

СЕКЦІЯ 3
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ПРИЛАДІВ

УДК 629.735.33.015.4

ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ НОВИХ МАРОК
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Лупкін Б. В., Антонюк В. С., Корольков Ю. А.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: victor.antoniuk@gmail.com

Науково-технічний прогрес у виробництві авіаційної техніки – це насамперед значне розширення номенклатури матеріалів і технологій з підвищеною ефективністю, внаслідок зниження маси повітряного судна та спрощення технології його виробництва при застосуванні сучасних високоміцних полімерних композиційних матеріалів [1]. Збільшення обсягу їх застосування потребує розробки нових та вдосконалення існуючих технологій механічного оброблення, оскільки в процесі експлуатації виявляються приховані дефекти, які виникають при виробництві конструкцій з полімерних композиційних матеріалів.

При впровадженні композиційних матеріалів необхідно особливу увагу звернути на те, що механічні характеристики виробів з композиційних матеріалів визначаються об'ємною (ваговою) часткою в них армуючих елементів, їх розташуванням і зв'язком з матрицею, а також властивостями матричної речовини й матеріалу проміжного шару (апрета), що забезпечує спільну роботу елементів, які є складовими композиту.

Неоднорідність структури і різні характеристики міцності композиційних матеріалів сприяють в процесі лезвійної обробки, утворенню мікротріщин і сколів. Процес стружкоутворення при лезвійній обробці композитів (особливо таких крихких як скло-вугле-боропластики) значною мірою відрізняються від металообробки, у яких в основному сходять зливна стружка [2].

Різальний інструмент задньою поверхнею, під дією складової сили різання, контактує з волокнами матриці. Залежно від сили стискання змінюються сили тертя, що змінюють інтенсивність теплоутворення та зносу інструмента, одночасно формують шорсткість оброблюваної поверхні [3].

При лезовому обробленні композиційного матеріалу в процесі стружкоутворення відбувається порушення цілісності поверхневого шару, який істотно впливає на точність розмірів і шорсткість поверхні, а в подальшому на експлуатаційні властивості: міцність, ресурс, вологопоглинання тощо.

Показники якості обробленої поверхні: точність розміру та її шорсткість, залежать від геометрії інструменту, режиму різання, а також від структури та властивостей матеріалу.

Важливим фактором у процесі лезової обробки композиційного матеріалу являється схема розташування різального клина інструмента відносно орієнтації волокон наповнювача.

Проведені експериментальні дослідження процесів свердління високоміцних полімерних композиційних матеріалів підтвердили значний вплив схеми розташування різального клину відносно структури композиційного матеріалу. Аналізуючи вплив кінематики руху інструмента на сили різання, геометрію різального клину і шорсткість, а також враховуючи той факт, що різні зусилля у композиті сприймаються в основному волокнами наповнювача, при обертанні свердла різальний клин контактує з волокнами композита, при цьому відбувається зміна зусиль розтягування на зусилля стискання.

Аналіз отриманих експериментальних досліджень дозволив зробити наступні висновки:

- зі збільшенням швидкості різання усадка отвору спочатку зменшується, а досягнувши швидкості 100 м/хв. і вище вона починає збільшуватись;
- з збільшенням подачі усадка отвору при досягненні величини більш 0,1 мм/об починає інтенсивно рости.

Це явище можна пояснити наступним: із збільшенням швидкості і подачі в зоні різання починають збільшуватися деформаційні зусилля, рости температура, за рахунок чого починає підвищуватись шорсткість і збільшуватись пружність і ріст усадки матеріалу.

Ключові слова: високоміцні полімерні композиційні матеріали, структура, свердління, стружкоутворення, усадка.

Література

- [1] Волокна для армирования композиционных материалов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://poznayka.org/s77441t1>.
- [2] В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, С. П. Выслоух и др., *Физические основы процесса резания металлов*. Киев: Высшая школа, 1976.
- [3] В. С. Антонюк, С. Ан. Клименко, С. А. Клименко, *Теплові явища при обробці матеріалів різанням: навч. посіб.* Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2014.

UDC 621.643.03

CONTROLLING THE THICKNESS OF THE PLASTIC LAYER APPLIED USING 3D PRINTING

Grigoriy S. Tymchik, Oleksandr O. Podolian

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
E-mail: a.podolian@i.u*

Among the studies related to the development of non-destructive testing equipment, the search for non-contact methods for excitation and recording ultrasound in solids is the most important one [1, 2]. Progress in this area has been

achieved through the use of the electromagnetic acoustic (EMA) method of excitation and reception of ultrasonic vibrations [3, 4].

The problem is to analyze the relationship between the thickness of the plastic layer applied using 3D printing and the acoustic pressure created therein during controlling with the use of EMA transducers.

Based on the studies of a number of authors [5, 6], in our case, a wire with simple harmonic current is mounted on the surface of a layer of plastic applied using 3D printing on a metal platform [5]. As a rule, external magnetic fields are used to improve the quality of EMA transduction [6].

Conducted theoretical studies demonstrates that there is an inverse relationship between the thickness of the plastic layer applied using 3D printing and acoustic pressure. That is when increasing the acoustic pressure will decrease demonstrates that there is an inverse relationship between the thickness of the plastic layer applied using 3D printing h and acoustic pressure. That is when increasing h the acoustic pressure will decrease.

As a result of modelling, the relationship between the thickness of the layer applied using 3D printing and the acoustic pressure was established.

The process of forming acoustic vibrations in the body of the object under test was studied in detail by a number of authors [7-12]. Based on which, to study the process of forming common-mode wires/emitters of acoustic vibrations by the grid, the effect of the thickness of the layer applied to a metal platform using 3D printing is modelled, with its uniform thickness over the entire surface of the metal base it is applied on, on the total acoustic pressure created

To confirm the theoretical studies, a number of experiments have been conducted. Universal flaw detector UD4-T and an EMA transducer E411-5-K12 were used during the experiment. The dependence of the acoustic pressure and thickness of the layer applied to the metal platform was analyzed using 3D printing, by applying layers and further measuring the acoustic signal in the area of its application.

The effect of the thickness of the plastic layer applied to a metal platform using 3D printing on the acoustic parameters of the EMA transducer is studied using mathematical modelling.

Dependences showing the effect of the thickness of the plastic layer applied to the metal platform using 3D printing on the created acoustic pressure are obtained experimentally. The maximum acoustic pressure is created when there is no thickness of the plastic layer applied to the metal platform using 3D printing. The pressure drops sharply, as the layer thickness increases.

Keywords: EMA, transducer, 3D printing, layer, plastic, thickness, acoustic pressure, non-destructive testing.

References

- [1] F. Kliuev et al., *Non-Destructive Testing and Diagnostics: Reference Guide*, F. Sosnyn et al., eds. Moscow, RF: Mashinostroenie, 2005.

- [2] O. Podolian, “Forming of a magnetic field with given characteristics in EMA converters of systems of nondestructive testing of industrial equipment”, *Methods and Devices for Quality Control*, vol. 17, pp. 18-21, 2006. (in Ukrainian)
- [3] O. Podolian, “EMA converter”, RU Patent 2006116939, June 6, 2008.
- [4] H. Tymchyk and O. Podolian, “Formation of special-shaped pulses for electromagnetic acoustic transducers”, *Bulletin of the NTUU KPI. Ser. Instrument Making*, vol. 4, pp. 64-69, 2013. (in Ukrainian)
- [5] B. Yavorskyi and A. Detlaf, *Physics Reference. For Engineers and University Students*. Moscow, SU: Nauka, 1978. (in Russian)
- [6] Yu. Sazonov, *Wave Electromagnetic Acoustic Phenomena in Condensed Media and Physical Methods of Their Usage*. Moscow, RF: GEOS, 2003. (in Russian)
- [7] A. Malynka et al., “Electromagnetic-acoustic method for controlling ferromagnetic sheets and tubes”, *Defectoscopy*, vol. 4, pp. 44-48, 1972. (in Russian)
- [8] V. Komarov, “Modeling of manifestations of electromagnetic acoustic transformation in metals I. Transformation of a quasistationary inhomogeneous electromagnetic field into elastic shear oscillations”, *Control. Diagnostic*, vol. 3, pp. 17-25, 2013. (in Russian)
- [9] V. Tsapenko and Yu. Kuts, *The Basis of Ultrasonic Non-Destructive Testing*. Kyiv. Ukraine: NTUU KPI, 2010. (in Ukrainian)
- [10] H. Budenkov and O. Korobeinykova, “Influence of chemical composition and metal temperature on the efficiency of electromagnetic acoustic transformation”, *Defectoscopy*, vol. 4, pp. 40-49, 2009. (in Russian)
- [11] O. Podolian et al., “Theoretical Investigations of the Ultrasonic Wave Generation by an Electromagnetic Acoustic Transducer“, Kyiv. Ukraine: KPI Science News, vol. 3(119), pp. 84–92, 2018.
- [12] O. Podolian and G. Tymchyk, *The Basis of Ultrasonic Non-Destructive Testing*. Kyiv. Ukraine: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2020. – 180 p. (in Ukrainian).

УДК 621.757

ДО ПИТАННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВУЗЛІВ ВИРОБІВ

Філіппова М. В., Третяк О. В., Проскурєнко Д. М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: m.filippova@kpi.ua, pdm-vp-pbf21@lll.kpi.ua, tov-vp-pbf21@lll.kpi.ua

Ідентифікація вузлів виробів вважається актуальною проблемою в галузі промислового виробництва і є але не до кінця вивченою темою досліджень. Як на етапі проектування продукту, так і на етапі виробництва, мати справу з сучасними деталями дуже складно через їх зростаючу складність. Поширеною стратегією є введення концепції ідентифікації вузлів (Subassembly Identification), щоб уникнути роботи з усіма деталями пристрою одночасно [1, 2]. Ідея полягає в тому, щоб поділити виріб на групи частин, які можна виготовляти незалежно одна від одної.

Існує багато критеріїв, на яких базуються методи ідентифікації стабільних вузлів. Однак більшість методів спираються на підхід, який узагальнено в наступних кроках.

