

СЕКЦІЯ 3
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ПРИЛАДІВ

УДК 681.2

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ВІБРОСИГНАЛУ
НА ОБРОБЛЮВАЛЬНИХ ЦЕНТРАХ

¹⁾Іваненко Р. О., ²⁾Тимчик Г. С.

¹⁾Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз,
Київ, Україна

²⁾Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: indior@ukr.net

Вивчення умов та механізму процесу різання, взаємодії технологічних факторів, параметрів та явищ, розробка нових способів та шляхів підвищення ефективності процесу є актуальним науковим завданням, що має велике практичне значення для прецизійного приладобудування.

Технологічні процеси лезової обробки металів різанням, як і всі подібні, мають яскраво означений виток вібраційних та акустичних енергетичних потоків. При використанні ультразвукового перетворювача для прийому сигналу його чутливість залежить від напрямку надходження хвилі випромінювання.

Спрямованість прийому ультразвуку іноді виявляється ефективним засобом виділення корисного сигналу на випадковому шумовому фоні. Оскільки випромінювання і прийом акустичного випромінювання взаємно обернені, спрямованість визначеного перетворювача по прийому і по випромінюванню однакова [1-4].

Ця задача є досить складна, оскільки існує велика кількість інструменту саме за геометричною конфігурацією, а це вимагає досить складного вирішення цієї проблеми. Основним чинником подібної ситуації є стала конструкція різального інструменту яка не пристосована до встановлення на ньому перетворювачів контролю металообробки.

В роботі використано метод контролю, заснований на спектральному аналізі сигналів акустичної емісії. Нормальному процесу різання відповідає частота щонайменше 100 кГц. В умовах точіння досліджували виникнення та розповсюдження тріщин у різці з пластинами твердих сплавів.

Акустичний датчик закріплювався на державці різця, а сигнал з нього після попереднього посилення та фільтрації піддавався частотному аналізу та реєстрації на осцилографі. Режими різання використовувалися наступні: швидкість 120-200 м/хв, подача 0,5 мм/об, глибина різання 1,0 - 2,0 мм. Отримано, що в умовах обробки, при яких утворюється тріщиноутворення, спостерігаються специфічні піки акустичної емісії після проходження різцем до

10 мм з моменту врізання, хоча помітного викрашування різальної кромки при цьому не спостерігається.

Продовження різання після появи таких піків завжди призводило до появи тріщин. Вказані піки відповідали діапазону частот до 300 кГц, тобто, тим же частотам, які відповідають руйнуванню інструменту, однак вони мали порівняно більші значення амплітуд і більшу постійну часу, ніж сигнал, що відповідає викрашування. Значення тимчасового інтеграла енергії амплітуд нормально узгоджується з величиною сумарної площі тріщин, що створює передумову використання методу акустичної емісії з метою контролю стану різального інструменту при роботі в умовах циклічних навантажень і тріщиноутворення.

Розглянуто фізико-математичну модель розповсюдження віброакустичного сигналу. Це дало можливість побудувати теоретичні засади щодо координат розташування перетворювача в тілі різального інструменту. Визначено основні математичні основи стосовно розташування віброакустичного елемента у масі різального інструменту.

На основі розглянутих фізико-математичних моделей розроблено загальну концепцію розташування перетворювача в тілі різального інструменту. Це надало можливість конкретизувати координати розташування перетворювача в тілі різального інструменту.

Як наслідок цього вдалося зв'язати в одне ціле конструкцію різального інструменту і координати розташування перетворювача для досягнення максимального ефекту визначення моменту торкання.

Розглянуті позиції розташування перетворювача вказують на те, що необхідно розробляти нову конструкцію різального інструменту, який буде виконувати не тільки процес металообробки, але і забезпечувати процес контролю, що дозволить значно розширити його технологічні можливості.

Ключові слова: різальний інструмент, контроль, торкання.

Література

- [1] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Клочко, *Відчутники контрольно-вимірювальних систем: монографія*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2008.
- [2] В. І. Скицюк, І. М. Діордіца, В. І. Науменко, “Вимірювання форми деталі за статичного розташування та лінійного детермінованого руху різального інструмента”, *Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування*, Вип. 29, с. 69-76, 2005.
- [3] В. І. Скицюк, К. Г. Махмудов, Т. Р. Клочко, *Технологія ТОНТОР*. Київ, Україна: Техніка, 1993.
- [5] G. S. Tymchik, I. M. Diorditsa, V. I. Skytsyuk, S. P. Vysloukh, A. M. Diorditsa, *XII International PhD Workshop OWD 2010*. Under the auspices of Deans of Electrical, Electronic and Computer Science Faculties of Engineering, IEE - The Institution of Engineering and Technology IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers - Polish Section. Determination Of Cylindrical Shape Parts With Solid Processing In Automatic Mode. pp. 116-120.

УДК 629.7.085

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПУСКОВОЇ УСТАНОВКИ КАТАПУЛЬТОВОГО ТИПУ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Буковська Д. В., Антонюк В. С.

Національний технічний університет України

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: mrs.dianabukovska@gmail.com victor.antonjuk@gmail.com

Створення авіаційних безпілотних комплексів включає в себе розробку не тільки безпілотного літального апарату (БЛА), а й пускової установки. Системи запуску відзначаються своєю різноманітністю залежно від маси, конструкції та призначення БЛА.

Якщо для тактичних БЛА класів Micro (до 2 кг) і Mini (2-15 кг) часто використовується старт з руки оператора або помічника, то для важких БЛА оперативного і особливо стратегічного класу нерідко застосовується старт з бетонної злітно-посадкової смуги існуючих аеродромів. Проте найбільш розповсюдженими для запуску БЛА середнього класу є установки катапультичного типу, так як вони відзначаються своєю мобільністю, а також найбільш безпечні для оператора [1-3].

Процес запуску БЛА активно досліджується у зв'язку з підвищеним попитом на використання виробу, проте належна увага не приділяється детальному вивченню процесу запуску БЛА з установок катапультичного типу. В результаті цього є спрощений підхід до вибору параметрів пускової установки, що призводить до вибору неоптимальних значень, а це в свою чергу до ускладнення конструкції та підвищення собівартості всього безпілотного комплексу.

Отже, метою роботи є аналіз параметрів пускової установки катапультичного типу з урахуванням характеристик безпілотного літального апарату.

Під час запуску БЛА з пускової установки катапультичного типу зі стартовим прискорювачем проходить три основні стадії пуску: рух по направляючій, рух після сходу з направляючої, політ після скидання стартового двигуна.

Успішний запуск БЛА залежить від розподілу зовнішніх сил. Літальний об'єкт перебуває у стані динамічної рівноваги коли сума всіх діючих зовнішніх сил дорівнює нулю. При старті БЛА проходить три стадії пуску, кожна з яких потребує розрахунку центру мас виробу. Для розрахунку центра мас виробу в процесі старту потрібно знати такі параметри як швидкість, координати виробу і кут запуску [4].

На рисунку 1 показано схематичне зображення катапульти з встановленим на ній БЛА. В процесі руху БЛА по направляючій виникають сили тертя F_i і сили нормальної реакції опори N_i , які розташовані в i -й парі бугелів.

На рисунку зображено параметри, які впливають на траєкторію руху: відстані від початку направляючої до першої пари бугелів l_b , довжину направляючої l_n , кут нахилу α_n . Наведені параметри необхідні для розрахунку центра мас виробу на першій стадії запуску.

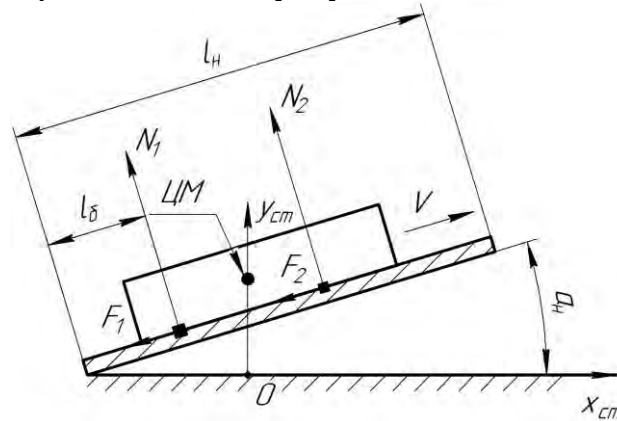


Рис. 1. Стартова система координат пуску БЛА:

ЦМ – центр мас; – вісь центра мас; F_1 , F_2 – сили тертя (Н); N_1 , N_2 – нормальна реакція опори (Н); V – швидкість (м/с); l_n – довжина направляючої (м); l_b – відстань від початку направляючої до першої пари бугелів (м).

Для розрахунку центр мас виробу після сходу з направляючої потрібно визначити величину $V_2(T)$ і координати $x_2(T)$, $y_2(T)$ після першої стадії пуску. Для розрахунку наведених параметрів необхідно описати рух БЛА в вертикальній площині польоту в інтервалі часу $[t, T]$ під дією маршового та стартового двигунів.

Отримані значення швидкості $V_2(T)$, кута нахилу траєкторії польоту, і координати $x_2(T)$, $y_2(T)$ центра мас БЛА в момент часу T (кінець роботи стартового двигуна) використовуються в якості початкових даних для подальшого розрахунку завершального етапу польоту БЛА.

Політ після скидання стартового двигуна розраховуємо на інтервалі часу $[T, t_2]$. Завершенням цього етапу вважається досягнення кута нахилу траєкторії польоту до нульового значення, тобто виконується умова виду:

$$\alpha_{n3}(t_3) = 0.$$

Отримані значення розташування центра мас виробу дозволяють виконати моделювання траєкторії польоту БЛА на етапах запуску. Основною перевагою запропонованих розрахунків є можливість оцінки зіткнення БЛА з перешкодами, що в свою чергу призводить до скорочення часу натурних випробувань.

В результаті аналізу параметрів пускової установки катапультного типу з урахуванням характеристик БЛА визначено що процес запуску виробу потребує розрахунку впливу кожного початкового етапу руху на траєкторію польоту. Для пришвидшення процесу впровадження пускових установок катапультного типу в виробництво потрібно на основі проведеного аналізу

взаємовпливу параметрів пускової установки і БЛА розробити математичну модель, яка буде описувати траєкторію польоту виробу на початкових стадіях запуску, а також розробити комп'ютерно-інтегровану систему для розрахунку траєкторії руху БЛА під час пуску.

Встановлено, що під час старту БЛА проходить три стадії пуску. На кожній стадії польоту виріб повинен бути врівноваженим. Для визначення врівноваженого стану виробу проаналізовано всі сили, які діють на об'єкт, та створено схему дії зовнішніх сил.

Для досягнення успішного пуску БЛА проаналізовано параметри, які впливають на траєкторію руху виробу при початкових етапах запуску. Визначено основні складові, які потрібно врахувати при першій стадії пуску, а також вхідні параметри, які потрібно визначити для другого та третього етапу пуску.

Сформульовано алгоритм розрахунку параметрів і визначено інтервали часу, на яких виконуватимуться розрахунки вихідних значень.

Встановлено, що розрахувавши траєкторію польоту виробу надає можливість оцінки зіткнення БЛА з перешкодами, це в свою чергу призводить до скорочення часу натурних випробувань та пришвидшує впровадження виробу в серійне виробництво.

