

**СЕКЦІЯ 3**  
**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА**  
**ПРИЛАДІВ**

UDK 621.643.03

**THE TECHNOLOGY OF REINFORCEMENT THE SECTION OF THE**  
**EXISTING TRUNK PIPELINE USING A COUPLING THAT IS FILLED WITH**  
**MOLTEN METAL**

*Grigoriy S. Tymchik, Oleksandr O. Podolian*  
*National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,*  
*Kyiv, Ukraine*  
*E-mail: [a.podolian@i.ua](mailto:a.podolian@i.ua)*

The purpose of the researches to improve the technology of increasing the strength of spots of high-pressure main pipelines by means of welded couplings filled with molten metal. Strength improvement of the spots of the active pipeline is realized by installing an active main pipeline of brazed-welded couplings.

The proposed technology that increases the strength of the pipeline is as follows. On the amplified section of the pipeline are installed technological elements of the coupling, which, after binding with known methods, to form a closed shell around the pipe with hoop cavities for forming end seals.

Then sealed the ends of the coupling using of alloy (metal) that has a high melting temperature (optional alloy) than the alloy (metal) that is used to form under coupling layer (core alloy). To seal the ends of the coupling is conducted pre-heating of the coupling in the area of the hoop cavity to a temperature above the melting point of the alloy for more, but not exceeding its boiling point. Then cavity is filled with additional molten alloy supplied under pressure. After filling the annular cavity, the temperature of the coupling is reduced, resulting in the formation of hermetic end seals. Then the whole coupling is heated to a temperature higher than the melting temperature of the basic alloy, but lower than the melting temperature of the additional alloy, and then under coupling space is filled with the main molten alloy, that is fed at the specified pressure.

Further, the coupling is cooled naturally or forcibly. With a relatively small length of coupling and a limited time of works, it is possible to heat the entire coupling to a temperature above the temperature of the additional alloy. It is also possible to form ends seals with further lowering of the coupling temperature and filling the under coupling space with the main alloy, which is supplied with a predetermined pressure.

In this article is proposed improvement technology of reinforcing of the defective spots of the active main pipeline using braze-welded coupling. The focus is on the design of mechanical seals that are ensure the tightness of the under coupling space during the formation of the coupling layer.

*Keywords:* coupling, nondestructive, control, diagnostics, repair, gas pipeline, pipeline, pressure, gas, refinable crude, transit.

UDC 658.5.012.01:519.87

## MODELING OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS WORKING

*Vysloukh S. P.*

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

*Email: [vsp1@ukr.net](mailto:vsp1@ukr.net)*

The main kind of complex systems modeling is mathematical modeling, in which there are such approaches: analytical, simulation and combined.

An analytical approach is based on the construction of some functional relationships (algebraic, integral-differential, finite-differential, etc.) or logical conditions that connect the elements and parameters of the object under study. But the researching of technological systems in this method requires mathematical dependencies, which are rather complex, and their receipt in many cases causes considerable difficulties. The simulation modeling approach is based on the reproduction of an operation object that is researched in time. At the same time, elementary phenomena forming the process are simulated, with the preservation of its logical structure and the sequence of flow in time. This allows you to get initial information about the state of the process at certain points of time with the evaluation of the systems' characteristics. The main advantage of simulation modelling in comparison with the analytical is the ability to solve more complex tasks. Imitation models allow simply considering both the presence of discrete and continuous elements, nonlinear characteristics of system elements, numerous random actions, etc., which often form difficulties in analytical research. Combined (analytical-simulation) modelling combines the advantages of analytical and simulation modeling. One of the main methods of cognition, analysis and research and evaluation of the technological systems working that implements the simulation approach is their computer modeling.

A number of modern tools have been developed that implement simulation modelling of complex systems. Their analysis showed that to simulate the work of technological systems it is advisable to use the multifunctional environment of the simulation modelling AnyLogic. With the help of AnyLogic system it is possible to construct models of sections details' manufacturing and lines of assembly of complex products and optimize their work by simulating all elements of technological processes before the start of real production.

The practical testing of the Anylogic system is carried out in solving tasks of computer modeling of various industrial systems working for devices' assembly.

*Keywords:* production process, mathematical modeling, simulation modeling, AnyLogic system, technological assembly process.

УДК 621.795.8: 621.753.4: 621.715.4

## ОСОБЛИВОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАЗЕРНОГО МАРКУВАННЯ

*Іваненко Р.О., Грубрін В.О., Несін В.В.*

*Український науковий-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України, Київ, Україна  
E-mail: [witnes@ukr.net](mailto:witnes@ukr.net)*

Лазерне маркування має широкі можливості для виконання різних складних позначень на різноманітних поверхнях. Процес виконання написів та позначок лазерним променем (Рис. 1., поз. 4.) має певні особливості порівняно з іншими технологіями нанесення візуальної інформації. Лазерна обробка поверхонь при маркуванні не створює значної механічної дії на деталь і в більшості випадків компенсується інерцією маси деталі. Вироби, що піддаються маркуванню (Рис. 1, поз. 1), це деталі на завершальних етапах обробки або корпуси приладів. Габарити оброблюваних елементів мають відповідати зоні обробки застосовуваного лазерного маркувального комплексу. Для маркування партії однотипних деталей позиціонування треба здійснювати відносно визначеної точки відліку.

Як і в інших варіантах обробки, при лазерному маркуванні оброблюваний виріб має бути позбавленим можливості вільно переміщатися вздовж і навколо трьох координатних осей (6 основних напрямків на Рис.1, поз.1). За описаних умов здійснити цю задачу можна з допомогою універсальних або спеціальних фігурних упорів (Рис. 1, поз. 2). Оснастка кріпиться безпосередньо до робочого столу лазерного маркувального комплексу або до закріпленого на ньому двох координатного столу.