Перший крок – аналіз моделі виробу, побудованої в системах автоматизованого проектування (САПР), тобто отримання топологічної та геометричної інформації. На цьому кроці визначаються контакти та обмеження поверхонь деталей, а також можливі напрямки для переміщення деталей. Ці дані зберігаються або в матрицях, або в графіках.

Другий крок – ідентифікація базових частин. З метою виявлення вузлів вводиться поняття базових деталей. Базові деталі – це m компонентів складальної одиниці, починаючи з яких створюються вузли. Число m завжди встановлюється заздалегідь, і це може бути обмеженням. Вибір базових деталей може відбуватися різними способами, або вручну, або автоматично відповідно до різних критеріїв. Пошук базових частин виконується за матрицями та/або графіками, отриманими в результаті обробки моделі САПР.

Третій крок – ідентифікація вузлів. Після того, як базові деталі визначені, слід генерувати вузли. Існують два різних способи зв'язування деталей із базовими компонентами. Перший – за допомогою алгоритмів ітеративної оптимізації для розділення виробу. У цьому випадку визначені деякі значення пристосованості, і функція пристосованості повинна бути мінімізована. На кожній ітерації центр і члени кластерів оновлюються, поки не буде досягнуто певного порогу. Другий – шляхом генерації підгрупи деталей, видаляючи зв'язки між усіма основними частинами. Якщо будь-яка з цих підгруп містить лише одну базову частину, то вона сама вважається підгрупою. І навпаки, якщо підгрупа включає дві або більше базових частин, вона повинна бути розділена на стільки підгруп, скільки базових частин. Щоб визначити належність частини до групи базової частини, виконуються деякі оцінки з аналізом раніше описаних матриць/графів.

Однак, щоб забезпечити надійні та ефективні інструменти для промислового застосування, слід враховувати експерименти на реальних моделях продуктів. Дійсно, робота з моделями САПР реальних вузлів, що надаються галузями, дуже вимоглива, і виникає багато проблем, якими, зазвичай нехтують. Загалом, фактично, згадуються лише деякі обмеження представлених методів. Серед них єдина можливість переміщення частин уздовж осей x , y і z , надмірне людське втручання та висока обчислювальна вартість.

Під час роботи з промисловими моделями САПР виникає кілька проблем з автоматизованим вилученням необхідної інформації для застосування алгоритмів виявлення складальних одиниць. Перш за все, у моделях САПР часто відсутні частини або вони представлені в спрощеному вигляді. Це може стосуватися різних ситуацій. З одного боку, проектувальник може опустити незначні деталі з метою зробити модель САПР компактнішою та легшою. З іншого боку, загальноприйнятою практикою є фізично не включення з'єднань та кріплень, оскільки вони є стандартними компонентами [1].

Крім того, деякі компоненти можуть бути неправильно розміщені або

погано змодельовані, створюючи перешкоди або, навпаки, є порожні місця між деталями.

Як наслідок, необхідно припустити деякі гіпотези, і необхідна фаза попередньої обробки, щоб зробити модель придатною для ідентифікації вузлів. Детальний аналіз моделі САПР, насправді, є вирішальним для результатів методів ідентифікації, і всі ці аспекти, які дуже важко розглянути, які зазвичай не помічаються, повинні бути прийняті до уваги.

Тому, для уникнення вище наведених проблем для ідентифікації вузлів виробу пропонується використовувати наступний алгоритм вилучення даних (рис. 1.)

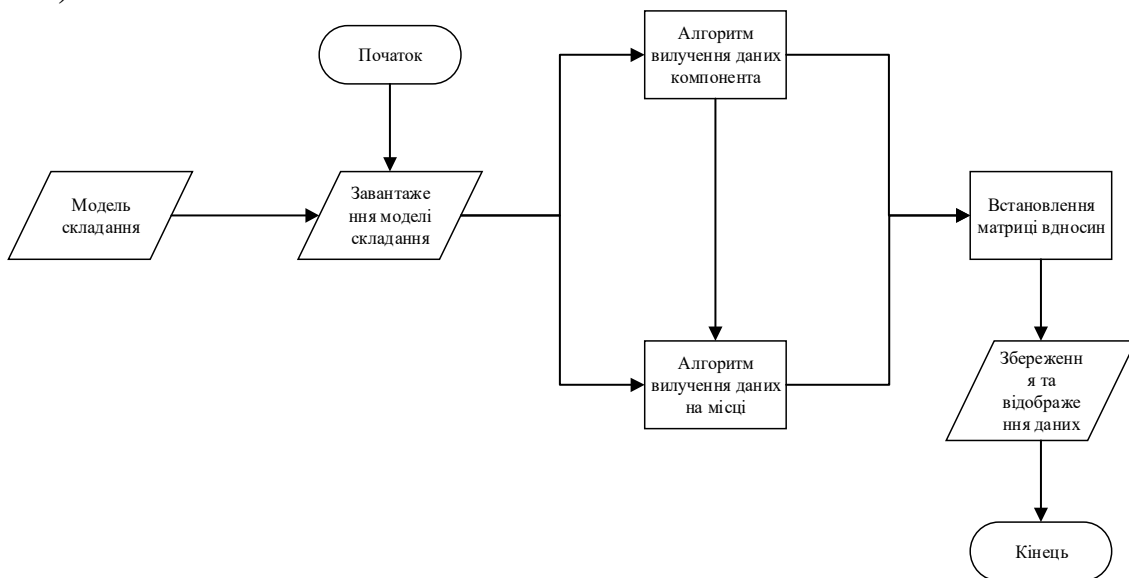


Рис. 1. Алгоритм вилучення даних складання САПР

Після завантаження моделі складання алгоритм починається з вилучення компонентів і даних обмежень, а потім встановлюються зв'язки. Далі використовуються властивості тіла кожного компонента, щоб отримати інформацію про масу, об'єм і площу. Крім того, збираються: ідентифікатор компонента (ID) і початкова позиція. Отримані дані, згодом, використовуються для інших процесів, таких як ідентифікація взаємозв'язків та дослідження колізій. Після чого відбувається встановлення параметрів обмежень складання. У разі обмеження складання параметри поєднаних об'єктів явно задаються параметричною таблицею, якої недостатньо для визначення об'єкта грані, особливо у випадку циліндричної, конічної, сферичної або торичної поверхні. Отже, розроблений алгоритм на першому кроці має доступ до батьківського компонента сутності та витягує конкретні параметри. Потім, на другому кроці, розроблений алгоритм перетворює витягнуті параметри з координати компонента в систему координат складання.

Після того, як ідентифікація базового компонента виконана, алгоритм перевіряє його зв'язки з іншими компонентами, починаючи з компонента, що має вищий бал. Потім алгоритм перевіряє результати зіткнень, щоб здійснити

можливий спосіб складання. Якщо випробуваний напрямок складання не містить складеного компонента, то він розглядається як напрям складання для цього компонента. Цю процедуру повторюють для кожного компонента, зібраного з базовим. У такому випадку цей етап являє собою досягнення першого шару. Алгоритм виконує інший рівень, поки не будуть завершені всі компоненти. Результатом виконання алгоритму є отримання матриць всіх взаємозв'язків деталей у виробів.

Запропонований алгоритм покращує можливості планування складання шляхом прямого вилучення інформації з файлів виробу виконаних в САПР (STEP-файли), аналізу геометричної інформації для визначення геометричних обмежень складання та автоматичного генерування матриць, які представляють взаємозв'язок між деталями 3D-моделі.

Ключові слова: складання, ідентифікація, САПР, параметри обмежень.

Література

- [1] М. В. Філіппова, С. П. Вислоух, “Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування”, *Вісник НТУУ «КПІ» Серія Машинобудування*, № 32, с. 111-117, 2006.
- [2] М. В. Філіппова, Д. М. Проскуренко, О. В. Третяк, М. О. Демченко, “Автоматизоване планування послідовності складання”, *Енергетика і автоматика*, № 5, с. 28-44. 2021. doi: 10.31548/energiya2021.05.028
- [3] G. Dini, M. Santochi, “Automated sequencing and subassembly detection in assembly planning”, *CIRP annals*, 41(1), pp. 1-4, 1992.
- [4] D. Agrawal, S. Kumara, D. Finke, “Automated Assembly Sequence Planning and Subassembly Detection”, in *IIE Annual Conference, Proceedings*, Institute of Industrial and Systems Engineers (IIE), 2014, pp. 781-788.
- [5] T. Dong, R. Tong, L. Zhang, J. Dong, “A knowledge-based approach to assembly sequence planning”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(11-12), pp. 1232-1244, 2007.

UDC 004.93.1

JUSTIFICATION OF THE METHOD OF DETERMINATION OF DEFECTS BY USING COMPUTER VISION TECHNOLOGY

Ihor Mastenko, Nataliia Stelmakh

*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
E-mail: i.mastenko@kpi.ua, n.stelmakh@kpi.ua*

Computer Vision (MV) technology has been widely used in instrument-making, modern production is characterized by the automation of all processes, including description quality output characteristics of finished products. Industry 4.0 provides the ability to create "smart plants" which used sensors to monitor all processes [1].

Currently, to determine the qualitative characteristics of products such as bodies of rotation, namely reed tubes for beverages, visual inspection is used, characterized by low productivity and the involvement of a significant amount of human labor during the manufacturing process. Fatigue and inattention of employees is a

significant problem, especially at the end of a work shift. Given the continuity of production and the volume of production in multi-batch production, it was proposed to automate this control operation, to eliminate manual labor and human error [2].

Given the peculiarity of the products, namely the various natural factors of shape, pigmentation and color, there are no identical tubes and no reference. The technological process involves the application of the method of continuous control and includes the distribution of products by eleven qualitative characteristics, which include various defects: cracks, pests, pigmentation, pigmentation, length deviations, diameter distribution and deviations from shape. To determine these characteristics, we proposed the use of optical cameras that work by analogy with the human eye. The use of ultrasonic or infrared sensors does not provide a complete picture due to the local concentration of the study area. The use of mechanical contact methods is limited by the variety of shapes of products.

The use of optical cameras will allow you to get images that clearly show the color gradient, geometric shape, internal state of the objects of control. Also, when comparing performance, the cameras are optimal for continuous conveyor production

Keywords: computer vision, methods, automated production, quality control.