Ключові слова: безпілотні літальні апарати, пускові установки, моделювання старту безпілотного літального апарату.

Література

- [1] Д. В. Буковська, В. С. Антонюк, “Особливості пускових установок для безпілотних літальних апаратів”, на *XIX Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”*, Київ, 2023, с. 86-88.
- [2] Рендал У. Біард, Тімоті У. Маклейн, *Малогобаритні безпілотні літальні апарати: теорія та практика*. Київ, Україна: Вид. будинок «СВАРОГ», 2023.
- [3] Лелека (Ciconia) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://deviro.ua/ukr/ciconiavtol>.
- [4] А. П. Козлов, О. В. Мельников, Ю. М. Кеменяш, “Система визначення положення центра мас літака в режимі польоту”, *Електроніка та системи управління*, № 4(30), с. 120-126, 2011.

УДК 681.2

РОЗВИТОК ТА ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ПІДХОДІВ ДО ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОНІКИ В УМОВАХ ВІЙНИ

Зимовченко В. О.

*Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України, Київ, Україна
E-mail: 777235@ukr.net*

Війна в Україні суттєво вплинула на всі сфери життя, включаючи й розвиток сучасного виробництва електроніки. З одного боку, війна створює

нові виклики та загрози для цієї галузі, з іншого – відкриває нові можливості та перспективи для її розвитку.

Вплив війни на виробництво електроніки. Бойові дії призвели до руйнування виробничих потужностей, внаслідок цього, було зруйновано або пошкоджено багато підприємств, що безпосередньо цим займались. Це призвело до дефіциту деяких з них. З’явилися також проблеми з логістикою, війна ускладнила доставку сировини та готової продукції. Як наслідок – зростання цін та затримок у поставках. Змінився попит на деякі види електроніки, такі як військова техніка, засоби зв’язку та дрони.

Можливості та перспективи розвитку. Тут слід зазначити збільшення локалізації виробництва, а саме стимуляція локального розвитку виробничих процесів в Україні. Це дозволяє зменшити залежність від імпорту та створити нові робочі місця. Впровадження інновацій, нових технологій та продуктів призведе до створення нових ринків та підвищення конкурентоспроможності української електроніки на світовому ринку. Війна стимулює співпрацю з країнами-партнерами в сфері виробництва електроніки. Завдяки цьому, Україна може отримати доступ до нових технологій та ринків.

Виклики та проблеми. Розвиток виробництва електроніки потребує значних інвестицій. В умовах війни знайти кошти для цього може бути складно. Бойові дії призвели до відтоку фахівців в деяких галузях, особливо коли мова заходить про вузькоспеціалізовані професії, а саме в галузі електроніки. Нестабільність політичної та економічної ситуації в Україні також негативно впливає на розвиток виробничих процесів.

Підводячи підсумки, війна створює як нові виклики, так і нові можливості. Розвиток електроніки може стати одним із ключових факторів відновлення української економіки та зміцнити обороноздатність нашої країни. Щоб це стало реальністю, потрібно збільшення державної підтримки, починаючи з місцевої влади, створення сприятливого інвестиційного клімату, розвиток співпраці з країнами-партнерами в сфері виробництва електроніки та підготовка кваліфікованих кадрів для роботи в цій галузі.

Ключові слова: розвиток, війна, виробництво, електроніка перспективи, проблеми.

УДК 004.62: 005.93

ЦИФРОВИЙ ДВІЙНИК ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА

Філіппова М. В., Філіппов О. В., Демченко М. О.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: m.flippova@kpi.ua, filippovalexv@gmail.com, dmariiaa@gmail.com

Цифрові двійники все глибше приникають в економіку та виробничі процеси, включаючи автоматизацію виробництва, що задовольняє практичні

потреби щодо ефективного керування виробництвом. Такого результату можна досягти за допомогою цифрового двійника наступними способами:

- дистанційний моніторинг і контроль промислового обладнання та процесів виробництва у реальному часі;
- усунення вузьких місць та оптимізація процесів виробництва як на етапі проектування, так і на етапі експлуатації та обслуговування;
- аналіз виробничих сценаріїв і оцінка ризиків, що проводяться з метою оцінки проблем, що виникають при розробці технологічних процесів і системи управління виробництвом (зокрема, прототипування).

Концепція моделі виробництва, з використанням цифрового двійника, представлена на рис. 1. Завдяки реалізованому взаємному обміну даними цифровий двійник об'єднує всі виробничі процеси для досягнення замкнутого циклу та, таким чином, покращує роботу окремих етапів життєвого циклу продукту [1, 2].

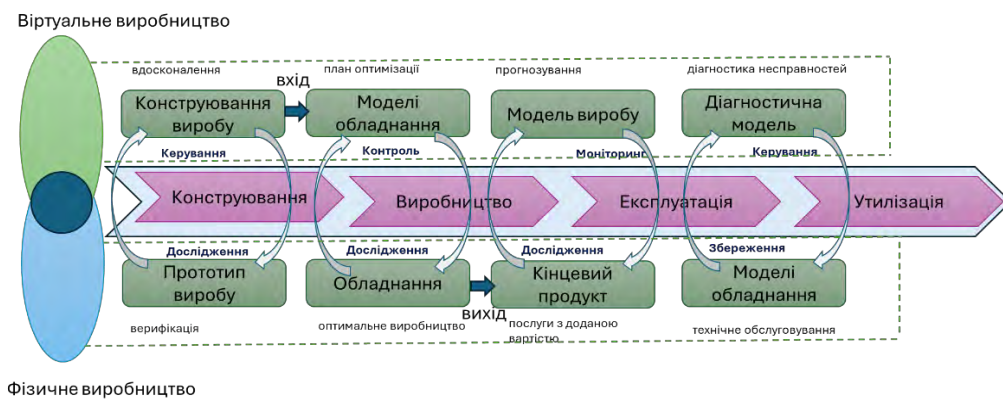


Рис. 1. Цифровий двійник виробництва

Цифровий двійник виробництва можна представити у вигляді сукупності моделей, таких як:

- модель виробництва, яка містить цифровий опис ресурсів виробництва (інформацію про верстати, засоби технологічного оснащення, номенклатуру та технології виготовлення виробів, систему збору інформації про стан обладнання);
- модель експлуатації виробництва, яка описує архітектури зв'язків між підрозділами на підприємстві, з врахуванням міжцехової та зовнішньої кооперації, включаючи технічне обслуговування та ремонт обладнання.

Модель виробництва, можна представити у вигляді трьох взаємопов'язаних моделей: конструкторської, технологічної та виробничої.

Модель конструкції містить в собі інформацію про структуру виробу, та її можна представити у вигляді орієнтованого графу-дерева [3].

Технологічна модель, містить в собі послідовність виготовлення виробу. В загальному вигляді, технологічний процес виготовлення деталі або складальної одиниці представляє собою ланцюжок технологічних операцій, які розташовані у строго визначеній послідовності.

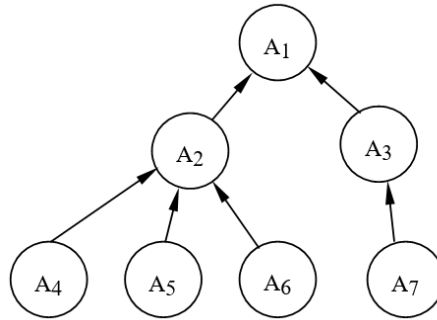


Рис. 2. Модель конструкції виробу

Тоді формально, її можна представити у вигляді орієнтованого графу, де вершини це технологічні операції, а відношення порядку задаються дугами графу.

Тобто, процес виготовлення кожної деталі або складальної одиниці описується технологічним процесом, який складається з визначеної послідовності технологічних операцій, в якій наступна операція може починатись, тільки після завершення поточної.

Модель виробництва, в свою чергу, представляє собою об'єднання конструкторської та технологічної інформації. Використовуючи форму представлення структури виробу у вигляді графік та технологічного процесу у вигляді ланцюга, формується «конструкторсько-технологічна структура виробу». Така структура представляється у вигляді графу робіт, який отримують з електронної структури виробу заміною вершин послідовністю технологічних операцій. Тобто, формується процесно-орієнтована виробничо-технологічна інформаційна структура виробництва.

Завдяки реалізованому взаємному обміну даними цифровий двійник об'єднує всі виробничі процеси для досягнення замкнутого циклу та, таким чином, покращує роботу окремих етапів життєвого циклу продукту. Механізм взаємодії даних виробу, технологічних процесів та виробництва показані на рис. 3.

Цифровий двійник виробництва складається з чотирьох компонентів: фізичне виробництво, віртуальне виробництво, обслуговування виробництва, і, власне ЦД виробництва. Фізичне виробництво включає низку виробничих ресурсів, тобто персонал, обладнання, матеріали тощо, які об'єктивно існують у фізичному просторі, організовує виробництво, суворо дотримуючись попередньо визначених замовлень від віртуального виробництва та послуг від обслуговування виробництва.

Віртуальне виробництво складається з набору моделей, включаючи геометрію, фізику, поведінку та правила, для представлення сутностей у фізичному виробництві з високою точністю. Віртуальне виробництво може працювати автономно та розвиватися разом із фізичним виробництвом, надаючи команди керування для фізичного виробництва та стратегії оптимізації для обслуговування виробництва.

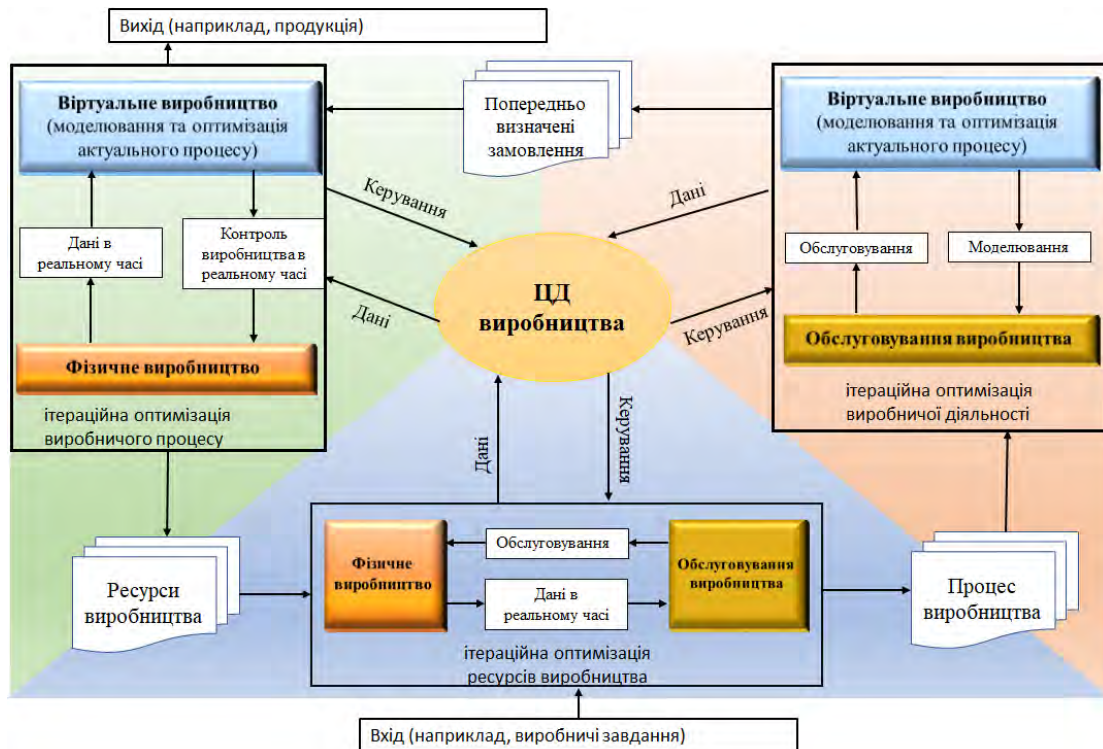


Рис. 3. Механізм взаємодії даних в цифровому двійнику виробництва [4]

Таким чином, використання цифрових двійників виробництва дозволить продовжити термін служби фізичних активів і обладнання, прогнозувати та аналізувати проблеми і помилки, як виробничого процесу так й продукції. Використання цифрового двійника, також, може бути застосовано для оптимізації виробничих процедур та економії часу простою з точки зору підвищення продуктивності виробництва виробів.