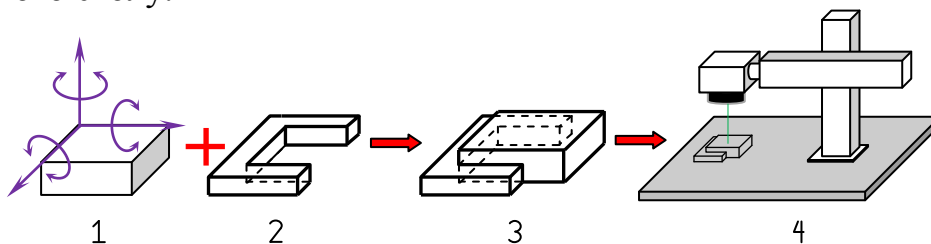


Рис.1. Схема позиціонування деталей під лазерне маркування

Позиціонування деталей при лазерному маркуванні відзначається наступними характерними рисами: 1) незначна механічна дія лазерного опромінення на деталь; 2) компенсація вказаної дії інерцією маси матеріалу оброблюваного виробу; 3) позиціонування деталей у визначеній точці в межах зони обробки достатньо здійснити за допомогою універсальних або спеціальних фігурних упорів (Рис. 1, поз. 3); 4) відсутня потреба у спеціальному затисканні оброблюваних елементів – фіксація в обмеженому упорами місці відбувається силою тяжіння та силою тертя; 5) зміна деталей оброблюваної партії виробів відбувається швидко.

*Ключові слова:* маркування, позиціонування, пристосування, оснастка.

УДК 621.937

## ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАГОТІВЕЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ В МАЛОСЕРІЙНОМУ ПРИЛАДОБУДУВАННІ

*Каглинський О.Є., Астаф'єва О.Г., Досенко С.Д., Несін В.В.*

*Український науковий-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз*

*Служби безпеки України, Київ, Україна*

*E-mail: [witnes@ukr.net](mailto:witnes@ukr.net)*

Малосерійне виробництво характеризується значною різноманітністю застосовуваних матеріалів. Заготовки деталей з чорного, кольорового металу, полімерних матеріалів виробляються з листового та круглого прокату широкого діапазону товщини та діаметрів. Заготівельна операція є важливим елементом маршруту технологічної обробки матеріалів (Рис. 1.) в приладобудуванні.

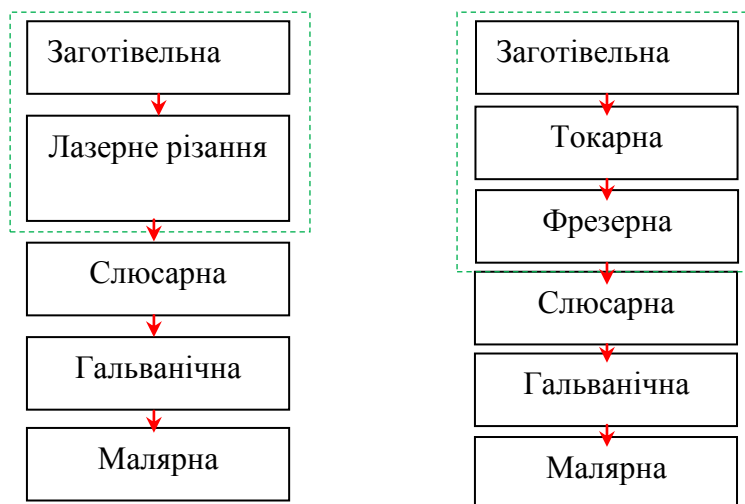


Рис. 1. Схеми характерних послідовностей технологічної обробки деталей (без контрольних операцій)

В заготівельних операціях застосовуються гільйотинні різальні, пиляльні, кругло пиляльні, стрічкові верстати, газове, плазмове, електродугове різання. В залежності від форми деталей, заготівельні операції можуть бути об'єднані (виділення на Рис. 1) з токарними, фрезерними операціями, лазерним різанням із застосуванням відповідного обладнання. Вид обладнання для заготівельних операцій визначається формою та матеріалом деталей, що виготовляються.

Зважаючи на поширення застосування полімерних матеріалів, важлива наявність на заготівельній ділянці стрічкових пиляльних верстатів з широкими можливостями до різання заготовок різної товщини та діаметру (від 10 до 300 міліметрів).

Лазерне, як і плазмове різання тонкого металу дозволяє здійснити ефективний розкрій листових заготовок товщиною від 0,1 до 2 міліметрів. Бажаний діапазон гільйотинних ножиць – від 0,5 до 10 міліметрів різку металу. Для електродугового різання металу товщиною до 6-8 міліметрів потрібне

обладнання здатне працювати на постійному чи випрямленому зварювальному струмі величиною на менше 350 амперів.

*Ключові слова:* заготівельна операція, матеріали, характеристики обладнання.

УДК 621.3.049

## ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО МОНТАЖУ ДРУКОВАНИХ ПЛАТ З КОНТАКТНИМИ ПЛОЩАДКАМИ НА ПЕРЕХІДНИХ ОТВОРАХ

*Козюба М. М., Вовк Л. М., Часник Д. В.*

*Український науковий-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України, Київ, Україна  
E-mail: ktm56@ ukr.net*

Сучасний розвиток комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів відбувається за рахунок збільшення щільності з'єднань услід за збільшенням інтеграції і мініатюризації електронних компонентів [1]. Одним із напрямків зменшення маси та габаритних розмірів сучасних друкованих вузлів є розташування перехідних отворів в контактних площадках компонентів із заповненням отворів органічними складовими та поверхневою металізацією - технологія (VIA-IN-PAD) [2]. Технологія (VIA-IN-PAD) не знайшла поки що поширення в Україні, оскільки надійність таких паяних з'єднань потребує додаткових досліджень.

Щоб забезпечити технологічність процесу оплавлення друкованого вузла необхідно по-перше заповнити перехідні отвори з контактними площадками збільшеною дозою пальної пасту. В цьому випадку можна застосовувати автоматизований монтаж при масовому виробництві. Можна заповнювати перехідні отвори з контактними площадками вручну – паяльником. Така технологія придатна для одиночного виробництва. Нами проведена робота по заповненню перехідних отворів з контактними площадками вручну на друкованих платах 4-5 класу точності з кількістю контактних площадок з перехідних отворів за 50%.

Поверхневий монтаж друкованих вузлів виготовлених із заповненням перехідних отворів паяльником дає більшу надійність чим заповнення їх паяльною пастою. Оплавлення друкованих вузлів із заповненням перехідних отворів паяльною пастою, може утворити кульку повітря (пустоту), в паяному з'єднанні та зменшити його надійність [2].

