

СЕКЦІЯ 3
КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
ПРИЛАДІВ

UDC 621.643.03

**QUALITY CONTROL OF WELL-BONDED COUPLING FITTING ONTO
HIGH PRESSURE GAS-MAIN PIPELINES**

Grigoriy S. Tymchik, Oleksandr O. Podolian

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

E-mail: a.podolian@i.ua

During repairing of linear and curved sections of active high pressure *main* pipelines as well as their transfer to a higher category is widely used a method of increasing the strength of the pipes. It is related with the installation of the amplified plot of pipe couplings of various designs [1, 2, 3]. The most wide distribution have received couplings with a under coupling space that it is filled during the time renovations of the self-hardening substance, which allows for the reinforcement of sections of pipelines without changing modes of transportation the product [1, 2, 3]. Commonly, the coupling is compiled of multiple technological elements, most important of which are two half-shells that are centered on the pipe and fastened to each other by known methods, for example, welded longitudinal seams. Thereafter, the ends of the sheath are sealed and the space between the pipe and shell is filling up with self-hardening substance. The availability of the under coupling layer allows to reduce Hoop stresses in the pipe by referring a portion of the load on the outer shell. In General, the efficiency of the repair depends on its strength parameters. For repairing pipes of small and medium diameters is developed technology based on using for the formation of an under coupling layer of molten metal that has a high modulus of elasticity. However, due to the complexity of creating the required pressure in the under coupling space, technology requires improvement [4].

The purpose of this studies is to improve the technology of reinforcing sections of main high-pressure pipeline with welded couplings, which are filled with molten metal by allowing to obtain high efficiency of strengthening pipes of medium and small diameters [4, 5, 6, 11].

One way to increase the efficiency of strengthening pipes with small and medium diameters is to use molten metal that have a relatively low melting point, for example, lead, tin or their alloys, to form a under coupling layer [4].

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) [5, 7, 10]. 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.

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.

Further researches would be performed in the direction of developing a mathematical model of the pipeline that is reinforced braze-welded coupling, taking into account temperature changes during heating and cooling of the coupling structures at formation of the under coupling layer. Moreover, it is directed to improve the coupling structures and methods of quality control of their mounting on the pipe [7, 8, 9, 10].

Keywords: technology, coupling, nondestructive, control, diagnostics, repair, gas pipeline, pipeline, pressure, gas, transit.

References

- [1] Bekker M. V. *Repair of gas-main pipelines under pressure*. Kyiv, Ukraine, 2008. (in Ukrainian)
- [2] *Gas-main pipelines, arc welding repair in operating conditions*. Ukrainian Standard GBN V.3.1-00013741-12:2011, 2011. (in Ukrainian)
- [3] *Technological instruction for the repair of pressure gas mains pipelines with the use of arc welding*. DK "Ukrtransgas", 2000. (in Ukrainian)
- [4] O. O. Podolian, and G. S. Tymchik, *Quality control of coupling fitting onto gas-main pipelines: monograph*. Kyiv, Ukraine : National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2020. (in Ukrainian).
- [5] G. S. Tymchik, O. O. Podolian, and K. S. Serhiienko, “Testing technology of the undercoupling space filling of coupling on the main pipeline”, *Mechatronics*, vol. II, London, GB: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 2020.
- [6] Tymchik, G.S. et al., “*Quality control system of well-bonded coupling fitting onto high pressure gas-main pipelines*”, In: Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 108085A, 2018. DOI: 10.1117/12.2501594.
- [7] A.A. Podolian, “Pipeline link strengthening method using solder-welded joints”, RF Patent 2563945, Sept. 27, 2015 (in Russian)
- [8] I.V. Oryniak et al., “Method for repair of operating pipeline by means of couplings with inner filling”, UA Patent 98440, May 10, 2012 (in Ukrainian)
- [9] A.A. Podolian et al., “Method for reinforcement of a pipeline by means of couplings with inner filling with control of quality of works (variants)”, UA Patent 98601, May 25, 2012 (in Ukrainian).
- [10] A.A. Podolian, “ Pipeline link strengthening method using solder-welded joints ”, UA Patent 110155, Nov. 25, 2015 (in Ukrainian).