Ключові слова: виробництво, технологічний процес, моделювання, цифровий двійник, digital twins.

Література

- [1] F. Tao, M. Zhang, J. Cheng, Q. Qi, “Digital twin workshop: a new paradigm for future workshop”, *Comput. Integr. Manuf. Syst.* 23 (1) (2017) 1-9.
- [2] F Tao, M Zhang, AYC Nee, *Digital twin driven smart manufacturing*, Academic Press, 2019.
- [3] С. П. Вислоух та М. В. Філіппова, "Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт в приладобудуванні", *Вісн. Нац. техн. ун-ту України “Київ. політехн. ін-т”*. Серія Приладобудування, Вип. 28, с. 139–144, 2004.
- [4] М. В. Філіппова, М. О. Демченко, О. С. Кравченко, О. В. Волошко, “Аналіз ефективності використання ресурсів підприємства за допомогою цифрового двійника”, *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, Том 34 (73), №2, с. 164-169, 2023.

УДК 681.2

КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

¹⁾Іваненко Р. О., ²⁾Волошко О. В.

¹⁾Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз,
Київ, Україна

²⁾Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
E-mail: indior@ukr.net

Технологія приладобудування і спрямованість її розвитку обумовлюється завданнями вдосконалювання технологічних процесів, знаходження і вивчення нових методів виробництва, подальшого розвитку і впровадження комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів на базі досягнень науки й техніки, що забезпечують найбільш високу продуктивність праці при належній якості і найменшій собівартості продукції.

Контроль точності технологічного процесу передбачає отримання оцінки точності технологічного процесу та визначення відповідності точносних характеристик обладнання нормам точності, встановленим у нормативно-технічній документації та спрямовано на визначення величини наближення дійсних показників технологічного процесу до їх номінальних значень. Виготовлення продукції відбувається у вигляді виконання технологічних процесів [1-3].

Допускається оцінка точності технологічного процесу за найгіршим показником точності одного з контрольованих параметрів, за середнім показником точності, виражених у відсотках, низки прийнятих показників A за точністю одного найбільш значущого показника, що зумовлює якісне функціонування виробу.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}.$$

Для контролю та аналізу точності технологічних процесів мають вибиратися параметри, які зумовлюють якість функціонування та застосування продукції.

Перший напрямок в оптимізації виробництва пов'язаний з вибором таких технологічних процесів, які б підвищили загальну продуктивність праці, скоротили до певної межі виробничий цикл, але забезпечили б при цьому необхідну якість продукції. При цьому застосовуються прогресивні технологічні процеси і жорсткі умови випробувань і перевірок. Другий напрямок в оптимізації виробничого процесу є більш ефективним, оскільки одночасно потрібно оптимізувати у комплексі виготовлення та експлуатацію. У системі застосовуємо перший напрямок. Зазвичай потрібно оптимізувати окремі технологічні процеси таким чином, щоб виробництво забезпечило виготовлення приладів з необхідною надійністю. Прилади під час виробництва

піддаються технологічному прогону. Таким чином рівняння витрат записується у вигляді (1):

$$z(t) = \left(PK_H M + WK_3 C + \frac{K_H}{t_M \cdot 100} \right) t + C_p w(t) N t, \quad (1)$$

де P - годинна тарифна ставка випробувачів; K_H - коефіцієнт нарахування на зарплату; M - кількість обслуговуючого персоналу; W - встановлена потужність випробувального обладнання; K_3 - коефіцієнт завантаження обладнання; C - вартість 1 кв.г. електроенергії; K - вартість випробувально-тренувального обладнання; H - норма річних амортизаційних відрахувань; t_M - машинний час роботи обладнання; C_p - середня вартість усунення однієї відмови; $W(t)$ - параметр потоку відмовою контрольного виробу; N - кількість контрольних виробів; t - поточний час.

В процесі виготовлення можливе внесення дефектів за рахунок випадкового потрапляння при складанні неякісних елементів, можливих прорахунків при розрахунку конструктивно-функціональних вузлів або випадкового внесення дефектів під час виконання технологічних операцій. Для виконання та усунення цих дефектів передбачають окремі режимні випробування та перевірки, які мають забезпечити необхідну надійність виготовлення приладів. Доцільним є після налаштування апаратури піддавати найбільш інтенсивному впливу зовнішніх чинників для більш повного виявлення дефектів. При цьому гранична щільність зовнішнього впливу має бути така, щоб виключити можливість появи нових дефектів. У виробництві інтенсивне виявлення дефектів в апаратурі (процес кліматичних та механічних впливів, технологічне тренування, повнота перевірки) проводиться в обмежений час через недостачу в наявності робочих місць та висококваліфікованих фахівців, а також з економічних міркувань. Тому для повнішого виявлення дефектів прилади в деяких випадках піддаються наступному прогону.

Достатність технологічних перевірок та випробувань приладів забезпечується необхідним обсягом та жорсткістю впливу зовнішніх факторів та контрольних перевірок у процесі їх виготовлення та визначається ймовірністю чи інтенсивністю появи дефектів на момент виходу з виробництва. Методика оцінки достатності технологічних випробувань, таким чином, зводиться до оцінки ймовірності безвідмовної роботи приладу або інтенсивності появи дефектів на момент виходу його з виробництва та прогнозування отриманої величини на умови експлуатації.

Існуючі методи розрахунку надійності дозволяють визначити конструктивну надійність приладів. При оцінці надійності приладів, вплив технології виробництва не враховується через відсутність математичної моделі залежності дефектів. При серійному виробництві приладів та належному обліку всіх виявлених дефектів можна оцінити інтенсивність їх прояву на момент

виходу з виробництва. Параметр потоку відмов приладів, які проявляються в процесі виготовлення, описується наступною залежністю

$$w(t) = w_1 e^{-\gamma t^\alpha} + w_0, \quad (2)$$

де w_1 - значення параметра потоку відмов у початковий період дослідження; w_0 - постійна складова параметра потоку відмов, обумовлена постійною інтенсивністю відмов, елементів які застосовуються; $\gamma \cdot \alpha$ - коефіцієнти, що характеризують обсяг контролю за зовнішніми факторами.

За методикою, викладеною вище, вираховується графічна залежність інтенсивності прояву дефектів для кожного блоку або приладу в цілому, та вираховуються параметри розподілу дефектів. Потім розрахунковим шляхом за формулою (2) оцінюється параметр потоку прояву відмов на момент закінчення виготовлення кожного приладу.

При виборі максимально допустимих значень інтенсивності прояви дефектів у блоках та оцінки часу додаткових випробувань потрібно прагнути, до оптимального варіанту для виробництва. Таким чином, організовуючи випробування та перевірки приладів за запропонованою методикою, можна забезпечити їх випуск із необхідною надійністю. Дослідження потоку відмов, які проявляються у процесі виготовлення виробів, може бути використано для прогнозування надійності умов експлуатації. Для цього необхідно знати характеристики потоку різних видів відмов і коефіцієнти перерахунку для інтенсивності відмов елементів. Прогнозування оцінки надійності параметра потоку відмов дозволяє виключити проведення спеціальних випробувань на надійність.

Ключові слова: контроль, точність, якість, технологічний процес

Література

- [1] О. В. Глоба, С. П. Вислоух, Р. О. Іваненко, “Комплексна оптимізація процесу фрезерування на верстатах з ЧПК”, *РОЗВИТОК ТРАНСПОРТУ*, no. 2(9), 2021, с. 7-19, 2021. <https://doi.org/10.33082/td.2021.2-9.01>
- [2] С. П. Вислоух, О. В. Волошко, Г. С. Тимчик, М. В. Філіппова, *Комп'ютерне моделювання процесів та систем. Чисельні методи: підручник* Київ, Україна: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. // <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42195>
- [3] В. В. Шевченко, О. В. Осадчий, М. О. Смута, *Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту* Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2010.

УДК 621.9.08:658.562

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ У АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Шевченко В. В., Пилипенко В. О.

Національний технічний університет України

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

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

З урахуванням розвитку промисловості, питання важливості точного та надійного контролю якості продукції стає все більш актуальним. Сучасні виробничі умови створюють необхідність в постійному вдосконаленні процесів і стандартів якості продукції [1]. Підвищення вимог до якості та ефективності виробничих процесів акцентує увагу на використанні новітніх методів контролю, які можуть забезпечити надійний аналіз та виявлення потенційних дефектів на ранніх стадіях виробництва.

Акустичний метод ґрунтується на аналізі звукових характеристик, які виникають від досліджуваної деталі [2]. Варіації в акустичному випромінюванні, такі як зміни амплітуди та частоти, можуть вказувати на присутність дефектів на поверхні деталі. Розгляд акустичного методу у контексті контролю якості поверхні деталей є вирішальним для вивчення його потенційних переваг та можливостей [3].

Акустичний метод базується на тому, як звук взаємодіє з поверхнею деталі під час контрольованого впливу. Під впливом зовнішнього збудження, будь то вібрації чи удар, контрольована деталь генерує акустичні хвилі. Ці хвилі, залежно від характеристик поверхні, можуть мати різні амплітуди та частоти. Зміни в амплітуді та частоті акустичного випромінювання можуть слугувати важливими індикаторами для виявлення різноманітних дефектів у поверхні деталі. Наприклад, невеликі тріщини чи інші неоднорідності можуть впливати на амплітуду звукового сигналу. Аналіз частоти, з свого боку, дозволяє виявляти різницю у структурі матеріалу та виявляти аномалії [4].