Кліматичні та вібраційні випробування друкованих вузлів виготовлених із заповненням перехідних отворів паяльником показали високу надійність паяних з'єднань. Дана технологія дозволяє суттєво зменшити масогабаритні розміри друкованих вузлів.

*Ключові слова:* контактна площадка з перехідним отвором, технологія

поверхневого монтажу, паяльні пасти, друкований вузол, технологія (VIA-IN-PAD), надійність паяних з'єднань.

#### **Література**

- [1] А.Медведев, “Сборка и монтаж электронных устройств”, Москва, Техносфера 2007, с. 15-16.
- [2] М. Шейкин, “Проектирование и монтаж печатных плат повышенной надежности. Некоторые “подводные камни”. max.shaking@ya.ru

УДК 67.02

### **РОЗРОБКА ЗАТИСКНОГО МАГАЗИНУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ШЛІЦІВ НА ГВИНТАХ МАЛОГО ДІАМЕТРУ**

*Маєтний М.І., Лахтадир С.Л., Несін В.В.*

*Український науковий-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз*

*Служби безпеки України, Київ, Україна*

*E-mail: [witnes@ukr.net](mailto:witnes@ukr.net)*

На гвинтах малого діаметру, що кріплять тонкостінні кришки виробів приладобудування видаляється за необхідності циліндрична частина конічної головки (Рис. 1, поз. 1), що дозволяє фіксувати мініатюрні деталі, не створюючи додаткових виступів. Глибина стандартного шліца приблизно рівна величині циліндричної частини, яка видаляється (Рис. 1, поз. 2). Після доробки гвинти неможливо закрутити. Відновлення шліців на гвинтах механічною обробкою (Рис. 1, поз. 3) передбачає надійне закріплення. Обжимання різьби призводить до її змінання через значне направлене зусилля обробки.

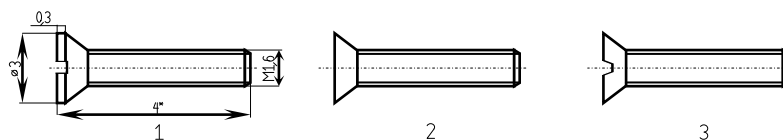


Рис. 1. Послідовність обробки головки гвинта

З метою унеможливлення змінання різьби та надійної фіксації гвинтів при відновленні шліців на конічній головці розроблений затискний магазин (Рис. 2), який дозволяє закріпити декілька гвинтів [1]. Складається з двох склепаних металевих пластин з фрезерованими лисками в нижній частині. Довжина пластин повинна бути меншою за ширину губок затискних лещат. Висота пластин вибирається такою, щоб конічні головки гвинтів у затисненому стані повністю розташовувались над губками затискних лещат. У верхній частині склепаних пластин по лінії притискання виконані отвори під гвинти. Клепане з'єднання по нижній фрезерованій частині надає у верхній частині певне розкриття  $\gamma$  і дозволяє легко вкрутити в отвори гвинти. Затискання магазину в лещатах призводить до надійного закріплення гвинтів під механічну обробку.



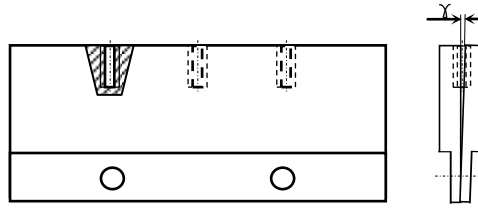


Рис. 2. Загальний вигляд затискного магазину

Використання затискного магазину за розробленою технологією відновлення шліців дозволяє надійно фіксувати гвинти без змінання різьби.

*Ключові слова:* відновлення працездатності, затискний магазин.

#### **Література**

- [1] М.І. Маєтний, В.В. Несін, І.К. Поліщук, “Створення технології відновлення шліца на гвинтах М1,6”, Свідоцтво на раціоналізаторську пропозицію ІСТЕ СБУ №72, 15.12.2018 р.

УДК 621.795: 621.3

### **ЗМІНА КОНСТРУКЦІЇ СИМВОЛІВ ДЛЯ ЗАМІНИ НАПИСІВ «ВИХІД», «АНТЕНА», «ЗАТЕЛЕФОНУВАТИ» ПІД УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ**

*Лазебний В.М., Несін В.В., Досенко С.Д.*

*Український науковий-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз*

*Служби безпеки України, Київ, Україна*

*E-mail: [witnes@ukr.net](mailto:witnes@ukr.net)*

Символи для заміни написів дозволяють раціонально використовувати наявну площу поверхні приладів, позначати елементи керування відповідно до їх функціонального призначення. Наявна номенклатура стандартних символів давно застосовується в приладобудуванні. За необхідності розробляються нові умовні позначення [1]. Діючі символи в конкретних умовах застосування не завжди коректно відображають регульовані параметри роботи пристрою, можуть бути складними у виконанні гравіюванням на поверхнях деталей, застарілими, мало інформативними. Серед часто застосовуваних умовних позначень, які потребують певного перетворення під умови застосування в конкретних виробках, можна виділити «Вихід», «Антенa» та «Зателефонувати». Форма символу «Вихід», в разі перетворення, може набути вказівного значення, показуючи місце розташування відповідного роз'ємну на корпусі виробу (Рис. 1). Символ «Антенa» може бути зміненим на більш наближений до конструкції застосовуваної антени (Рис. 2). Стандартний символ «Зателефонувати» громіздкий. В конструкціях може бути замінений на інтуїтивно зрозумілий, простіший у реалізації горизонтальний варіант (Рис. 3).

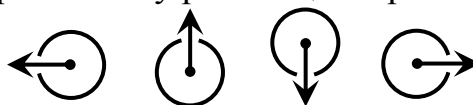


Рис. 1. Варіанти застосування символу «Вихід»

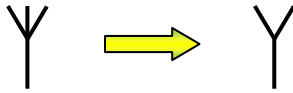


Рис. 2. Можливий варіант зміни символу «Антенa»

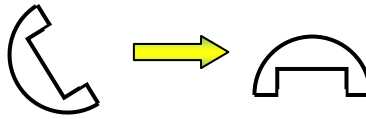


Рис. 3. Схема зміни символу «Зателефонувати»

Запропоновані в роботі зміни стандартних символів були запроваджені в розробках і втілені в малосерійних партіях.