References

- [1] Н. В. Стельмах, “Програмний модуль для прискореної технологічної підготовки складального дрібносерійного виробництва приладів”, *Вісн. НТУУ “КПІ”. Машинобудування*, № 54, с. 12-17, 2009.
- [2] I.V. Mastenko, N.V. Stelmakh, “Generative design of a frame type construction”, *KPI Science News*, № 2, pp. 81-89, 2021. doi: 10.20535/kpispn.2021.2.236954.

УДК 621.9.62

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Шевченко В. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: shevchenko.vadim.pbf@gmail.com

Зниження собівартості та підвищення прибутку виробництва деталей приладів нерозривно пов'язано з створенням більш точних та надійних систем оптимізації режимів обробки деталей приладів, які дозволять в процесі обробки в умовах автоматизованого виробництва стабілізувати швидкість зносу різального інструменту і, таким чином, підвищити точність обробки та якість поверхні деталей. Це дасть змогу підвищити продуктивність використання автоматизованого обладнання та знизити кількість бракованих деталей [1].

Розроблена система складається з пристроїв вимірювання ультразвукового сигналу, змінної складової електрорушійної сили різання (ЕРС), блоку визначення знаку відхилення, блоку перетворення сигналу змінної складової ЕРС в параметр шорсткості поверхні деталі, а також логічного пристрою та

пристрою керування приводами головного руху та подачі, технологічного обладнання [2].

В процесі обробки деталей приладів на верстатах з ЧПК в умовах автоматизованого виробництва вимірюють змінну складову ЕРС, яка виникає при різанні за рахунок руйнування кристалічної структури матеріалу деталі, далі перетворюють цей сигнал в параметр шорсткості поверхні деталі. Змінна складова ЕРС, яка виникає при різанні, залежить від нульової та теплової енергії електрона. Нульова енергія електрона виникає за рахунок зміни величини ефективної маси щільності стану електронів, при цьому, частина електронів отримують енергію достатню для виходу на границю поділу між ріжучим інструментом та деталлю. Ступень пластичної деформації, температура, концентрація електронів матеріалів інструмента та деталі є основними причинами виникнення змінною складовою ЕРС, яка пов'язана з видами зносу ріжучого інструменту [3].

Також вимірюються ультразвукові сигнали. Ультразвуковий метод заснований на вимірюванні зносу ріжучого інструменту за рахунок визначення часу проходження ультразвукової хвилі через тіло ріжучого інструмента [4]. Ультразвукові коливання у вигляді імпульсів випромінюються п'єзоелектричним джерелом. Якщо, ці імпульси наштовхуються на перешкоду, то частина енергії випроміненої хвилі відбивається і повертається до джерела випромінення у вигляді ехоімпульсу [5]. На основі вищевказаного проводять оптимізацію величин подачі та швидкості різання, що дозволяє безпосередньо в процесі обробки стабілізувати швидкість зносу різального інструменту.

Використання запропонованої системи оптимізації режимів обробки деталей приладів на верстатах з ЧПК в умовах автоматизованого виробництва дозволить підвищити точність обробки, якість отриманої поверхні деталі, а також підвищити продуктивність обробки та знизити собівартість виготовлення деталей приладів.

Ключові слова: змінна складова електрорушійної сили, ультразвукові сигнали, оптимізація режимів різання, точність обробки, якість поверхні деталі, собівартість, продуктивність.

Література

- [1] В. А. Остафьев, Г. С. Тымчик, В. В. Шевченко, “Адаптивная система управления”. Механизация и автоматизация управления, № 1, с. 18–20, 1983.
- [2] В. В. Шевченко, Є. В. Богачов, Є. І. Коробцов, “Метод підвищення достовірності діагностики стану різального інструменту при автоматизованій обробці деталей”, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 55, с.78-80, 2018.
- [3] В. В. Шевченко, С. С. Заєць, Є. В. Богачов, Є. І. Коробцов, “Система діагностики працездатності різального інструменту на верстатах із ЧПК”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 29 (68), № 2 с. 198-202, 2018.
- [4] Abu-Zahra N.H., Yu G. “Analytical model for tool wear monitoring in turning operations using ultrasound waves”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 2000, 40:1619–1635. DOI: 10.1016/S0890-6955(00)00030-4.

[5] N. Abu-Zahra, T. Nayfeh, “Calibrated method for ultrasonic on-line monitoring of gradual wear during turning operations”, *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 37 (10) (1997) 1475.

UDC 519.6: 658.512

TO THE QUESTION OF PRODUCTION SYSTEMS' OPTIMIZATION

Sergii Vysloukh, Oksana Voloshko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

E-mail: vsp1@ukr.net, voloshko_o@ukr.net

The production system is a complex system characterized by a large number of parameters with complex relationships. The task of optimizing the production system, which allows you to choose the best option, is closely related to the widespread use of modern mathematical iterative computational schemes based on well-founded logical procedures and algorithms. Therefore, the methodological foundations of optimization with the use of the provisions of mathematical analysis are important, which simplifies the description of the structural elements of computational optimization procedures [1].

The use of mathematical results and methods of optimization theory in solving applied problems requires establishing the scope of the optimization system, determining the quantitative criteria on the basis which you can analyze options to choose the best, select intrasystem variables to determine characteristics and identify options, and build a model that reflects relationships between variables. This actions' sequence is the content of the process for setting the engineering optimization's problem. Correct problem statement is the key to successful optimization research, which indicates its applied nature, which is more an art than an exact science. The art of problem statement is based on a clear presentation of the advantages, disadvantages and specific features of different optimization methods [2, 3].

Therefore, at the first stage of optimization it is necessary to determine the limit values of the studied system's parameters, which characterize the range of problem's acceptable solutions. Since such relationships always exist, defining the boundaries of the system is the first step in an approximate description of the system. This initial choice of graces can be quite tough. Therefore, in engineering practice, as far as possible, it is recommended to break a large complex system into relatively small subsystems that can be studied independently. But we must be sure that this decomposition will not lead to excessive simplification of the real system [4].

At the next stage for setting the problem of studied system's optimization, it is necessary to choose the optimization criterion, based on which you can evaluate the characteristics of the system to choose the best option or many of the best conditions for system operation. When solving engineering problems, economic criteria are usually chosen, many of which may include: total capital costs, costs per unit of time, net profit per unit of time, return on investment, cost-benefit ratio, and so on. Also, the optimization criteria can be based on some technological factors, such as

minimizing the manufacturing process' length, maximizing the production's pace, minimizing the amount of energy consumption, minimizing technological costs, and so on. Regardless of which criterion is chosen for optimization, the best option always corresponds to the smallest or largest value of the characteristic (criterion) indicator of the system's quality. Usually, when solving the optimization problem, one criterion is used, which does not allow to obtain the solution of contradictory problems, which, for example, simultaneously provides minimum costs, maximum reliability, minimum energy consumption and so on. One way to solve such controversial problems is that one of the criteria is chosen as primary, and all the others are considered secondary. Then the primary criterion is used in optimization as a characteristic measure, and secondary – is presented as a constraint of the optimization problem, which sets the changes' range in the allowable values of the relevant indicators from minimum to maximum.

At the third stage of setting the optimization problem, the selection of independent variables is performed, which must adequately describe the acceptable solutions to the problem or the system's conditions. There are a number of important factors to consider when choosing independent variables. First, it is necessary to distinguish between variables whose values can vary in a fairly wide range, and variables whose values are fixed and determined by external factors. It is also important to distinguish between system parameters that can be considered constant and parameters that can change due to external or uncontrolled factors. Therefore, changes in these system parameters must be taken into account when setting the optimization problem to obtain a realistic and executable result. Secondly, when setting the optimization problem, all the main variables that affect the system's functioning or the project's quality must be taken into account. Thus, independent variables should be chosen so that all technical and economic solutions are reflected in the formulation of the problem. It is advisable to use the rule according to which only those variables are considered that significantly affect the characteristic criterion chosen for the analysis of a complex system. These variables are usually called optimizing.

After choosing the characteristic criterion and optimizing variables at the issue's next stage it is necessary to build a model that describes the relationship between the variables of the problem and reflects the impact of independent variables on the goal's degree, which is determined by the optimization criterion. In principle, the optimization study can be performed by direct experimentation with the system. To do this, it is necessary to record the values of independent internal system variables, implement a procedure for monitoring the system's functioning in these conditions and assess the criterion's value of system's quality functioning, based on registered characteristics. Then you can use optimization methods to adjust the values of independent variables and continue a series of experiments. But in practice, optimization research is conducted, as a rule, on the basis of the system's simplified representation, called the model. The use of models is due to the fact that experiments with real systems usually require too much money and time, and in some cases is

associated with risk. Models are widely used in engineering design, as it opens up opportunities for the implementation of the most economical way to study the impact of changes in the values of the main independent variables on the system's quality [5, 6].

In general, the model's structure includes the basic material's equations and energy balances, the relationships associated with design decisions, as well as equations that describe the physical processes occurring in the system. These equations are usually supplemented by inequalities that define the allowable values' range of independent variables, determine the requirements imposed on the upper or lower limits of changes in the system's characteristics, and set limits on available resources. Thus, the elements of the model contain all the information used in solving the problem or predicting the production system's characteristics. The process of building a model is quite time consuming and requires a clear understanding of the optimization system's specific features.

In optimization models, the variables on which the constraints and the objective function depend can be discrete (most often integers) and continuous. At the same time, the constraint and the objective function are divided into linear and nonlinear. The optimization problems presented by these models take into account the corresponding mathematical properties of these models. The most well-known and effective of these are linear programming techniques, where the objective function and constraints are linear. Methods of dynamic, integer, stochastic, nonlinear programming, etc. are intended for solving optimization problems with models of the second types.

Keywords: production system, methodological bases of optimization, optimization problem's issue, problem solving area, optimality criterion, optimizing variables, mathematical model, optimization method.