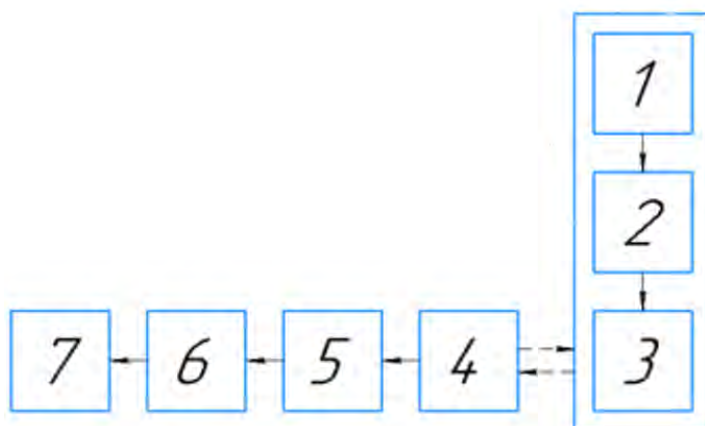


Рис. 1. Блок-схема системи контролю якості поверхні деталі

Система контролю якості поверхні деталі (рис. 1) включає наступні елементи:

- Датчики та мікрофони
- Системи аналізу сигналів
- Комп’ютерні системи обробки даних
- Генератори акустичних хвиль
- Інтерфейси виведення інформації
- Системи зберігання даних
- Блоки керування

Система контролю якості поверхні деталей починається зі введення сигналу у систему (Блок 1). Цей сигнал генерується шляхом зовнішнього збудження деталі, що є причиною виникнення акустичних хвиль. Ці хвилі поширюються по поверхні деталі, взаємодіючи з матеріалом. Після взаємодії з поверхнею деталі, акустичні хвилі повертаються назад та захоплюються системою (Блок 2). Після цього дані передаються за допомогою провідного інтерфейсу (Блок 3 та Блок 4). Подальший етап включає аналіз параметрів цих акустичних сигналів, таких як амплітуда, частота та швидкість поширення звуку за допомогою ЕОМ (Блок 5). На основі аналізу цих параметрів система визначає наявність дефектів чи невідповідностей на поверхні деталі за допомогою комп’ютерних систем обробки даних (Блок 6). Цей процес ідентифікації дефектів дозволяє системі вирішити, чи відповідає деталь встановленим стандартам якості. Останній крок це вивід результатів з допомогою інтуїтивного інтерфейсу (Блок 7). Блоки керування відповідають за координацію роботи всіх компонентів, а система зберігання даних забезпечує надійне зберігання та доступ до історії.

У кінцевому результаті, система акустичного методу забезпечує контроль якості поверхні деталей та визначає їхню відповідність встановленим стандартам.

Основні параметри для застосування акустичного методу та подальшого аналізу включають вимірювання амплітуди звукового сигналу, аналіз частотних характеристик звуку та визначення швидкості поширення звуку. Вимірювання амплітуди забезпечує високу чутливість до невеликих дефектів і добре реагує на поверхневі неоднорідності. Аналіз частотних характеристик забезпечує можливість використання на різних матеріалах і гнучкість в налаштуванні під конкретні умови. Визначення швидкості поширення звуку дозволяє виявляти внутрішні дефекти та аномалії.

Акустичний метод контролю вирізняється високою чутливістю до мініатюрних дефектів на поверхні деталей у приладобудуванні [5]. Ця властивість визначається його спроможністю виявляти навіть мінімальні зміни поверхні, забезпечуючи високу точність та ефективність діагностики.

Універсальність акустичного методу надає йому можливість успішно застосовуватися до різних матеріалів, роблячи його невичерпним ресурсом для контролю якості в приладобудуванні. Незалежно від хімічного складу чи

фізичних властивостей матеріалу, метод здатен забезпечити ефективність виявлення дефектів [6].

Гнучкість у налаштуванні акустичного методу під конкретні вимоги виробництва є ключовим аспектом, що дозволяє точно налаштувати параметри контролю. Це важливо для досягнення оптимального виявлення дефектів та максимальної ефективності методу в конкретному виробничому середовищі [7].

Загалом, акустичний метод контролю в приладобудуванні володіє винятковими властивостями високої чутливості, універсальності та гнучкості, що робить його невід’ємною складовою для забезпечення високої якості та надійності виробів у цій важливій галузі технічного виробництва.

Застосування акустичного методу контролю виробництва володіє потенціалом для автоматизації процесів. Висока чутливість методу дозволяє виявляти дефекти на ранніх стадіях виробництва, зменшуючи відходи та вартість переробки. Автоматизовані системи забезпечують неперервність виробництва та швидке реагування на зміни у якості деталей, що сприяє підвищенню продуктивності та зниженню ризиків.

Ключові слова: якість поверхні деталей, акустичний метод, автоматизація контролю, продуктивність, надійність.

Література:

- [1] Shevchenko, V. (2024). Details Processing Control System at the Automated Manufacturing. in: *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, A. Zaporozhets, (eds), vol. 511, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_10
- [2] Г. Р. Нортроп, Д.ж. Чек, та Г. В. Ульманн, *Акустичний контроль матеріалів*. Київ, Україна: Техніка, 2009.
- [3] Л. М. Сусліков, І. П. Студеняк, *Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник*. Ужгород: Вид-во УжНУ, 2016.
- [4] М. В. Лукінюк, В. П. Лисенко, В. Є. Лукін, А. М. Гладкий, С. А. Шворов, А. А. Руденський, А. А. Заверткін. *Технічні засоби автоматизації (Частина 1)* Ніжин, Україна: Видавець ПП Лисенко М. М., 2017.
- [5] S. Matvienko, V. Shevchenko, M. Tereshchenko, A. Kravchenko, R. Ivanenko, “Determination of composition based on thermal conductivity by thermistor direct heating method”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, pp. 19-29, 2020. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.193429
- [6] V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko, & V. Shevchenko, “Analysis of Dynamic Load on Human Foot”, in *2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400-404. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088788>
- [7] M. Tereshchenko, G. Tymchyk, “Automated Devices and Methods for Reproducing an Alternating Magnetic Field”, in *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, A. Zaporozhets, (eds), vol. 511, Springer, Cham., 2024. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-37>

УДК 622.338.27:537.221

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СТРІЧКОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО ПОТОКУ НА ВИСОТУ ЗАЛИШКОВИХ МІКРОНЕРІВНОСТЕЙ НА ПОВЕРХНІ З ОПТИЧНОГО СКЛА

Яценко І. В., Федорчук Я. О.

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

E-mail: irina.yatsenko.79@ukr.net

До найважливішої технологічної характеристики електронної обробки оптичних матеріалів (поверхневе полірування оптичного скла), що характеризує якість фінішної обробки виробів інтегральної та волоконної оптики, мікрооптики, оптоелектроніки, відноситься висота залишкових мікронерівностей h_1 , нм на обробленій поверхні – для оптичного скла. Для підвищення ефективності електронної обробки оптичних матеріалів необхідно вміти прогнозувати вплив керованих параметрів стрічкового електронного потоку СЕП (струму електронного потоку I_n , мА; прискорюючої напруги V_y , кВ; відстані від оброблюваної поверхні l , мм; швидкості переміщення електронного потоку V , м/с) на зазначену технологічну характеристику.

Через складність фізичних процесів, що проходять у зоні впливу СЕП на оптичні матеріали, нині не видається можливим з прийнятною для практики точністю (відносна похибка в межах 5...10 %) використовувати фізико-математичне моделювання для отримання вказаних залежностей. Тому були використані методи експериментально-статистичного моделювання, що базуються на проведених експериментальних дослідженнях та методах їхньої математичної обробки.

Аналіз мікрофотографій результатів досліджень поверхонь оптичного скла методами АСМ (атомно-силової мікроскопії) до та після обробки СЕП показує, що в першому випадку величина h_1 (навіть після глибокого механічного шліфування-полірування) складає не менше 50...60 нм, а у другому випадку – знижується до рівня 2...5 – 30...40 нм в залежності від діапазонів зміни параметрів СЕП та природи скла.

Для математичної обробки результатів експериментальних досліджень та побудови експериментально-статистичних моделей був використаний спеціалізований пакет прикладних програм, який орієнтований на ПЕОМ класу ІВМ та дозволяє в режимах діалогу і реального часу вибирати найточнішу модель для розрахунку впливу параметрів СЕП на величину h_1 . Так, для оптичного скла К-8 була отримана наступна модель (відносна похибка 5...7 %; діапазон зміни параметрів СЕП: $I_n = 50...300$ мА; $V_y = 4...8$ кВ; $V = 0,005...0,05$ м/с; $l=60...80$ мм):

$$h_1 = A \cdot \left[\frac{B \cdot V_y \cdot I_n}{\operatorname{erf}(b(I_n, l) \cdot \sqrt{k_0(I_n, l)})} \cdot \sqrt{\frac{k_0(I_n, l)}{\pi}} \right]^{C+D \cdot V + E \cdot V^2} \cdot V^F, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

де A, B, C, D, E, F – емпіричні коефіцієнти; $k_0(I_n, l)$ та $b(I_n, l)$ – енергетичні характеристики СЕП (коефіцієнт зосередженості та півтовщина), моделі для яких були отримані за допомогою вказаного вище пакета прикладних програм та отриманих експериментальних даних з зондування СЕП:

$$k_0(I_n, l) = 9,367 \cdot 10^7 - 7,8598 \cdot 10^8 \cdot l - (5,1 \cdot 10^4 - 1,3 \cdot 10^5 \cdot l) \cdot I_n, \text{ м}^{-2}; \quad (2)$$

$$b(I_n, l) = \frac{1,73}{\sqrt{k_0(I_n, l)}}. \quad (3)$$

Результати розрахунків за формулами (1) – (3) з використанням вказаного вище пакета прикладних програм представлені на рис. 1. Аналіз результатів проведених досліджень, представлених на рис. 1, показує, що найбільший вплив на технологічну характеристику h_1 оптичного скла К-8, яке оброблене рухомим СЕП, мають струм електронного потоку I_n і його швидкість переміщення V : збільшення I_n від 50 мА до 300 мА призводить до зменшення h_1 у 1,2...1,3 рази; зростання V від 0,015 м/с до 0,035 м/с веде до збільшення h_1 у 5,3...7,5 рази.