*Ключові слова:* символи для заміни написів, гравіювання.

#### **Література**

- [1] В.В. Несін, «Нестандартні символи для заміни написів в приладобудуванні: розробка, виконання гравіюванням, контроль якості», IX науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування», Київ, 2016, с. 64.

УДК 621.9.04: 67.02

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТА СИНТЕЗ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ЗАСТОСУВАННЮ ТЕХНОЛОГІЙ МАЛОСЕРІЙНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ НЕГАБАРИТНИХ КОРПУСІВ ПРИЛАДІВ**

*Каглинський О.Є., Шевченко Т.О., Несін В.В.*

*Український науковий-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України, Київ, Україна*

*E-mail: [witnes@ukr.net](mailto:witnes@ukr.net)*

Корпуси малогабаритних приладів мають бути легкою та міцною основою для складання та фіксації компонентів, забезпечувати виробу здатність функціонувати у визначених умовах. Серед конструкційних матеріалів для забезпечення зазначених умов добре зарекомендували себе латуні, зокрема ЛС59-1.

Механічна обробка полягає у фрезеруванні вибірок, вікон, уступів під кришки та плати. Фрезерування на стандартному універсальному обладнанні дозволяє послідовно з пере налаштуваннями виконати механічну обробку заготовок відповідно до конструкційної та технологічної документації. Дозволяє виготовляти різноманітні за формою деталі корпусів, але потребує великих затрат робочого часу.

Оброблювальні центри призначені для обробки великої кількості однотипної продукції. Залучення до роботи оператора фрезерувальника зведено до встановлення та зміни заготовок. Такі центри ефективні при виготовленні великих партій продукції. Виготовлення корпусів фрезеруванням характеризується великими втратами матеріалу.



Альтернативою фрезерованим корпусам є виготовлення гнутих корпусів з тонколистового конструкційного металевих матеріалу. Вирізання заготовок під наступу формовку ефективно проводити за допомогою лазерного різання за допомогою CAD/CAM систем керування. Підготовка програм керування і налаштування лазерного різального обладнання під виконання малих і великих партій – рівномірні за трудовитратами. Знос витратних матеріалів лазерного комплексу (лампи накачки, захисне скло і т. ін.) відбувається також рівномірно як при виготовленні малих так і великих партій заготовок.

Наступна слюсарна обробка вирізаних заготовок може бути виконана за допомогою стандартного оснащення або спеціалізованого для великих партій.

Складальні операції та монтаж відбуваються з аналогічними трудовитратами як для фрезерного варіанту так і для лазерної підготовки заготовок корпусів.

Для малих партій корпусів ефективним є застосування універсального фрезерного обладнання порівняно з обробкою в центрах. Для великих партій ситуація протилежна. Виходячи з витрат матеріалів рекомендованою є технологія виготовлення заготовок корпусів лазерним різанням з наступним слюсарним формоутворенням, як для малих так і для великих партій.

*Ключові слова:* аналіз технологій обробки, рекомендації із застосування обладнання.

УДК 621.757

## МОДЕЛЬ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ IDEF0

*Філіппова М.В.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

*E-mail: [m.filippova@kpi.ua](mailto:m.filippova@kpi.ua)*

Удосконалення процесів управління виробничими процесами є першочерговим завданням сучасного підприємства в умовах безперервної конкурентної боротьби, ускладнення виробничо-технічних та організаційно-економічних систем, а також бурхливого зростання впливу інформаційних технологій як на управління виробничими процесами, так і на управління всією мережею процесів підприємства. Вирішення цього завдання є актуальним і потребує комплексного підходу, який дозволить персоналу підприємства не тільки візуально побачити графічну модель мережі процесів організації виробництва, але і проводити аналіз її ефективності, постійно вдосконалювати та використовувати в поточній діяльності в якості регламенту.

Розв'язання поставленої задачі можливе з використанням методології IDEF0, яка дозволяє створити модель виробничого процесу, визначити основний рух інформації та документації в процесі підготовки виробництва,

виявити слабкі місця в технологічній підготовці виробництва та здійснити його налагоджування. Методологія IDEF0, використовується в якості базового засобу аналізу та синтезу виробничо-технічних систем. Дана методологія дозволяє створювати функціональні моделі виробничих процесів, що відображають структуру та функції підготовки виробництва, починаючи з розроблення виробу й закінчуючи його утилізацією, а також потоки інформації та матеріальних об'єктів, що пов'язують ці функції. Набір структурних компонентів мови, їх характеристики та правила, що визначають зв'язки між компонентами, створюють синтаксис мови. Наочність діаграми IDEF0 дозволяє зрозуміти, які об'єкти служать вихідними даними для процесів, які результати виробляються кожною роботою, що є керуючим чинником і які ресурси для цього необхідні. В результаті можна отримати графічне представлення моделі виробничого процесу у вигляді ієрархії діаграм, та забезпечити компактність представлення інформації, а також максимальну виразність, тобто здатність якнайкраще забезпечити ясність моделі виробничого процесу, можливість візуально представити усі процеси та підпроцеси, пов'язані з науковим дослідженням технології складання. Наочність діаграм IDEF0 зумовило їх широке застосування для опису виробничого процесу на підприємстві. Вони дозволяють зрозуміти, які об'єкти служать вихідними даними для процесів, які результати виробляються кожною роботою, що є керуючим чинником і які ресурси для цього необхідні. За допомогою методології IDEF0 отримують наочну графічну модель виробничого процесу, в якій опис об'єктів і процесів виконується у вигляді сукупності взаємозв'язаних блоків.