References

- [1] В. Вагнер, *Основы исследования операций*. Т.1. Москва: Мир, 1972.
- [2] Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгдел, *Оптимизация в технике*. Кн. 1. Москва: Мир, 1986.
- [3] Х. А. Таха, *Введение в исследование операций*. 6-е издание. Москва: Изд. Дом «Вильямс», 2001.
- [4] S. P. Vysloukh, V. S. Antonyuk, K. S. Barandych, O. V. Voloshko, “Mathematical modeling of automated production systems”, *International Scientific Journals Mathematical Modeling*, vol. 4, Is. 4, pp. 114-120, 2020.
- [5] V. S. Antonyuk, S. P. Vyslourh, Chapter 4: Parametric optimization of the process for material by rising processing. In: *Modern Manufacturing Processes and Systems, Vol. 1: Fundamentals*. Vrnjačka Banja (Serbia): SaTCIP Publisher Ltd. & Belgrade (Serbia): Faculty of Information Technology and Engineering (FITI), 2020, pp. 73–100. <https://plus.sr.cobiss.net/opac7/bib/30145801.full> .
- [6] С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова, *Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи: підручник*. Київ, Україна: Політехніка, 2021.

УДК 681.2

СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ОБРОБКИ НА ФРЕЗЕРНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Заєць С. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: zss_vp@bigmir.net

На сучасному етапі розвитку приладобудування для виготовлення складних деталей використовуються фрезерні верстати з числовим програмним керуванням – ЧПК, обробляючі центри. Вони володіють вельми великими можливостями по обробці складних по конструкції деталей, за допомогою багатьох ріжучих інструментів в автоматичному режимі без втручання робітників. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій значно поліпшуються умови праці та економічні показники виробництва [1].

Сучасне обладнання є досить коштовним і має значний недолік в тому, що воно не реагує на стан протікання самого процесу механічної обробки, не має зворотного зв'язку технічного стану процесом механічної обробки, його точності та надійності. Це часто призводить до збоїв у виробництві та аварійних ситуацій на верстатах. Щоб уникнути таких проблем та підвищити якість виготовлення деталей пропонується система підвищення надійності обробки на основі технічної діагностики і прогнозування виникнення відмов, яка за рахунок моніторингу, в реальному часі, відслідковує технічний стан механічної обробки деталей, на багатоцільових верстатах, по результатам роботи якої, і робиться прогнозування вірогідності відмови обладнання чи інструмента. Надійність процесу фрезерування залежить від сполучення властивостей безвідмовності й довговічності різального інструмента, а також забезпечення заданої якості обробленої поверхні. Безвідмовність і довговічність інструмента залежать від характеристики міцності ріжучого інструмента, його зносостійкості, і режимів роботи. Основними видами відмов ріжучого інструменту при фрезеруванні є: зношування ріжучої кромки, викришування, сколювання і поломки фрез. Внаслідок відмови різального інструмента підвищується відповідно відсоток браку й зменшується продуктивність всього технологічного процесу, що приводить до зростання витрат на відновлення порушень у технологічній системі [2]. Крім руйнування інструмента, на надійність процесу фрезерування може вплинути зниження якості обробленої поверхні. Найбільш важливим параметром якості обробленої поверхні є шорсткість. Для досягнення при обробці необхідних показників шорсткості, підбирають режими різання з урахуванням періоду стійкості різального інструмента. Однак дія випадкових факторів може привести до збільшення шорсткості понад припустиму межу й, отже, до браку, що виник до встановленого періоду стійкості різального інструмента. Для формулювання

завдань, пов'язаних з проектуванням і вибором методів розрахунку систем підвищення надійності механічної обробки на фрезерних верстатах з ЧПК, необхідно зупинитися на фізичній суті технологічного процесу і встановити причини і закономірності явищ, якими він супроводжується. Об'єктом підвищення надійності для системи є верстат спільно з процесом різання. У вихідних характеристиках об'єкту відбуваються зміни параметрів як управляючого пристрою, так і підвищення надійності.

Незмінною частиною пристрою, що підвищує надійність, є пристрій числового програмного прогнозування (ПЧПП), в який вводять програму, яка закодована в певній системі числення і нанесена на програмний носій. Після зчитування з програмоносія закодована програма зазнає в ПЧПП зворотний процес декодування, тобто систему прогнозування відрізняє дискретний характер завдання і проходження сигналів. У програмі містяться всі відомості про такий процес обробки, який гарантує дотримання в допустимих нормах всіх заданих вихідних параметрів: точності, продуктивності, собівартості, стійкості інструменту і т. д. Проте максимальна ефективність використання верстата не завжди збігається з виконанням цих норм. Часто потрібен достатньо високий рівень одного або декількох показників процесу за умови, що рівні інших не вийдуть за допустимі межі. Наприклад, потрібно одержати високу продуктивність при певній точності або собівартості, або знайти деякі компромісні значення продуктивності та економічної складової стійкості інструменту. Іншими словами, слід оптимізувати процес обробки відповідно до поставленої мети [3, 4].

Оптимізація процесу обробки вимагає чіткого визначення критерію та вибору стратегії прогнозування, що забезпечує досягнення оптимуму цього критерію.

Відхилення розмірів деталей від вказаних на кресленні при обробці на верстатах відбуваються через похибки, обумовлені недосконалістю механічної частини верстата, інструменту і робочих механізмів, а також через похибки, пов'язані з системою прогнозування. Розглянемо докладніше складові похибок, розділивши їх в першу чергу на похибку пристрою, що прогнозує, і похибку об'єкту прогнозування.

Похибки пристрою, що прогнозує, складаються з трьох складових:

- 1) похибка відтворення (статичні і динамічні похибки приводів подачі);
- 2) похибка програми;
- 3) похибки, що вносяться шумами каналів зв'язку.

Похибку програми можна, у свою чергу, розділити на похибку апроксимації і похибку, пов'язану з дискретизацією. Ці похибки для різних випадків детально розглянуті в роботах [5, 6].

Зупинимось докладніше на похибках об'єкту прогнозування, який є специфічним як з погляду технологічного процесу, так і з погляду виду навантаження на приводи. Одна з основних частин об'єкту прогнозування – процес різання (стружкоутворення) – є складним фізичним процесом, при

якому мають місце пружні і пластичні деформації. Він супроводжується великим тертям, тепловиділенням, наростом утворення, усадкою стружки, зміцненням, зношуванням ріжучого інструменту.

Стратегія прогнозування верстатом спільно з процесом обробки на ньому, побудована із застосуванням прогнозуючої моделі, повинна передбачати організацію прогнозування за наступним ієрархічним принципом.

1. На верхньому рівні ієрархії обчислюють критерій прогнозування, йдучи на компромісне рішення при виборі точності, продуктивності і собівартості, і видають завдання на уставки регуляторів. Періодично обчислювальні системи обробляють статистичний матеріал в цілях корекції як математичної моделі, так і рівня стабілізації параметрів.

2. На нижньому рівні ієрархії проводиться зміна керуючих змінних з метою оптимізації технологічного процесу, що визначає вихідні властивості верстата. Ці зміни здійснюються за уставками, що видаються верхнім рівнем з умови екстремуму критерію оптимізації.

Ключові слова: фрезерні верстати з числовим програмним керуванням, відмова ріжучого інструменту, підвищення надійності, об'єкт прогнозування.

Література

- [1] М. М. Тверской, *Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках*. Москва: Машиностроение, 1982.
- [2] В.А. Коробов, *Адаптивное управление в станках с ЧПУ: Обзор*. Москва: НИИмаш, 1979.
- [3] В.А. Бесекерский, *Цифровые автоматические системы*. Москва: Наука, 1976.
- [4] С. С. Заєць, «Система діагностування стану обладнання в процесі виготовлення деталей приладів», на *XIX Між нар. наук.-техн. конф. ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*, Київ, 2020, с. 43-45.
- [5] В. А. Ратмиров, *Основы программного управления станками*. Москва, РФ: Машиностроение, 1978.
- [6] В. В. Шевченко, С. С. Заєць, Є. В. Богачов, Є. І. Коробцов, «Система діагностики працездатності різального інструменту на верстатах із ЧПК», *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 29 (68), № 2, с. 198-202.

UDC 621.9.011

TESTING THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF STEEL ELEMENTS USING THE TAGUCHI METHOD

¹⁾Andrzej Dzierwa, ²⁾Natalia Stelmakh, ²⁾Pavlo Karasov

¹⁾Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

²⁾National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Kyiv, Ukraine

E-mail: adzierwa@prz.edu.pl, n.stelmakh@kpi.ua, karasovpavlo@gmail.com

Surface topography is one of the most important factors which affects the reliability and life of machine elements [1]. It has a structure composed of microscopic peaks and valleys formed during the manufacturing process and is

widely present in various engineering practices [2]. Characteristics of tribological phenomena, like friction and wear, in dry or/and lubricated conditions, depend on areal surface topographies of sliding surfaces. Although many experimental works have been carried out on the surface roughness and topography of contact surfaces, correlations between surface roughness and friction and wear are not yet clearly defined [3, 4]. Therefore, the aim of the present work was to comprehensive investigation of the influence of ground surfaces on friction and wear using the Taguchi method.

The tribological tests were conducted using ball-on-disc tester. The frictional pairs consist of balls made of 100Cr6 steel with hardness of 62 ± 2 HRC co-acted with a steel discs of 40 ± 2 HRC hardness. The disc roughness height, determined by the Sq parameter (root mean square of the surface) was $0.299 \mu\text{m}$ and other selected parameters are presented on the Fig. 1. Tests were carried out in dry friction conditions at an ambient temperature of $20 - 22^\circ\text{C}$. The sliding speeds were: 0.24; 0.48 and 0.72 m/s, the sliding distance: 160, 282 and 404 m, and the normal load 5, 10 and 15 N. The experimental plan according to the Taguchi method included 27 experiments. During tribological tests, wear products were removed from the test chamber using compressed air. The friction force was recorded during each test, while after its completion the amount of wear was determined using a white light interferometer Talysurf CCI Lite.