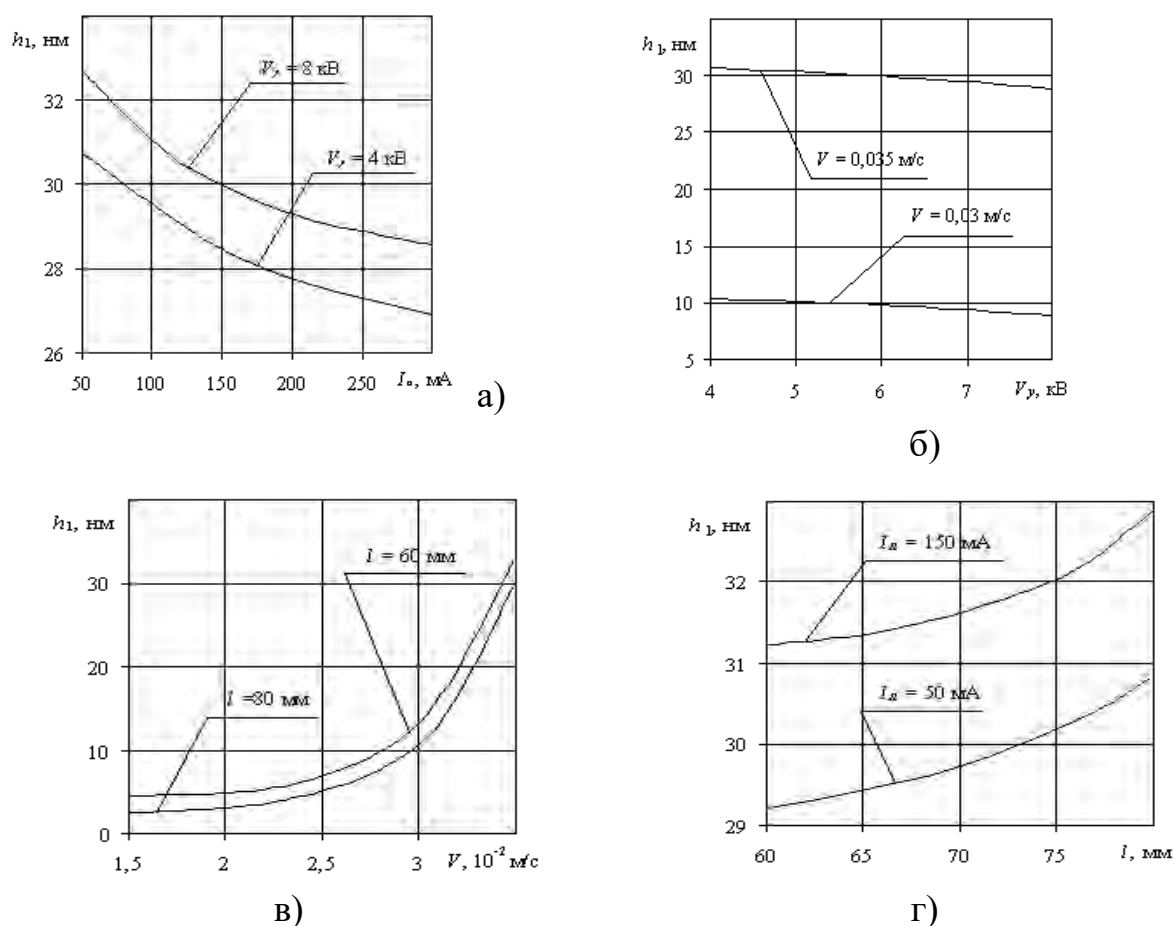


Рис. 1. Залежність величини залишкових мікронерівностей h_1 на поверхні оптичного скла К-8 ($A = 35,123$; $B = 8,33$; $C = 0,56$; $D = -25,685$; $E = 618,735$; $F = -0,378$) від параметрів СЕП: а) – $l = 60$ мм, $V = 0,035$ м/с; б) – $I_n = 100$ мА, $l = 60$ мм; в) – $I_n = 100$ мА, $V_y = 5$ кВ; г) – $l = 60$ мм, $V = 0,035$ м/с.

Ключові слова: стрічковий електронний потік, оптичне скло, оптичне приладобудування, залишкові мікронерівності.

UDC 519.2: 681.512

INFORMATION MODELING OF PROCESSES AND SYSTEMS

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

Modern production systems are characterized by the use of huge information arrays and a significant number of constituent elements (parameters). Therefore, when studying such multiparameter systems, it becomes necessary to exclude some of the parameters, as well as some functions from the mathematical model describing this system, while preserving all their informativeness.

One of the most common types of system data presentation is a multidimensional matrix, the rows of which correspond to individual objects of the system (for a production system, this is a product, a part, a technological route, processing modes, etc.), which is described by a set of specific parameter values, and the columns are different sets of specific parameter values of these objects. In practice, the dimensions of the considered matrices can be quite large. Direct, visual analysis of such matrices is practically impossible, and their practical use in calculations causes significant difficulties. Therefore, in mathematical statistics, there are many approaches and methods designed to compress the source information to dimensions available for review, extract the most significant from it, discard all secondary, insignificant and random.

To improve the efficiency of processes and systems, which is usually implemented through mathematical modeling, it is advisable to first solve the problem of information modeling in order to compress the factor space without reducing the overall informativeness. When solving the reducing problems the dimensionality of information arrays used in information modeling, it is suggested to use the methods of factor analysis and multidimensional scaling [1].

The task of factor analysis is to present each parameter of the research object in terms of hidden hypothetical factors.

The simplest model for describing one parameter in terms of several others can be a linear model, which is used in this work. However, within the framework of the linear model, depending on the purpose of the analysis, different options are possible.

Reducing the dimensionality of information arrays using factor analysis methods by reducing the initial number of features allows solving three main tasks: increasing research efficiency due to more rational use of machine processing capabilities; increasing the statistical probability of the information sample of data presented for modeling and classification; ensuring greater clarity and ease of the results' interpretation, the cases when the size of the new factor space is less than 3 are

especially important here, i.e. a direct visual analysis of the description space is possible.

All of the above makes sense within some defined system model. Models of factor analysis are a fairly good approximation to real situations and at the same time allow solving the set tasks. Methods of factor analysis make it possible to develop models with the help of which it is possible to analyze and interpret arrays of experimental and arbitrary statistical data independent of their physical nature. At the same time, it is possible to solve two types of problems - a brief description of the objects and the identification of relationships between the parameters characterizing each object.

There are more than ten methods of factor analysis, but not all of them are equally good for the researcher. Some of them have only historical value, while others are suitable for solving partial problems. A number of methods are quite general and universal. The main thing that is required from a factor solution is an adequate description of the relationships between the parameters. In addition, it is desirable that the factor solution is as simple as possible and meaningfully interpreted.

The task of factor analysis is to express the parameter y_j , where y_j is the normalized value of the j -th property of the object x_{ij} , in the form of hidden hypothetical factors. The simplest model for describing one parameter can be a linear model:

$$y_j = a_{j1}f_1 + a_{j2}f_2 + \dots + a_{jn}f_n, \quad j=1,2,\dots,n,$$

where each of the parameters depends linearly on n uncorrelated factors f_1, f_2, \dots, f_n . The most important property of the method is that each subsequent component makes the maximum possible contribution to the total variance of the parameters.

Thus, factor analysis allows you to obtain not only the display, but also the value of the correlation coefficients between parameters and factors. A factor analysis algorithm was developed, which implements the principal factors method. The created algorithm was implemented and tested by software in the processing of various technological information [2].

When determining the number of factors (latent variables), a rule is often used that allows factors with eigenvalues greater than one to be left. At the same time, a correlation matrix is used. This simple criterion is well established because it usually produces results that match those expected by the researcher. In addition, this method has been thoroughly tested on model artificial data.

Criteria for choosing the number of factors based on the size of the portion of the reproducible variance are also used. Significance criteria "operate" with the selective variability of the data. Criteria based on eigenvalues are formulated in terms of abstract characteristics of the matrix. A third approach is also possible - for each factor, the share of variance that is reproduced by this factor is estimated.

Multidimensional scaling as a method of data analysis is intended for processing statistical information about complex objects or systems [3]. This information can be objective, but can also be obtained by interviewing experts. Here, the initial

information is data on connections or similarities of the objects of the studied system. The task is to represent these objects in the form of points of some coordinate space of small dimensions. At the same time, it is necessary to preserve the structure of the system - connections or similarities of objects must be represented by distances between points. Such a simple geometric model leads to a meaningfully interpreted solution: the axes of the built space carry a certain numerical load - they are interpreted as signs underlying the connections between objects. Each object is characterized to one degree or another by these features and, in this way, it is possible to obtain conclusions about the entire system.

Thus, it is advisable to use multidimensional scaling methods for multidimensional data processing, that is, analysis of systems and objects characterized by a significant number of parameters [4]. Their application is most effective when it is possible to adequately present the original information using one, two or three dimensions. It is advisable to use multidimensional scaling methods for the analysis of experimental data at the preliminary stage of their processing. Then the researcher can get some information in advance about the structure of the data, establish what types his observations fall into. After that, you can enter your patterns in different groups and build your own model for each individual type of data.

The following conclusions can be made based on the results of the application of information modeling methods of the parameters of complex processes and systems.

The use of information compression methods - methods of factor analysis and multidimensional scaling allows to significantly simplify the solution of process and system research problems by reducing the characteristic space, reducing the amount of processed information, reducing the time of solving various engineering problems, and also increasing the accuracy of the obtained solutions.

The given methods of multivariate statistical analysis of information - methods of factor analysis and multivariate analysis considered in this paper are characterized by mathematical rigor and completeness of methods.

It is advisable to use the proposed methods of multivariate statistical analysis in the presence of significant amounts of information about the object of research and modeling.

The methods of factor analysis and multidimensional scaling make it possible to effectively compress arrays of raw data.

With the help of methods of factor analysis and multidimensional scaling analysis, it is possible to assess the nature of relationships between parameters and obtain a preliminary mathematical model of the researched object, process and fact.

The proposed methods of factor analysis of information, as well as multidimensional scaling, allow to reduce (compress) the initial space for 2...5 times and reduce the calculation time using the obtained models for 1.5...2 times.

Multidimensional scaling makes it possible to assign to each of these objects a vector of quantitative indicators characterizing it based on given information about the degree of divergence (closeness) between the objects of the researched process or thing.

It is advisable to use the multidimensional scaling procedure when the information is provided in the form of a matrix of pairwise distances between objects or a matrix of their ordinal relationships. In the first case, the methods of the so-called metric scaling are used, and in the other - non-metric scaling.

Multidimensional scaling allows you to provide a visual view of data about the objects of the researched processes or phenomena in the form of some geometric configuration of points.

Keywords: production system, process, phenomenon, information, informativeness, modeling, system parameters, data analysis, statistical analysis, matrix, factor, factor analysis, multidimensional scaling, dimensionality reduction.

References

- [1] С. П. Вислоух, “Дослідження взаємозалежності ознак і зниження розмірностей інформаційних масивів в задачах технологічної підготовки виробництва”, у *Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ „ХПІ”*, Харків, Україна: Вип. 2 (15), с. 55–63, 2007.
- [2] С. П. Вислоух, *Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва*: моногр. Київ, Україна: НТУУ “КПІ”, 2011.
- [3] I. Borg, P. Groenen, *Modern Multidimensional Scaling: theory and applications* (2nd ed.). New York: Springer-Verlag, 2005. pp. 207–212. I
- [4] Jan de Leeuw, Patrick Mair, "Multidimensional Scaling Using Majorization: SMACOF in R", *Journal of Statistical Software*, vol. 31, no. 3, pp. 1-30, 2009. DOI:10.18637/jss.v031.i03.

УДК 621.9.08:658.562

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ

Шевченко В. В., Пилипенко В. О.

Національний технічний університет України

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

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

Під час впровадження гнучких виробничих систем у автоматизоване виробництво, яке включає обладнання з числовим програмним керуванням, роботів-маніпуляторів та транспортні системи, виникають виклики у забезпеченні автоматизованого контролю розмірів деталей [1]. Цей контроль необхідний для порівняння фактичних розмірів з заданими, з метою зменшення кількості бракованих деталей та підвищення продуктивності. Надійність, точність та довговічність роботи приладів залежать від таких виробничих похибок: методична, похибка встановлення деталі, похибка від неточності налаштування та вимірювання, похибка технологічної обробляючої системи. До особливостей приладобудування відноситься те, що середній квалітет точності при виготовленні деталей дорівнює дев'ятому, а середній допуск на виготовлення деталей дорівнює двадцять – тридцять мікрометрів, тому контроль точності розмірів деталей в приладобудуванні є дуже актуальним.