*Ключові слова:* виробничий процес, моделювання, методологія IDEF0

УДК 621.7.015:539.422.24

## МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ НА ЕТАПІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

*Барандич К.С.*

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна  
E-mail: [barandichk@ukr.net](mailto:barandichk@ukr.net)*

В даний час відома велика кількість наукових досліджень, які підтверджують факт впливу параметрів якості поверхневого шару деталей приладів та машин на їх експлуатаційні властивості. Опір втомному руйнуванню деталей одна з основних експлуатаційних властивостей (частка деталей машин та приладів, що виходять з ладу внаслідок втомного руйнування сягає 70 %) суттєво залежить від ряду параметрів шорсткості їх поверхонь, наклепу, залишкових напружень. Проте складно врахувати всі параметри якості поверхневого шару деталей, що впливають на будь яку експлуатаційну властивість і, зокрема, на опір втомному руйнуванню. Тому є необхідність в

розробці методик для забезпечення необхідного значення даної властивості. Враховуючи те, що токарне оброблення дозволяє отримувати деталі з високими якісними характеристиками поверхневого шару і використовується на чистових етапах оброблення, раціональним є керування його технологічними параметрами з метою забезпечення необхідного опору втомі деталей. В якості характеристики опору втомі використано циклічну довговічність. Створено методику, яка передбачає випробування на втому для зразків одного матеріалу, що є характерним представником класифікаційної групи. За отриманими результатами створено математичну модель циклічної довговічності від режимів токарного оброблення. За допомогою корегуючих коефіцієнтів, які враховують відмінності у властивостях матеріалів групи, отримано математичну модель циклічної довговічності для будь якого матеріалу класифікаційної групи. Методами математичного програмування та оптимізації розроблено математичну модель процесу токарного оброблення деталей. При цьому в якості критерію оптимальності використано максимальну продуктивність процесу оброблення, а отримана математична модель циклічної довговічності входить в систему обмежень. До системи обмежень на процес токарного оброблення також включено обмеження по шорсткості, точності, швидкості, подачі, стійкості інструменту, силі різання та потужності. Отримана математична модель токарного оброблення дозволяє ще на етапі технологічної підготовки виробництва визначити такі режими токарного оброблення, що дозволять забезпечити задану циклічну довговічність, або ж показати неможливість забезпечення значення даної характеристики токарним обробленням. Такий підхід можна легко перенести і на інші експлуатаційні характеристики деталей машин і приладів та методи оброблення.

*Ключові слова:* експлуатаційні властивості, циклічна довговічність.

УДК 621.822.681.2:369.64

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛООБМІНУ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ПІД ЧАС БЕЗЦЕНТРОВОГО ШЛІФУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МОР

*Марчук В.І., Марчук І.В., Олексин М.В., Сачковська Л.О.  
Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна  
E-mail: [marchelka@i.ua](mailto:marchelka@i.ua), [marchukv@bigmir.net](mailto:marchukv@bigmir.net)*

При шліфуванні інструментом з подачею МОР зниження температури під час проходження над оброблюваною поверхнею інструменту залежить від впливу охолоджувального середовища, що визначається коефіцієнтом теплообміну  $\alpha$ . Під час різання, охолодження поверхні заготовки здійснюється конвективним теплообміном. Відповідно до закону Ньютона-Ріхмана кількість тепла, що передається від обробленої поверхні до МОР визначається за формулою:

$$Q = \alpha \cdot S(t_s - t_p) \cdot \tau, \quad (1)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі;  $t_s$  – температура поверхні деталі;  $t_p$  – температура рідини;  $\tau$  – час виконання технологічної операції.

Визначення коефіцієнта теплообміну є одним з найважливіших параметрів розрахунку температурних полів. Конвективний теплообмін між рідиною та поверхнею твердого тіла визначається за критерієм Нуссельта, який представляє собою безрозмірний коефіцієнт тепловіддачі:

$$N_\alpha = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}, \quad (2)$$

де  $d$  – діаметр сопла на виході МОР, м;  $\alpha$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\lambda$  – теплопровідність рідини, Вт/м·°С.

*Ключові слова:* теплообмін, шліфування, охолоджувальна рідина.

#### **Література**

- [1] В.І. Марчук, І.В. Марчук, А.М. Ештеіві, “Дослідження параметрів поверхневого зміцнення функціональних поверхонь обертання”, *Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» м. Луцькб-7 жовтня 2016 р. Луцький НТУ, 2016. с. 61–62.*
- [2] І.В. Марчук, А.М. Ештеіві, М.В. Олексин, “Технологічне забезпечення точності шліфування поверхонь обертання підшипників”, *Наукові нотатки: Міжвуз. зб. Луцького НТУ (за напрямком “Інженерна механіка”), Вип. 57. Луцьк. Луцький НТУ, 2017. с. 123–127.*
- [3] І.В.Марчук, М.В. Олексин, А.М. Ештеіві, “Керування температурою на безцентрово-шліфувальних операціях”, *“Перспективні технології та прилади”. Зб. Наук. праць. Випуск 10(1). м. Луцьк, червень 2017 р. Луцький НТУ, Луцьк, 2017, с. 133–138.*

УДК 621.9.62

## **ДІАГНОСТИКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ 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: [v.v.shevchenko@kpi.ua](mailto:v.v.shevchenko@kpi.ua)*

Діагностика працездатності різального інструмента повинна забезпечити в режимі реального часу з високим ступенем швидкодії отримання точної інформації про процеси тертя та зношування в зоні різання.

В процесі обробки деталей приладів на верстатах робочі поверхні різального інструменту піддаються фізико-механічному та хімічному впливу, що впливає на працездатність інструменту, при цьому знижується якість поверхні деталі, точність обробки, збільшується брак та підвищується собівартість виробництва [1]. Важливим є використання на верстатах з ЧПК в умовах автоматизованого виробництва системи діагностики працездатності

різального інструменту на основі вимірювання декількох інформативних сигналів, які природно виникають при різанні [2].

Розроблена система діагностики працездатності різального інструменту складається з двох контурів. Першим контуром є підсистема аварійної зупинки процесу обробки, яка основана на вимірюванні потужності різання. Аварійна зупинка викликана різким підвищенням сили різання та потужності, причиною чого може бути або критичне затоплення різального інструменту, або його поломка. Другий контур – це підсистема прогнозування та контролю зносу різального інструмента на основі вимірювання сигналів змінної складової електрорушійної сили, які несуть достовірну інформацію про процес зношування та тертя, що виникають в зоні різання.