[11] Tymchik G.S., Podolian A.A., “Monitoring system data processing algorithm of weld-bonded coupling installation of the main pipelines”, *Devices and Methods of Measurements*, , vol. 8, no. 1, pp. 63-67, 2014. (in Russian)

УДК 658.512:621.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИРОБІВ

Філіппова М. В., Фіногенов О. Д.

Національний технічний університет України

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

E-mail: m.filippova@kpi.ua, fenyaad@gmail.com

Сучасні умови виробництва характеризуються підвищенням вимог до якості виробів, скорочення тривалості циклу виробництва, значну частину якого займає технологічна підготовка складального виробництва й розроблення технологічних процесів складання. Одночасно підвищується складність виробів, за рахунок використання мало жорстких деталей з метою зниження матеріалоемності та зменшення маси конструкції виробу.

При цьому, якщо автоматизація виробничих процесів складання розвивається достатньо активно, то технології, які використовуються на підприємствах, мають суто суб'єктивний характер та повністю залежать від рівня підготовки технолога. До задач технологічної підготовки механоскладального виробництва відноситься розроблення оптимального технологічного процесу, який містить наступні етапи: визначення складальних баз; розроблення схеми базування; вибір методу складання.

Виконання вище наведених етапів не можливе без проведення конструктивно-технологічного аналізу виробу, де виріб представляється системою, що складається, з множини взаємопов'язаних елементів, які виступають як єдине ціле. У зв'язку з цим до категорії системних відносяться не всі об'єкти проектування, а тільки ті, які мають цілісність. Властивості та функції таких систем не зводяться безпосередньо до функції та властивостям елементів, з яких вони складаються. Тільки правильно складений виріб є системою. Він має принципово нові функцію та властивості, яких немає в окремих деталях. Відношення характеризують зв'язки між елементами та їх властивостями, за допомогою яких об'єднуються в систему, яка функціонує як ціле.

На початку конструктивно-технологічного аналізу виробів необхідно мати уявлення про загальну структуру інформації, яку використовують при проектуванні, та вигляд моделей, що формалізують конструкцію цих виробів [1].

Вважається, що будь-яка інформаційна структура є реляційною системою $W = \langle X, R \rangle$, де X - множина об'єктів конструкції виробу, R - предикат, визначений на множині X , що задає властивості або взаємозв'язки об'єктів. Ця

модель W може бути визначена, як набір типів відношень R_i , де $i = 1, 2, \dots, n$ кількість наборів типів відношень, під якими розуміють множину відношень даного ступеню на можливих носіях (деталі, складальні одиниці тощо), що задовольняє визначеним обмеженням. Такими обмеженнями тут є формули мови розрахунку предикатів. Основним елементом моделі опису елемента конструкції є набір даних, тобто поняття та імена, що складаються з власника набору (ім'я елементів конструкції) та одного або декількох членів набору (тип елемента, поверхня зв'язку тощо). Як власник, так і кожен з членів набору представляють собою запис, що складається з ім'ям запису, що його ідентифікує, та полів запису, що визначають властивості об'єкту. Кожен такий набір даних має власне ім'я [2].

Нехай X - кінцева множина базових понять графічних образів, елементами якого є структуровані поняття підмножини, а саме: E - елемент конструкції; T - тип конструкції; P - поверхня зв'язку. В той же час поверхні зв'язку класифіковані як структурні види: Z - з'єднання; B - базування; C - спряження, K - конструктивно-технологічні види контролю.

Визначимо універсальну множину R , що складається з усіх можливих відношень для мови графічних образів елементів конструкції виробу, які використовуються при конструюванні у трьохвимірному вигляді.

Введемо множину I , яка є словником імен елементів конструкції, що утворює елементарні графічні конструктивно-технологічні деталі (ЕГКТД). При цьому ЕГКТД класифіковані за типами та геометричними закономірностями формоутворення їх поверхонь. Таким чином просто встановлюється зв'язок між описом поверхонь і вибором методів їх отримання, а також складання деталей як у тривимірному, так і у двовимірному вигляді при відтворенні на кресленні.

Більшість поверхонь у елементах конструкції можуть бути отримані переміщенням первісної у просторі по визначеному закону. Так, для класу плоских поверхонь у якості первісної буде пряма лінія, а для поверхонь обертання – коло.