Крім контролю точності розмірів деталей приладів дуже актуальним є контроль точності взаєморозташування поверхонь а також контроль точності форми деталі [2].

Основою автоматизованої системи контролю є індуктивний метод, який відзначається високою надійністю та точністю у контролі розмірів деталей, тому він вважається найбільш ефективним. За допомогою індуктивних датчиків можна контролювати механічні переміщення, сили, температуру, властивості магнітних матеріалів, визначати наявність дефектів, контролювати діаметр сталевих дротів, товщину немагнітних покриттів на сталі та ін. [3]. Оскільки автоматизоване виробництво вимагає надійних та швидких методів контролю, подальший розвиток індуктивного методу стає дуже важливим. Впровадження методу дозволить підвищити продуктивність виробництва, зменшити кількість бракованих деталей та забезпечити стабільність у виробничих процесах. Індуктивний метод дозволяє чітко вимірювати розміри деталі, шорсткість, контролювати механічні переміщення, температуру, властивості магнітних матеріалів, виявляти наявність дефектів, товщину немагнітних покриттів на сталі [4].

Автоматизована система контролю, яка використовує індуктивний метод виконується, як на окремій операції після обробки деталі, де використовується спеціальне автоматизоване контрольне пристосування, куди деталь доставляється завдяки транспортній системі та робота-маніпулятора, так і під час обробки деталі [5].

Автоматизована система контролю розмірів ґрунтується на індуктивн. Індуктивний метод вимірювання ґрунтується на процесі, коли змінюється зазор між якорем та магнітопроводом однієї з котушок, тоді як у другій котушці цей зазор зменшується. Ця зміна відбувається у зв'язку зі змінами розмірів поверхні, яка обробляється. Внаслідок цього індуктивність першої котушки зменшується, тоді як індуктивність другої збільшується. Зафіксувавши цю зміну, можна відстежувати визначати точність фактичних розмірів деталей приладів [6]. Іншими словами, коли вимірювана деталь змінює свій розмір, змінюється відстань між котушками і, відповідно, індуктивність кожної котушки. Ця зміна індуктивності дозволяє здійснювати вимірювання та визначати фактичні розміри деталі [7].

Автоматизована система складається з генератора, тригера Шмітта, підсилювача, перетворювача, світлодіодного індикатора, кампаундера та блока керування. За допомогою генератора створюється електромагнітне поле, яке потрібне для взаємодії з поверхнями деталей приладів. Тригер Шмітта забезпечує гістерезис, коли здійснюється перемикання. Підсилювач збільшує амплітуду сигналу, щоб він досяг необхідного значення. Перетворювач відповідає за перетворення електричного сигналу на необхідні вимірювальні параметри для контролю розмірів деталей. Світлодіодний індикатор інформує про стан вимикача, забезпечує контроль працездатності й оперативність налаштування. Компаунд потрібний для захисту від проникнення води і

твердих частинок. Керуючі блоки забезпечують автоматизацію контролю точності розмірів деталі.

Основною перевагою індуктивного методу контролю розмірів деталей є можливість автоматизації контролю, що є дуже важливо в умовах автоматизації виробництва. Перевагами автоматизованої системи контролю є: простота і міцність конструкції, надійність в роботі, відсутність ковзних контактів, досить велика величина потужності на виході, висока чутливість.

Автоматизована система контролю розмірів деталей заснована на процесі, коли змінюється зазор між якорем та магнітопроводом однієї з котушок, тоді як у другій котушці цей зазор зменшується. Ця зміна індуктивності дозволяє вимірювати та визначати фактичні розміри деталі.

Автоматизована система контролю розмірів деталей відіграє ключову роль у виробництві, забезпечуючи якість та ефективність виробничих процесів. Використання цього методу дозволяє підвищити продуктивність, зменшити кількість браку та знизити собівартість виробництва. Його поєднання з автоматизованими системами виробництва є важливим кроком у покращенні ефективності та якості виробничих процесів.

Ключові слова: контроль розмірів, індуктивний метод, автоматизація контролю, якість, ефективність.

Література:

- [1] V. Shevchenko, “Details Processing Control System at the Automated Manufacturing”, in *Advanced System Development Technologies I. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchik, A. Zaporozhets, (eds), vol. 511, 2024. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44347-3_10
- [2] S. Matvienko, V. Shevchenko, M. Tereshchenko, A. Kravchenko, R. Ivanenko, “Determination of composition based on thermal conductivity by thermistor direct heating method”, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, pp. 19-29, 2020. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.193429
- [3] Індуктивні датчики. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://studfile.net/preview/9347342/page:5/> (дата звернення: 22.04.2024).
- [4] Що таке індуктивний датчик? [Електронний ресурс]. Доступно: <https://poradumo.com.ua/270817-s-318/> (дата звернення: 28.03.2024).
- [5] Я. І. Проць, В. Б. Савків, О. К. Шкодзінський, О. Л. Ляшук, *Автоматизація виробничих процесів*: навч. посіб. для тех. спеціальностей вищих навч. закл. Тернопіль, Україна, 2011.
- [6] Inductive Sensors. URL: <https://www.celeramotion.com/zettlex/support/technical-papers/inductive-sensors/> (дата звернення: 28.03.2024).
- [7] V. Tsapenko, M. Tereshchenko, G. Tymchik, S. Matvienko, & V. Shevchenko, “Analysis of Dynamic Load on Human Foot”, in 2020 *IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 400-404. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9088788>

UDC 004.032.26: 004.93'1

PREPARATION OF THE DATABASE FOR NEURAL NETWORK TRAINING IN THE PROBLEMS OF PRODUCT DEFECT RECOGNITION

¹⁾Ihor Mastenko, ¹⁾Nataliia Stelmakh, ²⁾Pawel Komada

¹⁾National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”,
Kyiv, Ukraine

²⁾Lublin University of Technology, Lublin, Poland

E-mail: i.mastenko@kpi.ua, n.stelmakh@kpi.ua, p.komada@pollub.pl

The use of neural networks to detect defects in production is a very relevant and important direction in modern technologies. Since the detection of defects in the early stages of production avoids the production of defective products and ensures the high quality of products, and also helps to avoid the cost of manufacturing defective parts or products and reduces losses in time. Neural networks can be trained to recognize different types of defects based on images or signals from sensors, which automates the quality control process. Since they can work on large amounts of data and are able to detect even the slightest defects very quickly and accurately, this allows you to increase the efficiency of quality control [1]. Automated defect control systems built on the basis of neural networks allow you to recognize different types of defects and adapt to changing production conditions, which allows them to remain effective in different scenarios, as well as reduce manual labor costs and increase production efficiency.

Preparing a database to train neural networks in product defect recognition tasks is a critical step, as the quality and representativeness of this database will affect learning outcomes.

Since convolutional neural networks, require a large amount of data for training, special attention should be paid to creating a database for training a neural network for quality control of tubular products.

Given the narrow specificity of the task and the development of a neural network for a specific type of production, the training database must be created independently, using tubular products of all types with all possible defects.

Convolutional neural networks learn better on large data sets, so special attention should be paid to creating a database for training the neural network [2].

Photographic images of tubular products are made using ten cameras Fig. 1.

Web cameras 3 and 4 are redundant and are not used to create images of tubular products;

- cameras 1, 2, 5, 6, 9, 10 are responsible for the surface image of the tubular-shaped article;

- cameras 7 and 8 are responsible for the image of the middle of the tubular article;

- cameras 1 and 2 are also responsible for determining the diameter of the tubular shaped article.

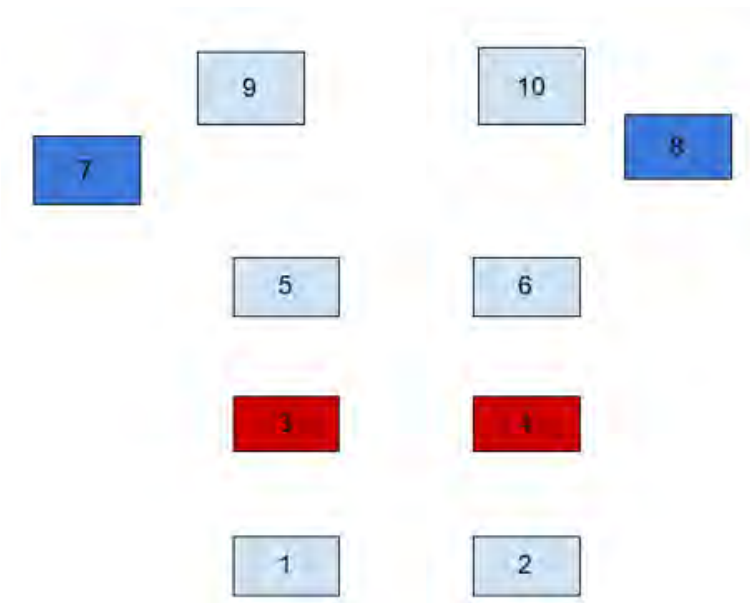


Figure 1. Layout of cameras in the optical monitoring system

An important factor for creating images with which the neural network will work is lighting.

Each machine has 5 LED lamps. They are located so that the external light that is in the building does not affect the system at all. Optimal lighting is critical because it affects the quality of images taken with webcams.

LED lamps are installed near:

1. Chambers 1 and 2 (C1): a. length 27 cm; b. suite range: [1500,1800]
2. Chambers 5 and 6 (C2): a. length 16 cm; b. suite range: [1500,2000]
3. Chambers 9 and 10 (C3): a. length 27 cm; b. suite range: [1500,2000]
4. Chambers 7 (C4): a. length 16 cm; b. suite range: [450,600]
5. Chambers 8 (C5): a. length 16 cm; b. suite range: [450,600]

The indicator of light outside the permissible limits can seriously affect the quality of the system. Therefore, you need to properly measure the range of suites. Figure 2 shows an example of measuring suites on the machine from the correct points. [3]

For cameras 7 and 8, it is necessary to place a luxometer opposite the light source and rest it against the wheel (Fig. 2).

To create a database, photos must be divided into eleven folders. Each folder corresponds to a separate class. Since the neural network is created to solve a specific problem in a particular production, it was decided to reduce the names of the classes to those used in the production documentation, namely: Lomani, Additional processing, Mita, 1 grade (S), 1 grade (M), 1 grade (L), 1 grade (XL), 2 grade (S), 2 grade (M), 2 grade (L) and 2 grade (XL). An example of structuring a database for training a neural network to solve the problem of managing the quality of tubular products is shown in Figure 3.



Figure 2. Measurement of suites on chambers 7 and 8

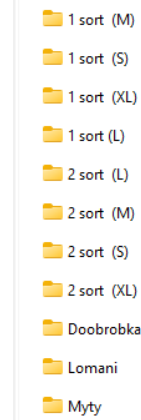


Figure 3. Structure of the created database for neural network training

Given the specifics of the task, the neural network requires a large amount of training data. Each of the folders consists of approximately 1200-1500 images. At this stage, special attention should be paid to sorting photos in accordance with the described classes. It is very important that each photo in the database corresponds to the class that is specified in the folder name. It is unacceptable at this stage to place images in inappropriate folders, since in this case the neural network will not show reliable results. The next step in creating a dataset (database) for training a neural network to solve the problem of quality control of tubular products is the annotation of data (images). To do this, you need to take a pre-created database, divided according to the previously described classification. Make sure that each image matches a specific category label.