Використання системи діагностики працездатності різального інструмента на основі вимірювання потужності різання та змінної складової електрорушійної сили дозволить підвищити якість поверхні деталі, точність обробки, а також надійність та ефективність обробки деталей приладів на верстатах з ЧПК в умовах автоматизованого виробництва.

*Ключові слова:* потужність, змінна складова електрорушійної сили, точність, якість поверхні, надійність, ефективність.

#### **Література**

- [1] В.А. Остафьев, Г.С. Тымчик, В.В. Шевченко, “Механизация и автоматизация управления”, Киев. 1983, с.18-20.
- [2] В.В. Шевченко, І.В. Капінос, Д.О.Грабовський, “Система контролю процесу обробки деталей в умовах «безлюдної технології””, Прогресивні технології та прилади. м. Луцьк, червень 2011 р. Луцьк: ЛНТУ, 2011 – с. 223-231.

УДК 624.014:620.111.3

### **УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ДІАГНОСТИКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОМИСЛОВИХ СПОРУД**

<sup>1)</sup>Філіппова М.В., <sup>2)</sup>Демченко М.О.

<sup>1)</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна,

<sup>2)</sup>ТОВ «Інженерно-будівельна компанія «Укрспецбуд», Київ, Україна,  
E-mail: [m.filippova@kpi.ua](mailto:m.filippova@kpi.ua), [amd.8@meta.ua](mailto:amd.8@meta.ua)

Виконання технічного обстеження та моніторингу будівель є основною і невід'ємною частиною їх експлуатації. Одним з основних показників при обстеженні будівель, несучі елементи яких виконані у вигляді металевих конструкцій (МК), є зміна їх напружено-деформованого стану (НДС). Перевищення значення напруження й величини деформації вище допустимих призводить до зміни фізичного стану металу, його пошкодження і в крайньому випадку порушенню його цілісності. Особливе значення для контролю НДС металу має використання пасивних та активних методів неруйнівного контролю, які дозволяють визначати значення дійсних механічних напружень в



МК з високою точністю в будь-який момент усього життєвого циклу будівлі, без його пошкодження.

На сьогодні основною метою є створення систем комплексного моніторингу технічного стану промислових споруд, а саме їх несучих конструктивних елементів. Оскільки метал не є єдиним конструктивним матеріалом, що використовуються для спорудження промислових споруд, з'являється необхідність поєднання різних методів неруйнівного контролю. Окрім металевих конструкцій використовуються залізобетонні конструкції в якості несучих елементів каркасу, для яких також характерним є НДС. Тому управління технічним процесом діагностики НДС промислових споруд насамперед має включати комплексну оцінку всієї споруди загалом.

Таким чином, організація процесу управління технологічним процесом діагностики НДС конкретної промислової будівлі складається з таких етапів: збір і аналіз технічної документації на будівлю, оцінка стану конструкцій, вибір основних конструкцій та частин будівлі, як місць діагностики, вибір методів діагностики НДС, до обраних об'єктів контролю, оцінка ефективних можливих варіантів реалізації обраних методів діагностики НДС, реалізація технічного процесу діагностики НДС, контроль за своєчасним виконанням діагностичних дій.

Цілі та пріоритети при організації технологічного процесу діагностики НДС визначаються згідно з технологічним призначенням будівлі, технічним станом його конструктивних елементів, можливостями використання засобів та методів діагностики НДС. Технологічний процес організовується таким чином, щоб при мінімальному обсязі дослідницьких робіт можна одержати максимально повну інформацію про НДС будівлі.

*Ключові слова:* напружено-деформований стан, неруйнівний контроль, діагностика

UDC 621.91.01:681.3.01:004.4

## METHOD OF TECHNOLOGICAL PROVISION FOR DETAILS' OPERATING CHARACTERISTICS

*Voloshko O.V., Vysloukh S. P.  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
E-mail [voloshko\\_o@ukr.net](mailto:voloshko_o@ukr.net)*

An important task of modern instrument making is to improve the quality and reliability of manufactured products and increase their lifecycle. This can be achieved by providing the required values of details' operating characteristics. These details' characteristics depend on the following factors: composition, structure, physical and mechanical properties of the processed material; method of producing the workpiece; conditions and modes of their machining, etc. From literary sources it is known that the details' producing from the same material, but according to different technologies



and treatment modes, leads to a significant change in the parameters of the surface layer, while the durability and reliability of the details differ significantly.

To solve the task of increasing the details' operational characteristics of the devices, it is expedient to use mathematical and computer simulation methods. Thus, at the stage of mathematical modelling, rational methods and modes of detail's machining and parameters of the detail's surface layer corresponding to the conditions are determined.

To check correctness of cutting modes' assignment is possible by computer modelling on a method of final elements, means of which an adequate model of an elastic-deformed condition of a detail is received.

As a result, the calculated dependencies for the determination of the allowable values of the forces and cutting moments are formed, as well as the necessary formulas for determining or correcting the modes for the specific technological conditions of the detail's machining.

An effective method of computer modelling is the use of finite-element analysis by drawing on the researched detail's model of the finite element grid.

The modern progressive software environment for solving engineering analysis tasks based on finite element analysis is the FEMAP systems, which allows creating finite element models of details, complex products, systems, and perform analysis of the results. FEMAP helps to accurately present a pattern of behaviour of the investigated design details when it is processed and further exploited

Thus, ensuring the necessary values of the details' operational properties of the devices is relevant and necessary at the present stage of production development. The solution of the issue for increasing the details' operational characteristics can be achieved by developing methods and tools for establishing rational cutting modes, taking into account the material handling of the detail and the instrument material's machining properties, and further verification and possible correction based on the results of computer modelling

*Key words:* detail's operational properties, mathematical modelling, computer modelling, finite element analysis, FEMAP system.

УДК 621.91.534.7

## СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ОБЛАДНАННЯ В ПРОЦЕСІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ.

*Заєць С.С.*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

*E-mail: [zss\\_vp@bigmir.net](mailto:zss_vp@bigmir.net)*

Вимірювальний діагностичний комплекс, що входить до складу системи діагностування процесу механічної обробки і керуванням на багатоцільових верстатах, призначений для здійснення усіх вимірювань, що необхідні для реалізації блок схеми діагностування.