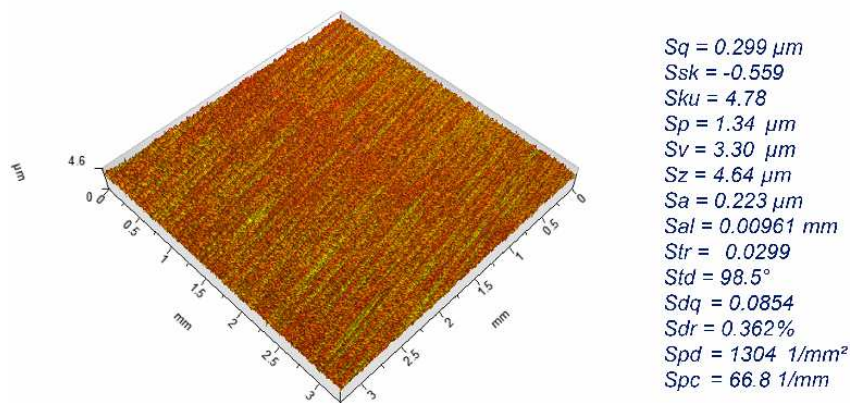


Fig. 1. Isometric view and selected surface topography parameters of tested disc

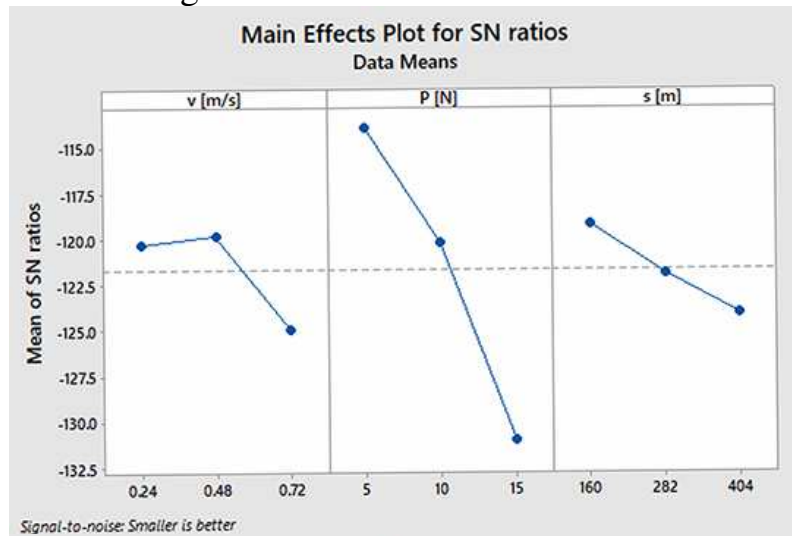
The measuring area was $3.29 \text{ mm} \times 3.29 \text{ mm}$, the sampling interval in perpendicular directions was $3.3 \mu\text{m}$. The measurements of the wear tracks were taken at four positions 90° apart. Then, the profiles were extracted perpendicularly to the wear tracks and the wear cross-sectional areas were calculated using TalyMap Gold 6.0 software. The calculation of volumetric wear of the disc according to Equation (1) was the next step [5].

$$VD = \pi ds \quad (1)$$

where: d – diameter of the wear track [mm], s – cross-sectional area of the wear track [mm^2].

Fig. 2 shows mean effect plot for S/N ratio for observation of the tested tribological parameters. From Fig. 2, it is evident that the load was the basic parameter influencing

a)



b)

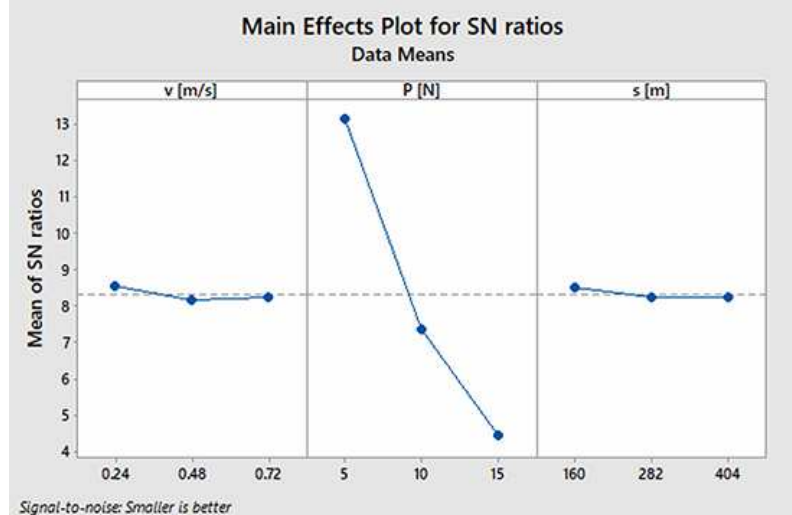


Fig. 2. Mean effect plot for S/N ratio for wear volume (a) and coefficient of friction (b)

the changes in the value of volumetric wear as well as the coefficient of friction. The influence of the other parameters (sliding speed and sliding distance) was visible only in the case of volumetric wear tests, while it was marginal in the case of the friction coefficient tests. The lowest values of volumetric wear were obtained for the following parameters: $v = 0.24$ m / s; $P = 5$ N; $s = 160$ m and the lowest values of the friction coefficient were recorded with the following parameters: $v = 0.24$ m / s; $P = 5$ N; $s = 282$ m.

Key words: surface topography, characteristics of tribological phenomena, tribological tests.

References

- [1] X. Zhang, et al., “Influence factors of surface topography in micro-side milling”, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12 (2019), pp. 5239-5245.
- [2] R. Shi, et al., “Effect of surface topography parameters on friction and wear of random rough surface”, *Materials*, 12 (2019), 2762.

- [3] F. Svahn, A. Kassaman-Rudolphi, E. Wallen, “The influence of surface roughness on friction and wear of machine element coatings”, *Wear*, 254 (2003), pp. 1092-1098.
- [4] R. Reizer, L. Galda, A. Dzierwa, P. Pawlus, “Simulation of textured surface topography during a low wear process”, *Tribology International*, 44 (2011), pp. 1309-1319.
- [5] A. Dzierwa and N. Stelmach, “Analysis of strength criteria in the design of products from composite materials”, *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, no. 61(1), pp. 46–51, Jun. 2021. DOI:10.20535/1970.61(1).2021.237094.

УДК 681.52; 004.71

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ ПОБУДОВИ КАРТИ МІСЦЕВОСТІ ДЛЯ МОБІЛЬНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ІНФРАЧЕРВОНИХ І УЛЬТРАЗВУКОВИХ ДАТЧИКІВ

Глухов О. В., Кравчук О. О., Палій М. В.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
E-mail: mykhailo.palii@nure.ua, oleg.glukhov@nure.ua, olha.kravchuk@nure.ua*

На даний час індустрія автономних платформ набула широкого розвитку. Розглядається дослідження алгоритму побудови карти місцевості для мобільної роботизованої платформи при використанні інфрачервоних датчиків. Робот повинен аналізувати та запам'ятовувати карту місцевості та маршрут для приміщень, де буде здійснювати своє робоче завдання.

Для реалізації цього питання використовується алгоритм SLAM на основі фільтру частинок для наземного мобільного робота, що використовує ультразвукові датчики дистанції та моделює його роботу [1].

Роботу необхідно в кожен момент часу знати своє місцезнаходження, а також поступово сканувати простір за допомогою сенсорів, складаючи карту місцевості. Якщо робот проїжджає по тій області приміщення, яку він вже відсканував, відбувається звірка. В результаті, якщо апарат розуміє, що поточні показання одометрії не відповідають показанням карти, відбувається коригування. У якості далекомірів ми запропонуємо використовувати інфрачервоні та ультразвукові датчики [2].

Використаємо ультразвуковий датчик hc-sr04 (1.7\$), та інфрачервоний датчик LM393 (1\$). Прикріпимо їх на сервопривід, так щоб вони могли обертатися на 90 градусів у площині XY, і розташуємо їх, як показано на рисунку 1. Цей підхід дозволяє нам повністю сканувати всю територію, за рахунок двох датчиків, які можуть обертатися за допомогою сервоприводів.

Для моделювання роботи алгоритму використаємо середовище моделювання V-REP. На рисунку 2 зображена карта перешкод.

На рисунку 3 представлений очікуваний результат роботи програми карти та визначення положення робота з використанням даних, одержуваних з ультразвукових датчиків.

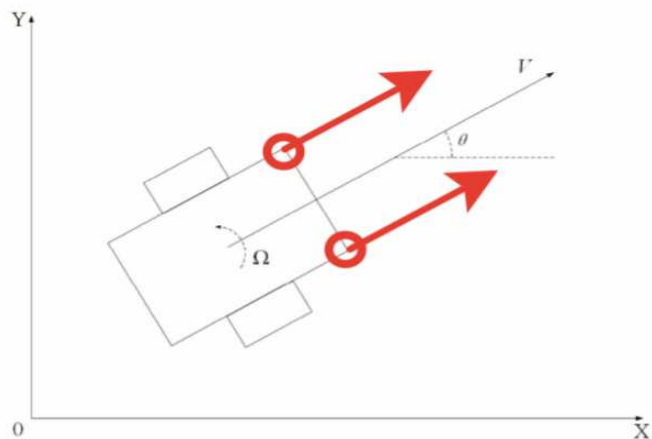


Рис. 1. Схема датчиків, розташованих на роботі

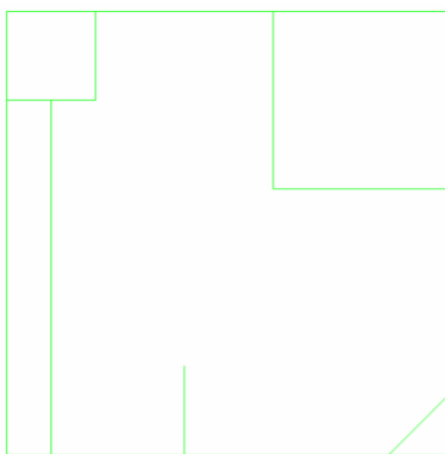


Рис. 2. Карта перешкод

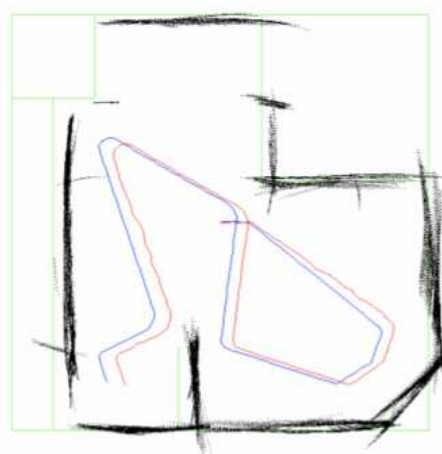


Рис. 3. Результат побудови карти

Таким чином, щоб побудувати карту місцевості для мобільного робота використаємо ультразвукові та інфрачервоні датчики, алгоритм SLAM. Розроблений підхід дозволяє визначити положення мобільного робота у двомірному просторі, а також побудувати карту місцевості.