The next step is to divide the database into a training, validation and test set. A training or training dataset is required to train the model; validation set is required to adjust the hyper-parameters and determine the accuracy of the model during training; test - to assess the accuracy of the model during training.

The next step is to prepare the images for training, namely: using the program code (preparator for the dataset), change the image size to 1250 x 250 pixels (for front images) and 250 x 250 pixels (for images from the middle) and translate all images into one .jpg format. Also at this stage, the argumentation of the data is carried out.

The next step is to load the database into the computer memory as batches to train the model. To do this, we will use the PyTorch library.

The final stage of preparing data for training is the final check of the settings made at the previous stages (checking the correspondence of the placement of photos to classes, the correspondence of the format and size of images).

In general, the use of neural networks to detect defects in production is a powerful tool that can help improve product quality, reduce costs and improve production efficiency.

Keywords: computer vision, automated production, quality control, neural networks.

References

- [1] Martin Mundt, Sagnik Majumder, Sreenivas Murali, Panagiotis Panetsos, Visvanathan Ramesh, “Meta-learning Convolutional Neural Architectures for Multi-target Concrete Defect Classification with the CONcrete DEfect BRidge IMage Dataset”, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1904.08486.
- [2] Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks” in *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 25, 2012. <https://papers.nips.cc/paper/2012/hash/c399862d3b9d6b76c8436e924a68c45b-Abstract.html>
- [3] N. Stelmakh, I. Mastenko, O. Sulima, & T. Rudyk, “Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality control”, *Інформатика, Автоматика, Поміряння в Господарстві І Охороні Środowiska*, 13(1), pp. 38-41, 2023. DOI: 10.35784/iapgos.3434

УДК 621.923

КРИХКЕ РУЙНУВАННЯ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЙОГО МІЦНОСТІ

Тимощенко О. О., Антонюк В. С.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: Alexey.tymoshchenko92@gmail.com, victor.antonjuk@gmail.com

Незважаючи на значні успіхи сучасних прогресивних видів виготовлення деталей конструкцій у різних галузях машинобудування, у тому числі і приладобудуванні, обробка різанням залишається дуже важливим технологічним процесом, а від її ефективності та надійності у великій мірі залежить як собівартість виробництва та якість виготовленої продукції, так і успішна її експлуатація у кінцевого споживача. У цьому процесі надважливу роль відіграє різальний інструмент – елемент технологічної системи, який безпосередньо виконує функцію обробки поверхні деталі [1, 2].

Тому забезпечення необхідного рівня працездатності та надійності різальний інструмент є першочерговим завданням на виробництві. З різних видів відмов різального інструменту, особливо виготовленого із твердих сплавів, дуже неприємним є крихке руйнування його різальної частини. Це пояснюється, насамперед, непередбачуваністю такого негативного явища (порівняно з відносно повільним процесом зносу), так і ускладненням фіксації

факту руйнувань, особливо на верстатах-автоматах та сучасних верстатах із ЧПК. А це може привести не тільки до виробничого браку оброблених деталей, але іноді і до виходу з ладу вузлів дорогоцінного обладнання (верстатів).

Також ця проблема ускладнюється практично повною відсутністю інженерних методів розрахунку умов появи крихкого руйнування, а експериментальні методи їх визначення є досить затратними.

В більшості наукових робіт, які присвячені дослідженням міцності та причинам руйнування різального інструменту, можна знайти непереконливі, суперечні а іноді хибні думки та висновки щодо цього питання. При цьому рекомендації по підвищенню міцності різальної частини тврдосплавного інструмента носять частковий характер.

Провести аналіз джерел інформації з питань крихкого руйнування (виробничих, експериментальних та науково-аналітичних), акцентуючи увагу на розрахункових методах, які спираються на відомі формули та прийоми з механіки (опору матеріалів) та використовують вихідні дані щодо впливу зміни різних факторів (геометрія різальної частини, режими різання тощо) на параметри процесу (головним чином, зусилля виникаючі при різанні).

Отже, метою роботи є вибір методики та проведення розрахунків впливу зміни різних факторів на міцність різального інструменту з метою встановлення причин, що викликають його руйнування. Це дозволить корегування параметрів процесу різання з метою підвищення міцності та надійності інструменту у конкретних виробничих умовах.

Крихке руйнування будь-якого конструктивного елемента пов'язується з рівнем розтягувальних напружень, які виникають у критичній (так званій “небезпечній”) зоні цього елемента.

У нашому випадку таким конструктивним елементом, що несе робоче навантаження у процесі різання, визнається різальна частина інструменту у вигляді клиноподібної балки.

Як встановлено за підсумками оптико-поляризаційних досліджень різального клина, зона розтягувальних напружень починається у кінці зони контакту передньої поверхні та стружки. Тобто, у районі вершини клину виникають тільки напруження стиску, які більш безпечні, ніж розтягувальні. Тому ця частина різального клину у цих дослідженнях не розглядається. А найбільший рівень розтягувальних напружень виникає у зоні передньої поверхні на відстані, що 2...3 рази перевищує довжину зони контакту.

Тому саме цю зону слід вважати небезпечною і в цій зоні найчастіше спостерігаються явища крихкого руйнування (розміри відламанної частини різального клину у разі перевищує розмір зони контакту).

Залежність для розрахунків рівня напружень на передній поверхні різального клину була запропонована А. І. Бетанелі [2].

Ця залежність чітко розроблена на основі законів механіки з використанням відомого у опорі матеріалів принципу Сен - Венана (заміна фактично діючого

розподіленого контактного навантаження на зосереджене зусилля, яке дорівнює рівнодіючій силі різання і діє на вершину різального клину.

З метою полегшення виконання розрахунків застосовано більш зручний варіант формули А. І. Бетанелі (перетворена формула) [3].

За її допомогою проведені розрахунки що показують залежність рівня напружень що виникають у небезпечній зоні від зміни таких факторів:

- значення переднього та заднього кутів різального клину;
- радіусу округлення різальної кромки;
- товщини зрізу (подачі);
- процесу врізання в умовах переривчатого різання;
- наявності зносостійкого покриття.

На рисунку 1 показана принципова схема крихкого руйнування (а). вихідні дані (б) по зміні значень складових сили різання [4] та приклад розрахунку рівня напружень (в) який виникає у небезпечній зоні інструменту [5]

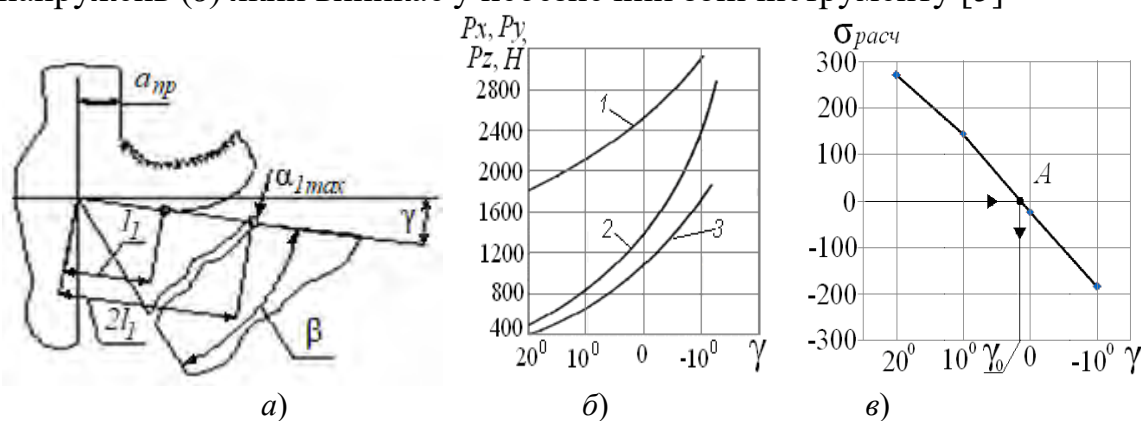


Рис. 1. Принципова схема крихкого руйнування (а); залежність складових сили різання (б); приклад розрахунку рівня напружень різального клину (в).

Як можна бачити розрахунковий рівень напружень (в) досить різко знижується, незважаючи на значне збільшення сил різання (б). Це більш переконливо пояснює відоме явище, чому при зміні значення переднього кута міцність інструменту зростає.

Такі розрахунки також дозволяють визначити оптимальні значення переднього кута. Згідно з висновком В. А. Остафьева [6] найбільш сприятливими (ідеальними) з точки зору міцності є умови нульового рівня напружень на передній поверхні різального клину за зоною контакту (рис. 2, в).

Приведений аналіз показав що вирішальним фактором визначення рівня напружень в різальній частині інструмента є зміна напрямку вектору дії сили різання.

При цьому навіть незначна зміна напрямку дії сили P приводить до перерозподілу складових сил стиску $P_{ст}$ і згину $P_{зг}$. Це визиває не тільки змінену величин виникаючих напружень, але, і до зміни знаку напружень.

Запропонована методика розрахунку напружень, що виникають в небезпечній зоні різальної частини інструмента, дозволяє отримати кількісне пояснення впливу зміни зовнішніх факторів на міцність інструмента, а також

встановити раціональні, за критерієм міцності, параметри його різальної частини.

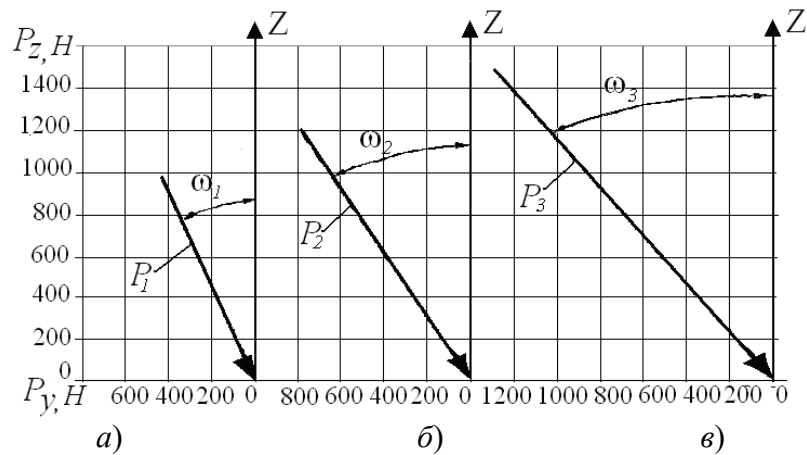


Рис. 2. Схеми дії сили різання P при різних радіусах закруглення різальної кромки: $\rho = 50$ мкм (а); $\rho = 100$ мкм (б); $\rho = 150$ мкм (в).