Можна виділити наступні групи вимірювальних параметрів: вимірювання вихідних параметрів, відповідно, різних характеристик траєкторії між опорними точками формоутворюючих органів верстата, в основному це положення робочих органів, їх рух; вимірювання діагностичних параметрів, що характеризують стан верстату, до яких відносяться вимірювання температури, віброакустичних сигналів, деформації, енергетичних показників і інші; як правило, вимірювання параметрів, пов'язаних з здійсненням процесу управління діагностикою – оцінкою сил, крутних моментів кінематичних характеристик і інше; оцінка адекватності процесу діагностики реальної обробки деталі на багатоцільовому верстаті з ЧПК і при вирішенні питань – вимірювання параметрів обробленої поверхні на верстаті, далі похибка форми і розмірів, її шорсткість хвилястість; вимірювання зношення поверхонь, що труться в цілях отримання інформації для прогнозування надійності. Таким чином, інформація про зношування ріжучої кромки фрези й шорсткості обробленої поверхні втримується в сигналі АЕ із джерела - поверхні контакту заготовки й задньої поверхні різця фрези. Інформацію про стан обладнання, що використовується для обробки деталі отримуємо не стаціонарної складової, ріст показників по даному параметру буде відображати зміни в роботі обладнання, які можуть привести до відмови обладнання, чи точності переміщення робочих органів верстата.

Використання сучасного програмного забезпечення дозволяє поєднати систему діагностування процесу механічної обробки деталей на багатоцільових верстатах, с системою автоматизованого керування цими верстатами. Дана компоновка в свою чергу зменшує затрати часу на усунення вимушених зупинок верстата, по причині виходу з ладу інструмента, підвищує працездатність, зменшує затрати коштів на обслуговування верстату.

*Ключові слова:* система діагностики, акустична емісія.

УДК 621.391

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ В УМОВАХ «БЕЗЛЮДНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ»

*Шевченко В.В.*

*Національний технічний університет України*

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

*E-mail: [v.v.shevchenko@kpi.ua](mailto:v.v.shevchenko@kpi.ua)*

Точність та надійність роботи приладів, продовження термінів експлуатації, забезпечення взаємозамінності та ремонтпридатності залежить від точності геометричних розмірів деталей, які входять до складу приладу.

Тому, автоматизований контроль геометричних параметрів деталей займає значну частину у виробничому процесі, що потребує великих матеріальних витрат [1].

Для зниження витрат раціонально проводити контроль параметрів деталі безпосередньо на верстаті, в процесі обробки, що дозволить оперативно змінювати розмірне налагодження різального інструмента в залежності від результатів контролю [2]. Розроблена система автоматизованого контролю параметрів деталі складається з електромагнітного датчика торкання, блока керування траєкторією еквідистанти вершини різального інструменту, блока управління режимами різання, а також контрольно-вимірювального модулю.

За допомогою датчика торкання можливо отримати інформацію абсолютним методом в лінійних та кутових координатах які характеризують геометричні параметри деталі: розмір, форму та взаєморозташування поверхонь деталей шляхом обходу її за запрограмованою траєкторією. Із електричного датчика торкання інформація про геометричні характеристики деталі приладу поступає інформація на контрольно-вимірювальний модуль, де будуть формуватись сигнали для подачі на входи блока керування траєкторії ріжучого інструмента та блока управління режимами різання.

Використання системи автоматизованого контролю параметрів деталі на основі електромагнітного датчика торкання на верстатах з ЧПК в умовах «безлюдної технології» дозволить своєчасно змінити зношений інструмент, знизити кількість бракованих деталей, знизити собівартість, та підвищити продуктивність виробництва приладів.

*Ключові слова:* електромагнітний датчик торкання, геометричні параметри деталі, точність, собівартість, продуктивність.

#### **Література**

- [1] В.А. Остафьев, Г.С. Тымчик, В.В.Шевченко, “Механизация и автоматизация управления”, Киев, 1983, с.18-20.
- [2] В.В. Шевченко, І.В. Капінос, Д.О. Грабовський, “Система контролю процесу обробки деталей в умовах «безлюдної технології” на Прогресивні технології та прилади, м. Луцьк, 2011, с. 223-231.

UDC 531.733

## **SYSTEM OF ACCOUNTING AND PROCESSING SIGNALS BY PASSIVE SENSORS BASED ON SURFACE ACOUSTIC WAVES**

*Matvienko S.M.*

*National Technical University of Ukraine*

*"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Kiev, Ukraine*

*E-mail: [s.matvienko@kpi.ua](mailto:s.matvienko@kpi.ua)*

The development of electronic technology to increase the level of integration for electronic devices and increase the productivity of technology creates conditions for successful application of telemetry systems with sensors on surface acoustic waves (SAW) in various applications. First of all, it concerns areas where the main advantages of SAW sensors are irreplaceable, for example, when sensors are completely independent of any energy source. The possibility of remote reading

allows you to locate SAW sensors in hard-to-read contact readings or life-threatening human places, to use in transport and to control technological processes, for implement in the construction structures. Also, the high reliability and high accuracy of SAW measurements by sensors of some physical quantities, for example, temperature measurement with accuracy up to 0.01°C, and high resistance to radio-electronic interference, are also high.

The sensor on SAW is a piezoelectric lining with electrode structure deposited on it. When a radio signal arrives at the sensor input on it`s surface, as a result of the piezoelectric effect, surface acoustic waves are excited, which propagate along the substrate reaches the acoustic reflector, is reflected from it, is returned by the same way back due to inverse of piezoelectric effect, which stimulates electromagnetic oscillations (radio signal) on input transducers The frequency of the surface acoustic wave coincides with the frequency of the input signal. The propagation velocity of SAW on sensor lining has a linear temperature dependence, and, consequently, the duration of the passage of the signal on lining for sensor depends on the length of substrate and it`s temperature. Thus, measuring the phase of the received radio pulses can be done by measuring the temperature, pressure (for example, measuring the pressure in the tires of cars), deformation, compression and tension of various structures, air flow rate or gas in a limited volume. The considered system of reading and processing of data from passive sensors on SAW consists of device for data processing and control, and radio frequency part which is a quadrature modulator-demodulator and allows to measure temperature, pressure with an error not exceeding 5%. If a physical dimension measurement can be used to measure the phase, then such a system can be taken as a basis for other technical devices and systems.