Ключові слова: асистент, SLAM, робот, датчик.

Література

- [1] О. В. Глухов, О. О. Кравчук, В. А. Чекубашева, В. Є. Роговець, Є. В. Шевченко, «Розробка автономної системи контролю параметрів організму для використання в умовах COVID-19, медико-психологічні аспекти реабілітації й абілітації в епоху турбулентності», у *Збірн. наук. праць за заг. ред. проф. О.А. Панченка*. 2021. Київ. КВІЦ. с.69-72.
- [2] V.M. Beresnev, V.A. Chekubasheva, O.V. Glukhov, O.O. Kravchuk, *J. Nano Electron. Phys.* 13 No 5, 05039 (2021).
- [3] V. Chekubasheva, O. Glukhov, O. Kravchuk, V. Rohovets, “Creation of a remote presence robot based on the TI-RSLK development board”, in *II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Physics 2021* (6-12 June 2021, Kharkiv): Conference Program and Book of Abstract, Editor N. Mysko-Krutik. Kharkiv: FOP Brovin O.V., 2021. 229 p.

УДК 004.946:621.01

ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ДОДАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ПРИ ВИКОНАННІ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ

¹⁾Чигрін О. В., ¹⁾Барандич К. С., ²⁾Гладський М. М.

¹⁾Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²⁾ТОВ «Прогрестех-Україна», Київ, Україна

E-mail: o.chyhrin.pbl1mp@kpi.ua, ukr@progresstech.ua

Застосування технології доповненої реальності (AR) для керівництва процесом складання є новим підходом у вітчизняному виробництві. Доповнена реальність дозволяє інтегрувати віртуальну інформацію, таку як комп’ютерна графіка, текст, звук та інші модальності, у фізичне середовище, щоб користувачі могли сприймати цю інформацію як існуючу в реальному часі [1]. Одною з перспектив розвитку технологій доповненої реальності є інтеграція у виробничий процес у якості «цифрових креслень», проте не в звичному до сьогодні форматі. Технологи на виробництвах під час розрахунку часу на виконання складальних робіт завжди враховують час витрачений на ознайомлення з кресленням, іноді виникають випадки неправильного читання креслень, що в разі збільшує кількість витраченого часу, усе це коштує грошей компанії. У випадку більш складних складальних вузлів робітник потребує постійної та поетапної перевірки виконаних дій, проте сьогодні креслення існують лише у 2D формі на комп’ютері, планшеті/телефоні або на папері, що не є дуже зручним, оскільки робітнику доводиться чергувати свою увагу між фактичним складанням та інструкціями зі складання.

На сьогодні деякі компанії вже використовують AR технології для вирішення подібних задач. Інженери компанії Boeing продемонстрували застосунок, що використовує додану реальність для допомоги робітникам при складанні літаків [2]. Випробування з використанням доданої реальності призвело до покращення продуктивності монтажу проводки на 40 %.

Інженери в «Iowa State University» [3] працюють над системою, що здатна розпізнавати та відстежувати деталі під час складання, накладати на них 3D моделі цих деталей та відображати наступні кроки складального процесу. Проте для того, щоб відстежувати позицію деталі у реальному часі їм необхідно використовувати прилад з датчиками глибини, який за допомогою інфрачервоного проектора створює тривимірне зображення об'єкта.

Дослідницький інститут «Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV» розробили застосунок [4] «MA2RA - Manual Assembly Augmented Reality Assistant» для цифрової підтримки робітника під час складальних робіт. На робочому місці працівника розміщуються штрих коди/QR коди. Скануючи їх, застосунок знає про розміщення усіх необхідних складальних елементів та зображує у 3D поетапно процес складання, що допомагає швидше виконати робоче завдання та уникнути помилок під час його виконання.

Не дивлячись на швидкий розвиток AR технологій, вони досі мають недоліки у застосуванні, а саме продуктивність апаратного та програмного забезпечення (для використання такої технології необхідна техніка з великими розрахунковими можливостями та невеликими габаритами, також треба враховувати, що техніка потребує охолодження), методи відстеження (безумовно вже існують методи відстеження об'єктів у реальному світі, проте вони великогабаритні та не підходять для використання концепції наголовного дисплею (Head-mounted display)), прийняття користувача (проблема розширеної реальності у тому, що людина розуміє, які з об'єктів справжні, а які є ілюзією, спроби наблизити вигляд створених доповнень до реальних предметів тільки викликає їх відчуження та незадоволення користувача).

З огляду на вище зазначене в даній роботі пропонується розробити систему, що буде включати вже відомий функціонал для керівництва при складанні та додати функціонал, що вважається обов'язковим під час складальних робіт у приладобудуванні, а саме відображення розмірів під час складання, анотування кожної деталі згідно технічних умов, можливості створення цифрових технологічних карт складання з описом/візуалізацією підказок до операцій. Також пропонується інтегрувати елементарний функціонал САД систем як розширення застосунку, а саме створення ескізів з точними розмірами для подальшого будування 3D моделей [5].

Ключові слова: додана реальність, автоматизація, складання.

Література

- [1] M. L. Yuan, S. K. Ong & A. Y. C. Nee (2008) Augmented reality for assembly guidance using a virtual interactive tool, *International Journal of Production Research*, 46:7, 1745-1767, DOI: 10.1080/00207540600972935
- [2] Boeing Tests Augmented Reality in the Factory - Режим доступу: www.boeing.com/features/2018/01/augmented-reality-01-18.page - 19.01.2018 р.
- [3] Radkowski, R. Object tracking with a range camera for augmented reality assistance. *J. Comput. Inf. Sci. Eng.*, 2016, 16, 011004.

- [4] M. König et al., "MA2RA - Manual Assembly Augmented Reality Assistant," in *2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2019, pp. 501-505, doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978844.
- [5] Системи автоматизованого проєктування. Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології виробництва приладів» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад. К. С. Барандич, О. О. Подолян, М. М. Гладський. – Електронні текстові дані (1 файл 3,13 Мбайт). Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 97 с.

УДК 681.52; 004.71

ВИБІР ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ДАТЧИКІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ НАДІЙНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ТА КОНТРОЛЮ ТЕЛЕКЕРОВАНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

Кравець І. Г., Глухов О. В., Кравчук О. О.

*Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна
E-mail: ivan.kravets@nure.ua, oleg.glukhov@nure.ua, olha.kravchuk@nure.ua*

Навігаційна система – це набір пристроїв, алгоритмів і програмного забезпечення, що дозволяє орієнтувати об'єкт у просторі. Важливим моментом є вибір датчиків, які в поєднанні з алгоритмами та аналізом за допомогою програмного забезпечення змушують пристрій рухатися у той чи інший бік [1, 2].

Датчики/детектори/перетворювачі – це електричні, оптико-електричні або електронні пристрої, що складаються зі спеціальної електроніки або інших чутливих матеріалів, для визначення наявності певної сутності чи функції. Деякі призначені для визначення фізичних властивостей, таких як температура, тиск або випромінювання, а інші можуть виявляти рух або близькість.

Наше завдання запропонувати датчики та алгоритм для успішної навігації в просторі телекерованої платформи. Необхідно правильно інтерпретувати інформацію про навколишнє середовище, одержану від датчиків, і постійно відстежувати власні координати.

У ході аналізу роботи системи навігації [3, 4], одними із складових датчиків для надійної телекерованої платформи є:

- датчики зору та зображення;
- датчики наближення;
- датчики положення;
- датчики руху.

В якості лазерного далекоміра, ми можемо запропонувати PNBC008. Лазерний далекомір Wenglor PNBC008 – надійне рішення для використання у різних галузях промисловості. Датчик має аналоговий вихідний сигнал струмом 4-20 мА напругою 0-10 В. Оснащений інтерфейсом Ethernet TCP/IP для віддаленої передачі сигналу та можливості застосування додаткових програмних засобів. Забезпечує

точні показники в діапазоні 0,2-1 м та стабільні результати. На відміну від аналогів: високоточний лазерний датчик.

Для успішної роботи датчика, запропоновано методику засновану на фреймворку ROS (robotic operating system), та пакеті amcl 2 [5, 6, 7]. Amcl - система імовірнісної локалізації робота, що рухається в 2D. Він реалізує адаптивний підхід, який використовує фільтр частинок для відстеження положення робота на відомій карті.

Нижче наведена схема реалізації побудови карти, за допомогою використання високоточного датчика PNBC008, в складі єдиної системи з пакетом amcl 2.

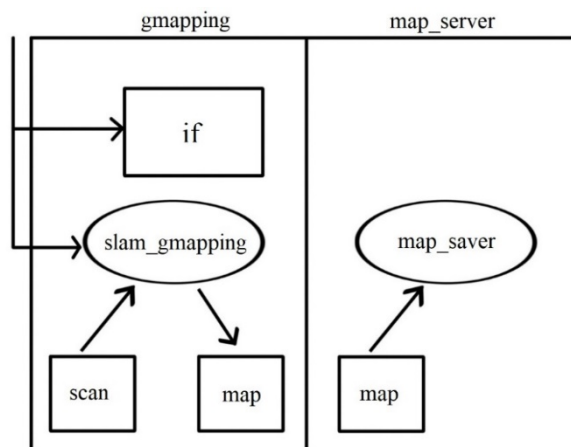


Рис. 1. Структура роботи пакетів, які реалізують побудову карти місцевості

У доповіді наведено перевагу використання точного лазерного далекоміра Wenglor PNBC008, у складі роботи фреймворку ROS, та з його використанням одним з найліпших пакетів побудови та обробки інформації навколишнього середовища.

Ключові слова: датчик; система навігації; локація.