Ключові слова: міцність ріжучої частини, крихке руйнування, твердосплавний інструмент, напруги, що розтягують, геометричні параметри

Література

- [1] Т. Н. Лоладзе, *Прочность и износостойкость режущего инструмента*, Москва, СССР: Машиностроение, 1982.
- [2] А. И. Бетанели, *Прочность и надежность режущего инструмента* [Текст]: научное издание, Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1973.
- [3] Н. Я. Єльченко, В. Е. Ковтуненко, Л. А. Петрусенко, “Об особенностях напряжённого состояния режущей части инструмента при прерывистом резании”, в *Резание и инструмент*: сб. ст. Харьков, № 22, с.72-77, 1979.
- [4] Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко [и др.] *Основы теории резания материалов*: учебник [для высш. учебн. заведений], Н. П. Мазура и А. И. Грабченко, Ред. 2-е изд., перераб. и доп. Харьков, Украина: НТУ «ХПИ», 2013.
- [5] В. С. Антонюк, Л. А. Петрусенко, “Влияние условий резания на напряжения в опасной зоне режущего инструмента”, *Вісник Житомирського Державного Технічного Університету Серія: Технічні науки*, № 2 (80), с. 10–16, 2017.
- [6] В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, С. П. Выслоух [и др.], *Физические основы процесса резания*, В. А. Остафьева, Ред. Киев, Украина: Вища школа, 1976.

УДК 621.865.8

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОБОТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ

Заєць С. С.

Національний технічний університет України

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

E-mail: zsryp0204@gmail.com

В реаліях сьогодення стає все більша необхідність застосування промислових роботів (ПР) для виконання складальних робіт різної складності.

До такого стану в промисловості призвели, необхідність у випуску великої кількості виробів для потреб Збройних Сил України, а також у відсутності достатньої кількості робітників, що могли виконувати дану роботу на підприємстві.

ПР, які широко застосовуються на різноманітних підприємства нашої країни, мають вузький профіль застосування, й конструкції які морально застаріли. Для застосування нових технологій в виробництві необхідно застосовувати нове обладнання яке здатне виконувати данні технологічні операції. В основному ПР застосовують при обробці деталей, нанесення різноманітних видів покриття і складанні деталей з різноманітним видом з'єднання.

Не зважаючи на точність з якою працює ПР і терміном його використання при роботі все рівно відбувається похибка виконання операції. Для того, щоб відкоригувати дії механізмів роботів застосовують різноманітні методи корекції. Одного чи декількох способів корекції деталей при автоматизованого складанні не існує, тому в залежності від виду виробництва і габаритних розмірів деталей, що складаються, використовую різноманітні способи й механізми складання. Кожен з цих методів і механізмів має свої переваги і недоліки, тому постійно проводиться розробка нових методів і конструкцій приладів. Статистичної оцінки результатів моделювання. Тоді здійснюється методом статистичного моделювання.

В залежності від специфіки виробництва тій чи іншій країні світу розвиток конструкцій ПР зазнає певних змін. В сполучених штатах Америки використовують роботи в більшості в машинобудуванні при складанні автомобілів, і на виробництвах з вузьким профілем їх використання. В країнах Азії широке застосування знайшли універсальні ПР, які легко переналагоджуються на новий тип продукції і можуть виконувати більше різноманітних функцій. В Європі з її різноманітними промисловими центрами знайшли застосування обидва метода використання роботів, лідерами в їх використанні в Європі є: Німеччина, Франція, Великобританія, Данія, і інші країни. В Україні впровадження робото технічних технологій проводиться повільніше ніж у всьому світі, тому однією з головних умов відбудови промисловості нашої держави є впровадження промислових роботів в різні галузі народного господарства, це дозволить значно підвищити рівень якості праці і темпів розвитку [5].

Досліджуючи найбільш ефективні і відомі в приладобудуванні і машинобудуванні конструкції пристроїв, що реалізують деякі з описаних методів з'єднання об'єктів прецизійного складання.

Пристроєм пасивної корекції відносно положення деталей, що складаються, характерно мати пружних елементів, який здійснює кінематичний зв'язок між захватом й органом маніпулятора промислового робота (ПР). Елементи піддатливості розміщуються в кісті ПР й виконують функцію компенсуючої ланки кінематичного ланцюга захвату-маніпулятора.

Компенсацію неточності взаємної орієнтації деталей можливо здійснювати пасивною або активною корекцією положення об'єктів складання. В залежності від умов жорсткого базування, при якому активними силами впливу на деталь є складальні зусилля F й сила тяжіння mg (де: m – маса приєднувальної деталі; g – прискорення вільного падіння), умови пружного базування характеризуються додатковим впливом на складальні компоненти пружною силою j_x або моментом $M(j_x)$ сил (де j - жорсткість пружних елементів; x – координата зміщення), сприяючих умовам складання і дозволяючи розширити область допустимих початкових зміщень об'єктів складання. При цьому необхідно, щоб піддатливість елементів значно перевищувала сумарну піддатливість руки маніпулятора, тобто відповідно $\lambda_1 \geq \lambda_2$ [1].

Разом з тим, метод пасивної корекції, прикладом реалізації якого є пружне базування деталей, допустимих при умові, якщо неузгодженість об'єктів складання не перевищує розмірів направляючих конструктивних елементів деталей (фасок, та інше). Незважаючи на це, навіть в цьому випадку не може бути гарантовано 100% складання деталей в наслідок можливості їх відносного перекоосу й заклинювання. Тому для складання прецензійних з'єднань пружне базування застосовують тільки в поєднанні з одним з методів активної корекції відносно положення складальних компонентів [2].

Ці методи розділяються на дві основні групи: пошукові й адаптивні. Прикладом стохастичного пошуку є орієнтування деталей за допомогою обертаючого потоку газів. метод оснований на газодинамічних процесах, що відбуваються у обертаючому потоку газів й впливаючи на деталі, що складаються, розміщені в цьому потоці [3]. В наслідок чого відбувається суміщення з'єднувальної й базової деталей відповідних мас $m \leq m_i$ під дією центробіжної сил $F(t)$, створюючи обертовий момент. Даний метод дозволяє здійснити складання циліндричних, різьбових, шпоночних й шліцьових з'єднань, забезпечує при цьому високу продуктивність складання в умовах масового виробництва. Але обмеження, що накладаються типорозмірами деталей на параметри газодинамічної труби, не дозволяє в повній мірі ефективно використовувати цей метод в умовах мало серійного виробництва, що характеризується широкою номенклатурою з'єднань не тільки по виду, а й по типорозмірам деталей, що складають.

Другим ефективним методом активної корекції відносного положення об'єктів складання є траєкторний авто пошук. Суть цього методу полягає в тому, що з з'єднувальних деталей (іноді обома) при пружнім базуванні сповіщають переміщення по заданій траєкторії, тобто проходить пошук, сканування області неузгодженості об'єктів складання, кінцевою метою якого є компенсація похибки відносної орієнтації й суміщення контурів чи геометричних осей з'єднувальних поверхонь.

Параметри траєкторії – амплітуда a_i й крок s_i пошуку залежать від величини похибки орієнтації, точності з'єднань, допустимого зміщення й етапу з'єднувальних об'єктів складання. Активними силами є рушійна сила пошуку

$F(t)$, що є функцією часу й змінюється по періодичному закону, складальні зусилля P , а також пружною силою j_x базових елементів, характеризується їх жорсткістю й величиною деформації при суміщенні по відповідній координатній вісі [2, 3].

Дослідження процесу складання деталей за допомогою авто пошуку й створенню функціональних пристроїв складальних автоматів, реалізуючи даний метод, присвячено багато робіт [4,5].

В основу запропонованого методу поставлено задачу підвищення точності й швидкості автоматизованого складання деталей типу вал – втулка. Розроблений спосіб маніпулювання реалізується шляхом того, що деталь типу втулка закріплюється нерухомо, і орієнтується на поверхні за допомогою заживних пристроїв, а вал орієнтують в захваті за допомогою захватних пристроїв. Вал розміщений в захваті транспортують в зону складання маніпулятором промислового робота, піджимають до робочої поверхні втулки й задають йому пошуковий рух, при після здійснення кожного пошукового руху реєструють зменшення зусиль підтискання при збігу з'єднувальних поверхонь, при не поєднанні осей з'єднувальних деталей проводять повторно авто пошукові рухи до того часу поки не відбудеться повне поєднання осей деталей, що з'єднуються.

Поставлена задача досягається тим, що складання деталей типу вал – втулка, при нерухомому закріпленні деталі типу втулка вал орієнтують за допомогою захватних пристроїв, транспортують в зону складання, підтикають до робочої поверхні втулки й задають закон пошукового руху з максимальною амплітудою, фіксують дотик з'єднувальних деталей, змінюють амплітуду, проводять корекцію положення деталей одна відносно іншої. Після проведення процесу корекції повторно задають пошуковий рух, але з меншою амплітудою коливань, далі задають переміщення по осі з'єднання, якщо спів падіння осей не відбулося і процес складання провести не можливо проводиться повторна корекція положення деталі і проведення авто пошукових рухів до тих пір поки не відбудеться повний збіг осей деталей, після чого проводять остаточне з'єднання.

Виконання способу маніпулювання можливе із-за конструктивних особливостей захвату з авто пошуковим модулем. Особливістю є використання в конструкції п'єзоелементів. За вдяки фізичним особливостям п'єзоелементів можливо виконувати різноманітні авто пошукові рухи.

В залежності від умов складання на п'єзоелемента задається різноманітний по амплітуді електричний сигнал, що приводить до змінення форми п'єзоелемента, він може, як збільшитися так і зменшитись. Використовуючи властивості п'єзо елемента задають закон пошукового руху з максимальною амплітудою.

Після проведення авто пошукових рухів реєструють зменшення зусиль підтискання при збігу з'єднувальних поверхонь, змінюють амплітуду

пошукових рухів, задають переміщення по осі з'єднання, і проводять процес складання деталей типу вал - втулка при мінімальному значенні амплітуди.

Для використання того чи іншого способу маніпулювання на виробництві чи дослідницьких цілях необхідно застосовувати захвати з авто пошуковими модулями. В світі є багато різноманітних конструкцій захватів в залежності від виду виробництва умов складання і призначення захвату, вони мають різне призначення. Для здійснення розробленого методу маніпулювання необхідно використовувати захват з авто пошуковим модулем. Так як для здійснення методу вже розробленого захвату не було знайдено, тому було проведено розробку нового захвату з авто пошуковим модулем для виконання розробленого способу маніпулювання.

Запропонований спосіб маніпулювання при складанні деталей типу вал втулка, дозволяє підвищити якість складання зменшити затрати часу на пошукові дії маніпулятором, зменшити машинний час, збільшити продуктивність, а також збільшити можливості застосування в різних умовах і на різних видах виробництва від штучного до масового виробництва.

Ключові слова: автоматизоване складання, метод пасивної корекції, метод активної корекції, промисловий робот.

Література

- [1] А. А. Гусев, Адаптивные устройства сборочных машин. Москва, СССР: Машиностроение, с. 25-34, 1979.
- [2] Л. С. Ямпольский, О. Н. Калін, М. М. Ткач, Гнучкі автоматизовані виробничі системи. Київ: Техніка, с. 42-76, 1985.
- [3] А. В. Воронин, Д. М. Левчук, Автоматическая сборка соединений с зазором во вращающемся потоке газов. Москва, СССР: Машиностроение, с. 54-67, 1976.
- [4] В. Н. Давигора, *Автопошукові модулі багато номенклатурних складальних машин*. Київ: Знання, с. 22-46, 1981.
- [5] С. С. Заєць, Н. С. Строкань, В. В. Шевченко, “Автоматизована система підвищення точності роботизованого складання”, на *XVI Всеукраїнській наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні*, Київ, 2020, с. 79-82.