*Key words:* surface acoustic waves, sensor based on principle by surface acoustic waves, quadrature demodulator, phase measurement.

УДК.681.3.06.519.6

## БАЗОВА АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ КОНТУРНОЇ МЕТАЛООБРОБКИ

*Скицюк В.І., Тимчик Г.С.*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

Наразі існує безліч технологічних процесів, пов'язаних із металообробкою. Не розглядаючи глибоко сторонніх процесів, пов'язаних з металообробкою ми маємо можливість констатувати той факт що фундаментальною засадою металообробки є або знищення надлишкової маси або її додавання за для утворення необхідного виробу (деталі). Якщо розглядати саме таким чином процес металообробки на верстаті можна розглядати як пристайні польові структури. З одного боку це векторне поле руху інструменту, а з іншого скалярне поле деталі. Отже розглядаючи поставлену задачу ми можемо вважати

що деталь створює у просторі скалярну функцію  $D(x,y,z)$ , а інструмент векторну  $\mathbf{I}(x,y,z)$ . Процес виготовлення деталі є добутком цих двох функцій. Таким чином отримуємо наступний добуток у вигляді дивергенції двох функцій, тобто

$$\begin{aligned} \operatorname{div} D \cdot \mathbf{I} &= \frac{\partial D \cdot I_x}{\partial x} + \frac{\partial D \cdot I_y}{\partial y} + \frac{\partial D \cdot I_z}{\partial z} = \\ &= D \cdot \left( \frac{\partial I_x}{\partial x} + \frac{\partial I_y}{\partial y} + \frac{\partial I_z}{\partial z} \right) + I_x \frac{\partial D}{\partial x} + I_y \frac{\partial D}{\partial y} + I_z \frac{\partial D}{\partial z}, \end{aligned} \quad (1)$$

або після впорядкування

$$\operatorname{div} D \cdot \mathbf{I} = D \cdot \operatorname{div} \mathbf{I} + \mathbf{I} \cdot \operatorname{grad} D. \quad (2)$$

Вираз (2) більш за все підходить для опису процесу фрезерування. До того ж перший член з правої сторони дає опис руху інструменту при формуванні деталі, а другий дає уявлення від чого залежна похибка геометрії.

У випадку токарної обробки маємо роторний добуток скалярної функції інструменту на векторну функцію деталі

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} I \cdot \mathbf{D} &= \mathbf{i} \times \frac{\partial (I \cdot D)}{\partial x} + \mathbf{j} \times \frac{\partial (I \cdot D)}{\partial y} + \mathbf{k} \times \frac{\partial (I \cdot D)}{\partial z} = \\ &= \left( \mathbf{i} \frac{\partial I}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial I}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial I}{\partial z} \right) \times D + I \left( \mathbf{i} \times \frac{\partial D}{\partial x} + \mathbf{j} \times \frac{\partial D}{\partial y} + \mathbf{k} \times \frac{\partial D}{\partial z} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

або після впорядкування

$$\operatorname{rot} I \cdot \mathbf{D} = \operatorname{grad} I \times \mathbf{D} + I \operatorname{rot} \mathbf{D} \quad (4)$$

Де у випадку точіння перший член з правого боку у (4) надає опис руху вздовж деталі а другий описує рух деталі.

*Ключові слова:* контурна металообробка, скалярна функція, векторна функція, дивергенція, ротор.

УДК 621.833.16

### ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА

*Стельмах Н.В., Литвиненко Д.М., Сірош В.О.*

*Національний технічний університет України*

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

*E-mail [n.stelmakh@kpi.ua](mailto:n.stelmakh@kpi.ua)*

У виробках приладобудування досить часто використовуються планетарні редуктори. Цьому сприяють такі переваги планетарних передач: більше передатне число в одній ступені, широкі кінематичні можливості, підвищена навантажувальна здатність, мале навантаження на опори, суттєво менші габарити і маса в порівнянні зі звичайними зубчатими передачами та менші

шумові показники, що пов'язано із підвищеною плавністю внутрішнього зачеплення і меншими розмірами коліс.

Незначні відхилення під час виготовлення деталей або помилки під час складання можуть призвести до серйозних проблем під час експлуатації аж до виникнення поломки всієї конструкції редуктора. Одним з стримуючих факторів їх застосування є вимоги до якості виготовлення деталей та висока вірогідність помилок під час складання редуктора. Для забезпечення високої якості складання кривошипно-планетарного редуктора потрібно перевірити та забезпечити ряд умов таких як умова сусідства, умова співвісності, умова складання, умова відсутності інтерференції. У кривошипно-планетарному редукторі сателіти розміщені в двох па-паралельних площинах. Таке розташування сателітів запобігає можливості перетину головок зубів при цьому умова сусідства виконується.

Перевірка даної умови виконується тільки при числі сателітів (потоків) більше одиниці. Осі центральних коліс планетарних передач збігаються з основною, тому для механізму з циліндричними передачами зачеплення центральних коліс з сателітами мають одну і ту ж міжосьову відстань. Виняток складають передачі, в яких сателіт складається з двох зчіпних зубчастих коліс. Умова складання передбачає забезпечення складання планетарного механізму. Дана умова перевіряється при числі сателітів більше одиниці. В кривошипно-планетарному механізмі установка сателітів можлива тільки в одному і тому ж положенні. Внутрішня передача має набагато вищий шанс присутності інтерференції ніж зовнішня передача. Існують різні види інтерференції, такі як, осьова інтерференція, радіальна інтерференція, інтерференція головки зуба і т. д., які приведуть до порушення складання. Коли різниця кількості зубів  $z_2 - z_1$  мала, головка зубу шестерні може контактувати з головою зубу контактуючого колеса в місці протилежному точці зачеплення.

*Ключові слова:* кривошипно-планетарний редуктор, умова сусідства, умова співвісності, умова складання, умова відсутності інтерференції.