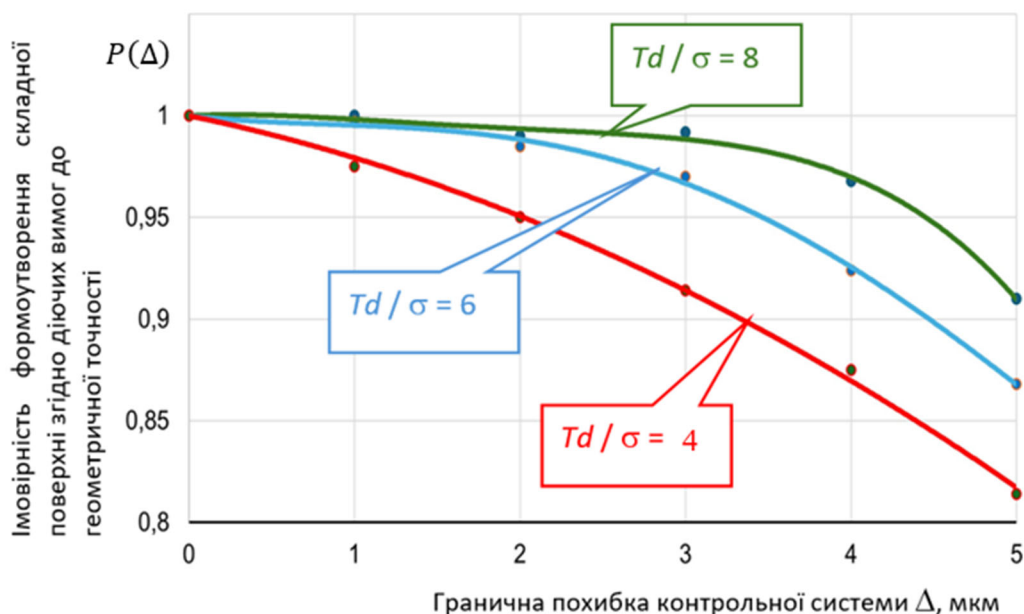


Рис. 4. – Залежності надійності формоутворення заданої спіральної поверхні (рис. 2) від значення критерію за формулою (1)

Висновки. 1. Створено алгоритмічну модель дослідження імовірності формоутворення складної поверхні згідно діючих вимог до геометричної точності в залежності від величини частки ділення поля допуску заданого геометричного параметра до середньоквадратичного відхилення його випадкових реалізацій.

2. Для досліджень обґрунтовано застосування методу статистичного моделювання (Монте Карло), для чого попередньо задіяно відповідну дискретизацію технологічного процесу.

3. Адекватно до реальних процесів змодельовано нормальний розподіл випадкових значень відхилень геометричного параметру а також рівномірний розподіл випадкових похибок контрольної системи.

4. Із аналізу одержаних залежностей витікає, що апріорно оптимальним варіантом може бути оброблювальна підсистема нормальної точності в поєднанні з контрольною підсистемою, що має граничну допустиму похибку контролю в інтервалі 1 ... 2 мкм.

ЛІТЕРАТУРА

1. Voichyshen O.L. Features of the technology for the manufacture of liquid rocket engine housings to the modern capabilities of CAD-CAM systems and 5-axis CNC machines / O.L. Voichyshen; Scientific supervisor V.A. Derbaba // Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 27–29 березня 2024 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро: НТУ «ДП», 2024. – Р. 28 – 29.

2. Равська Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навч. посіб. для студентів механічних спец. ВНЗ / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, О.В. Мамлюк, Т.П. Ніколаєнко, О.А. Охріменко. – Київ, 2013. – 215 с. URL: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/1799/1/Формування%20поверхні.pdf>
3. Радзевич С.П. Формоутворення поверхонь деталей. Основи теорії. / С.П. Радзевич. – К.: Растан, 2001. – 592 с.
4. Радзевич С.П. Формоутворення складних поверхонь на верстатах з ЧПК С.П. Радзевич. – К.: Вища шк., 1991. – 192 с.
5. Воронцов Б.С. Комп'ютерно-інтегрована система забезпечення формоутворення зубчастих коліс. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук / Б.С. Воронцов – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» – Київ, 2018. – 397 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/323528424.pdf>
6. Derbaba, V., Zil, V., Patsera, S.: Evaluation of the adequacy of the statistical simulation modeling method while investigating the components presorting processes/ Sci. Bull. Nat. Mining Univ. 5(143), 45–50 (2014)
7. Voichyshen, O., Patsera, S., Derbaba, V. & Bohdanov, O. (2024). Virtual Device for Assessing Geometric Parameters' Reliability Control for Mechanical Products Depending on Tool Accuracy. Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 409-421. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-61797-3_35

УДК 621.7

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ НАПІВМАТРИЦІ ПРЕС-ФОРМИ

К.С. Гущин¹, В.А. Дербаба², В.М. Рубан³

¹студент групи 131-22ск-1, e-mail: hushchyn.k.s@nmu.one

²доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: derbaba.v.a@nmu.one

³доцент кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: ruban.v.m@nmu.one

^{1,2,3}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. В роботі проведено конструювання та розробка технології виготовлення деталі напівматриця частини прес-форми для виготовлення герметичної деталі “ємність об’ємом 500ml”. Розроблена технологія дозволить прискорити процес виготовлення і виконувати коригування конструкції та технологічного процесу виготовлення напівматриці, для підвищення якості напівматриці та якості самого виробу “ємність об’ємом 500ml”.

Ключові слова: напівматриця, 3D моделювання, технологічний процес, виготовлення, виріб “ємність об’ємом 500ml”.