Література

- [1] Y. Zhang, *Key Technologies of Magnetically-Coupled Resonant Wireless Power Transfer*. Singapore: Springer Theses, 2018.
- [2] T. Narendran, Mr. P. Saravanan, Dr. V. Nandagopal, "Design and Implementation of Smart Docking and Recharging System for Defense Robot", *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 38-41, 2015. DOI: 10.9790/1676-10123841
- [3] M. Tampubolon, L. Pamungkas, H.-J. Chiu, Y.-C. Liu, Y.-C. Hsieh, "Dynamic Wireless Power Transfer for Logistic Robots", *Energies*, vol. 11, no. 527, 2018, doi:10.3390/en11030527
- [4] R. Safin, R. Lavrenov, K.-H. Hsia, E. Maslak, N. Schiefermeier-Mach, E. Magid, "Modelling a TurtleBot3 Based Delivery System for a Smart Hospital in Gazebo", in *International Siberian Conference on Control and Communications*, 2021, 1-6.
- [5] О. Глухов, В. Чекубашева, "Реалізація алгоритму EKF SLAM на базі програмного пакету MATLAB", на *Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті*, Харків, 2021, с. 75–76.
- [6] J. Pérez, F. Nashashibi, B. Lefaudeux, P. Resende, E. Pollard, "Autonomous Docking Based on Infrared System for Electric Vehicle Charging in Urban Areas", *Sensors*, no. 13, pp. 2645-2663, 2013.
- [7] V. Chekubasheva, O. Glukhov, O. Kravchuk, V. Rohovets, "Creation of a remote presence robot based on the TI-RSLK development board", in *II International Advanced Study Conference Condensed Matter and Low Physics*, Kharkiv, p. 229.

УДК 621.757

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГЕНЕРАЦІЇ ТРАЄКТОРІЇ В CAD/CAM СИСТЕМІ

Проскуренко Д. М., Третяк О. В., Філіппова М. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: pdm-vp-pbf21@lll.kpi.ua, tov-vp-pbf21@lll.kpi.ua, m.filippova@kpi.ua

Оптимізація відіграє важливу роль у підготовці програм ЧПУ процесів обробки. Сучасна концепція CAD/CAM систем дозволяє оптимізувати процес за рядом критеріїв. Оптимізація може базуватися на заготовці. Заготовка у системі CAD/CAM поступово модифікується під час проєктування та моделювання процесу механічної обробки. Кожна наступна операція включає механічну обробку лише матеріалу, що залишився – усуваються зайві та неефективні рухи і дії. Потім система оптимізує стратегію обробки, враховуючи підрізання або зіткнення інструменту з заготовкою, або зіткнення з іншими компонентами в зоні обробки, або з іншими компонентами верстата з ЧПУ (стіл, заготовки, оправка тощо). Технологічні модулі передових CAD/CAM систем включають також широкий спектр можливих визначень форми інструменту, затискачів і оправки, а також інших компонентів обробного пристрою.

Комп'ютерна оптимізація процесів обробки (CAM – computer-aided production) використовує програмні додатки, де виконання зазвичай здійснюється за допомогою додаткових модулів (програм оптимізації). Вони дозволяють оптимізувати в процесі обробки, зокрема, траєкторії інструменту, параметри різання, програми ЧПУ тощо. Системи CAD/CAM, наприклад, дозволяють виконати аналіз розділу створеної програми ЧПУ та відобразити результати оптимізації [1]. Потім оптимізовану програму ЧПУ можна ретельно вивчити, окремі значення подачі чітко відображаються різними кольорами, з можливістю індивідуального аналізу цих сегментів траєкторії інструменту. Також можна створити таблиці із заощадженням часу, які показують вихідну довжину та час обробки до та після оптимізації. Використання оптимізаційного програмного забезпечення для обробки дозволяє досягти, перш за все, скорочення часу обробки, збільшення терміну роботи інструменту (довговічності), підвищення ефективності обробки, стабільності обробки тощо. З точки зору інтеграції програми оптимізації в САМ-систему, існуючі на даний момент програми оптимізації можна розділити на три основні групи. Окремі програми оптимізації (розроблені однією з мов програмування), спільні оптимізаційні програми (програма NC, створена в системі САМ, спочатку аналізується, а потім оптимізується), програми оптимізації, інтегровані в САМ-системи (включають додатковий або інтегрований модуль для оптимізації безпосередньо в САМ або CAD/CAM система) [2].

Створення модуля оптимізації як технологічного інструменту в рамках

CAD/CAM системи вимагає всебічних знань розробників. При створенні окремої програми оптимізації використовуються математичні методи визначення, наприклад, параметрів різання. Їхнім результатом є генеровані оптимізовані параметри різання або траєкторія інструменту, змінена в програмі ЧПУ або безпосередньо програмним забезпеченням для оптимізації, або вони повинні бути змінені користувачем вручну. Ці типи програмного забезпечення для оптимізації зазвичай застосовуються на робочих місцях університетів.

Щодо можливості оптимізації процесу фрезерування, експерименти локального процесу подрібнення проводили на 3 типах компонентів. Траєкторії інструментів для експериментальних компонентів були згенеровані в системі Creo CAD/CAM і включали використання локальних стратегій фрезерування, використовувалися поверхні з різними діаметрами заокруглення (рис. 1).

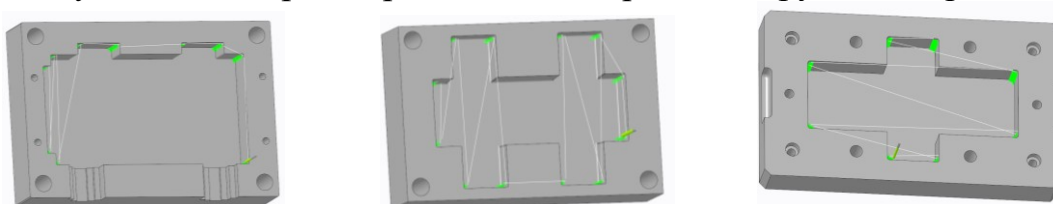


Рис. 1. Траєкторії інструментів для експериментальних компонентів, створених у Creo

На рис. 2 наведено простий приклад процесу оптимізації траєкторії інструменту з використанням послідовності локального фрезерування в системі CAD/CAM Creo, на рис. 2, а – оригінальний неоптимізований шлях інструменту; на рис. 2, б – той самий шлях інструменту, оптимізований за допомогою Toolpath Optimizer. Графічний перебіг процесу оптимізації на операції фрезерування показано на рис.3.

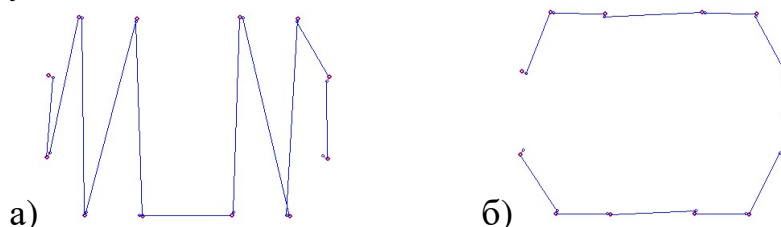


Рис. 2. Приклад процесу оптимізації траєкторії інструменту: а) локального фрезерування, створеного системою Creo; б) оптимізований шлях інструменту, створений програмою Toolpath Optimizer

Процес оптимізації в «Оптимізаторі траєкторії» починається з підтвердження послідовності вибору. Його графічний потік показано на двох вкладках (рис. 3). Один показує найкращий шлях на кожному етапі еволюційного процесу (довжина шляху), а інший надає графічну інформацію про еволюційний процес (процес GA). Довжина контуру графічно відображає початкову довжину траєкторії інструменту, згенеровану з файлу даних CL (Length init), і нову оптимізовану довжину шляху (Length new), згенеровану GA. Коли еволюційний процес завершено, можна порівняти довжину нового та вихідного шляху, порівняти оптимізований шлях (рис. 3), вирішити, чи відповідає результат вимогам, чи повторити еволюційний процес.

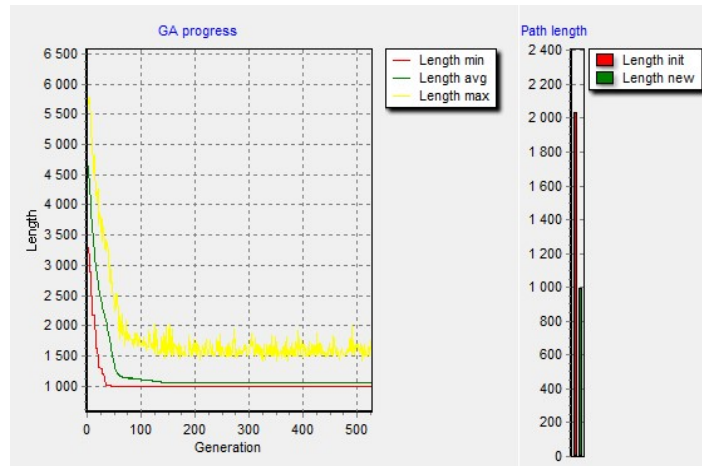


Рис. 3. Графічний потік процесу оптимізації на операції фрезерування

Щоб успішно вирішити проблему оптимізації, необхідно знати методи оптимізації та правильно вибрати методи, які хочемо застосувати для вирішення задачі. Хоча деякі методи за своїми робочими процесами схожі один на одного, вони можуть не однаково підходити для вирішення поставленого завдання. Неправильне використання методу може знизити отриманий ефект від його роботи, може призвести навіть до отримання помилкових результатів. Більшість поширених систем САМ і САД/САМ не використовують жодної методики оптимізації або використовують якусь методику на основі лінійної математики для вирішення цього завдання через час обчислень. Завдяки своїй ефективності ГА може вирішити зазначені проблеми за кілька хвилин замість тривалого часу (години, дні) з дуже хорошим результатом. Генетичний алгоритм, який складає ядро Toolpath Optimizer, виявився високоефективним засобом оптимізації.

Цей модуль оптимізації можна використовувати як напряму, так і легко модифікувати відповідно до вимог користувачів. Наприклад, можна змінити модуль введення та виведення даних, який у даному випадку працює тільки з полем даних CL САД/САМ системи Creo. Експерименти були створені для оптимізації процесів локального фрезерування. Результат можна вважати дуже задовільним для процесу фрезерування. Результати цих експериментів показують, що генетичні алгоритми є простим та ефективним методом вирішення складних оптимізаційних задач. З практичної точки зору, додаток Toolpath Optimizer можна використовувати на етапі підготовки до виробництва з метою підвищення продуктивності та зниження витрат виробництва.

Ключові слова: генерація, оптимізація, траєкторія.

Література

- [1] N. Náprstková, “Students Connecting to Production Problems Resolutions in CAD/CAM Area”, in *9TH International Scientific Conference: Engineering for Rural Development*. 310-314 (2010)
- [2] M. Sága, M. Vaško, N. Čuboňová, W. Piekarska, *Optimisation algorithms in mechanical engineering applications*. Harlow: Pearson (2016).

УДК 681.2.538.5

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ В УМОВАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

Шевченко В. В.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

shevchenko.vadim.pbf@gmail.com

В умовах автоматизованого виробництва, коли впроваджуються гнучкі виробничі системи, які складаються з верстатів з ЧПК, обробка деталей приладів на яких виконується автономно без втручання робітника, проблема контролю якості деталей приладів є дуже актуальною [1].

Точність, надійність та довговічність роботи приладів залежить від експлуатаційних характеристик деталей (циклічна міцність, зносостійкість, твердість, гідродинамічні та антикорозійні характеристики). Параметри якості деталей значним чином впливають на експлуатаційні характеристики деталей [2].

Найбільш ефективним та надійним методом контролю якості деталей приладів є електромагнітний. Тому, вдосконалення та подальший розвиток електромагнітного методу контролю якості деталей приладів дуже важливий в умовах автоматизованого виробництва. Основним недоліком електромагнітного методу контролю якості деталей є те, що контрольовані деталі повинні бути виготовлені тільки з електропровідних матеріалів. Використання електромагнітного методу контролю дозволяє визначити розміри та форму деталей, міжкристалічну корозію, глибинні та поверхневі тріщини, неметалеві включення, порожнечі, тобто основні параметри якості деталей, які суттєво впливають на точність, надійність роботи приладу.

Контроль параметрів якості деталей виконується на окремій операції контролю після обробки деталі. Для цього використовується спеціальне автоматизоване пристосування, куди деталь доставляється за допомогою візка та робота-маніпулятора.

Основою електромагнітного методу є вимірювання рівня взаємодії електромагнітного поля вихрових струмів, які наводяться в поверхневих шарах деталі зі змінним електромагнітним полем. Цим методом можна виявляти підповерхневі та поверхневі дефекти деталі глибиною до 0,1 мм [3].

Електромагнітний метод дозволяє контролювати параметри якості деталей приладів при швидкісному переміщенні об'єктів, які можуть бути забрудненими.

Пристрій контролю складається з електромагнітного перетворювача, який накладається на деталь та є обмоткою збудження. Обмотка збудження розташовується в корпусі з кабелем. В корпусі знизу знаходиться котушка з феритовою серцевиною, за допомогою якої здійснюється концентрація магнітного потоку. Вихрові струми, які наведені під впливом змінного

електромагнітного поля індуктивної котушки в поверхневому шарі деталі формують змінне електромагнітне поле [3].

Якщо на поверхні деталі, яка контролюється, виявляються дефекти (тріщини, порожнечі), визначається інтенсивність та характер розподілу вихрових струмів електромагнітного поля, який викликаний зміною результуючого електромагнітного поля. На основі цього визначається наявність дефекту [4].

Основною перевагою електромагнітного методу контролю параметрів якості деталей приладів є можливість автоматизації контролю, що в умовах автоматизації виробництва, коли використовується гнучкі виробничі системи, є дуже важливою. До переваг електромагнітного методу відносяться: висока точність, надійність та простота конструкції, а також висока роздільна якість. Контроль якості деталей приладів на основі електромагнітного методу є універсальним та екологічним.

Використання електромагнітного методу контролю параметрів якості деталей дозволяє зменшити кількість бракованих деталей і тим самим збільшити продуктивність та знизити собівартість виробництва деталей приладів.

Ключові слова: якість поверхні деталі, електромагнітний метод, експлуатаційні характеристики деталі, автоматизація контролю, продуктивність, собівартість.

Література

- [1] В. А. Остафьев, Г. С. Тымчик, В. В. Шевченко, “Адаптивная система управления”, *Механизация и автоматизация управления*, №1, с. 18-20, 1983.
- [2] Н. П. Гончарова, К. С. Солонинко, *Качество продукции: пути повышения*. Київ: Вища школа, 1987.
- [3] Ю. Ю. Лысенко, Ю. В. Куц, В. Ф. Петрик, А. Л. Дугин, “Исследование импульсной вихретоковой системы контроля диэлектрических покрытий”, *Научные известия на НТСМ*, Созополь, Болгария, №150, с. 28-30, 2014.
- [4] Ю. Ю. Лисенко, Ю. В. Куц, “Імпульсний вихрострумівий контроль товщини діелектричного покриття на магнітній основі”, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 49, с. 68-74, 2015.

УДК 621 : 3

INFORMATION CONTROL COMPLEX OF AUTOMATED TECHNOLOGICAL PROCESS OF MECHANICAL PROCESSING MATERIALS

Volodymyr Skytsiouk, and Tatiana Klotchko

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

E-mail: t.klochko@kpi.ua

One of the urgent problems in manufacture of nanodevices is the problem of ensuring the accuracy and quality of parts of these devices in terms of both serial and small-serial automated production, which is especially important to ensure a stable

life cycle of nanodevices. In manufacture of such parts are the main errors of shaping, which affect their accuracy [1]. For example, parts of rotating bodies have a special influence on the accuracy and reliability of their work, the manufacturing errors of which affect the reliability of nanodevices operation.

Therefore, the problem of accuracy and quality of parts is urgent for modern instrumentation. The quality of parts is determined by the compliance of its geometric dimensions and shape, the tolerances set on them, and the surface roughness of the part. The latter, in turn, depend on stability of technological processes in their manufacture, as well as the accuracy of metalworking equipment used. A significant increase in the accuracy of processing, the quality of manufactured high-precision parts through the use of systems and tools for diagnosis and control of technological process of metalworking is achieved.

These technical means must ensure control of state of the parameters of technological process (modes of metalworking, rational use of equipment), as well as the quality of manufacturing parts in the production of its processing. Ensuring the quality of production also affects the economic aspects of production, as the failure of the technological process of processing leads to significant loss of resources. Therefore, the problem of energy saving is urgent.

The problem is to ensure full control over the process of machining materials in the manufacture of parts of nanodevices; development of a system for protection of technological equipment from possible destruction. The important conditions for ensuring the accuracy and stability of the manufacturing process of the nanoobject are the general cutting conditions - processing modes, steam material, technical parameters and the state of the technological process and the metalworking machine [2, 3]. The most common type of parts are parts that are made on lathes. In the manufacture of such parts, the key factor influencing their accuracy is the state of the machining process and in particular the state of the cutting tool. The solution to this problem is to combine the method of control, evaluation and forecasting of the technological process and the cutting tool.

Solving the problem provides the following solutions:

- anticipation of critical situations during the operation of the machine;
- smooth control of the geometric dimensions of the part directly on the machine with high accuracy of estimation;
- current control and prediction of wear dynamics of the cutting tool.

The aim of this work is to increase the reliability and accuracy of manufacturing parts of nanodevices on universal and CNC lathes by creating a method and information and diagnostic complex for assessing the state of technological process [4, 5].

The paper proposes a method of using integrated electromagnetic fields that occur in the metalworking process, optical fields of the measuring instrument, as well as methods of using the principles of signal processing of vibroacoustic emission that occurs in the process of machining materials. At the same time means of electromagnetic control of metalworking process, optical control and means of vibroacoustic control of metalworking process are used. The offered integrated

TONTOR sensor allows to register distribution of vibration loadings of the cutting tool that increases accuracy of manufacturing of precision details of devices at machining on universal and CNC-lathes.

Thus, we can determine that purpose of the work is to create a method for determining and monitoring the state of the technological process of manufacturing parts of high-precision devices, which consists in rapid analysis of impact of cutting tool wear (transient cutting tool cutting, wear, destruction, etc.) on accuracy process production of parts based on the study of vibration and electromagnetic components of dynamics of cutting process, which provides the ability to predict the critical or emergency situation of cutting process

Thus, the use of direct and indirect methods of control and measurement is proposed, which improves the accuracy of measurements, as well as expands the range of applied technological processes of metal processing. This is due to the fact that direct optical methods require only clean technological processes. Methods of analysis of electromagnetic fields exclusively for the control of metals and partially composite materials during processing are used, and methods of analysis of dynamic phenomena of vibrating fields are the most universal.

Therefore, on the basis of the proposed integration of physical fields we can create complex TONTOR sensors for automated systems of mechanical processing of materials.

Keywords: automated systems, objects, TONTOR sensors, mechanical processing of materials, nanodevices, technological process, automated production.

Literature

- [1] Lee, Jay; Jun Ni; Dragan Djurdjanovic; Hai Qiu; Haitao Liao, "Intelligent prognostics tools and e-maintenance", *Computers in Industry*, 57(6): 478. (August 2006).
- [2] G.S. Tymchyk, V.I. Skytsiuk, T.R. Klotchko, P. Komada, S. Smailova, A. Kozbakova, "Modeling of the technological objects movement in metal processing on machine tools", *Mechatronic Systems 2: Applications in Material Handling Processes and Robotics*, Routledge, pp. 267-277, 2021/12/20.
- [3] Volodymyr Skytsiuk, Tatiana Klotchko, "Measurement errors of the shape's parameters of detail's surface by optical instruments", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, is. 59(1), pp. 71-78, 2020/7/20.
- [4] В. І. Скицюк, і Т. Р. Клочко, "Визначення координати уявно-реальної поверхні межевої панданної зони об'єкта. Частина 2. Методи визначення", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, is. 53(1), pp. 49-56, 2017.
- [5] В. І. Скицюк, і Т. Р. Клочко, "Підгрунття інформаційних властивостей панданних зон абстрактної сутності. Частина 1. Основні типи панданних зон", *Bull. Kyiv Polytech. Inst. Ser. Instrum. Mak.*, is. 48(2), pp.105-111, 2014.