В основу класифікаційного словника ЕГКТД закладені як геометричні параметри, що визначають закони формоутворення поверхні, так і конструктивно-технологічні ознаки, що характеризують поверхні згідно з призначенням та згідно з технологією їх обробки, а також складання деталей у єдину конструкцію.

Нехай множина P є сукупністю рішень, що складається з кінцевого числа допустимих рішень. Тоді множини X та P залежать від розв'язуваної технологічної задачі. Множини I та R можна вважати універсальними та незалежними від конкретної задачі. Сукупність X, P, I, R створює основу мови конструювання, яка є базовою, а її елементами є базові поняття, відношення, імена та базові рішення.

Елементи, що $E_j \in E$, можуть знаходитися у відношеннях відносно один до одного, які описуються елементами множини R , наприклад E_j, R_i, E_s , та у відношенні з елементами множини $I_k \in I$, наприклад E_j, R_i, I_k . Ці відношення встановлюють зв'язок між класифікацією ЕГКТД та класифікацією елементів конструкції виробу, який проектується.

Запропоновані мова опису виробу та узагальнена модель його конструкції дозволяють формалізувати процес природного (тривимірного) складання при проектуванні конструкцій складальних одиниць та виробів і виконати моделювання їх процесу складання на етапі конструкторського проектування.

Ключові слова: складання, технологічний процес, моделювання.

Література

- [1] С. П. Вислоух, М. В. Філіппова «Методика автоматизованого проектування технології складання виробів приладобудування», *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Машинобудування»*. № 32, с. 111–117, 2006.
- [2] С. П. Вислоух, М. В. Філіппова, «Інформаційні основи проектування технології механоскладальних робіт», *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, № 28, с.167-169, 2005.

УДК 621.9.02

ЛИНЕЙНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ САЕ СИСТЕМОЙ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКОВ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Леценко А. И.

Приазовский государственный технический университет, Мариуполь, Украина

E-mail: aLeshenko1954@gmail.com

В последнее время в системах машиностроительных предприятий находят все более широкое применение датчики контроля различного типа - деформаций, вибрации, остаточных напряжений в механических конструкциях, линейного или углового положения элементов вспомогательных механизмов технологического потока. Если ранее для решения задач такого типа требовались специалисты системотехники, умеющие программировать на ассемблере и изготавливать многослойные печатные платы электронных блоков, то в настоящее время все в значительной степени упростилось благодаря проекту Arduino. Электронный конструктор и удобная платформа Arduino позволяет управлять объектами или принимать информацию об их реальном состоянии, при минимальных знаниях теоретического материала в области микропроцессорной техники и разработки коммутационных алгоритмов с портами, реализованных на языках высокого уровня.

Вместе с тем, существует ряд нормируемых параметров в сочетании микропроцессорных систем и механизмов упругих элементов датчиков, посредством которых выполняется трансформация их деформации в соответствующий выходной сигнал, удобный для дальнейшей обработки. К

таким параметрам можна соотнести полосу пропускания частот, в котором датчик имеет линейную выходную характеристику как отклик на входной сигнал; разрешающую способность, тесно связанную с порогом чувствительности и шириной зоны нечувствительности; быстродействие, характеризующее постоянную времени, за которую выходное значение достигнет 0,63 от установившегося.

Рассмотрим в цепи малых перемещений работу датчика (рис. 1) класса 3, имеющего до 3000 поверочных интервалов и для которого стендовые испытания показали комбинированную погрешность не более 0.2 %.



Рис. 1. Датчик малых перемещений

Основой 3D модели датчика (рис. 2), как и его физического прототипа, является единая пластина, в которой вырезана упругая консоль и неподвижная рамка. В месте их соединения размещены тензометрические элементы. Консоль специальной формы, «лепестки» которой скреплены планкой повышающей крутильную жесткость.

Обработка деталей, имеющих сложно-профильные поверхности, как правило, осуществляется концевыми сферическими фрезами, при этом силовые зависимости процесса обусловлены рядом особенностей конструкции данного инструмента и изменением активной части режущей кромки в зависимости от кривизны обрабатываемой поверхности. Такие условия резания приводят к динамически изменяющемуся суммарному контактному давлению, действующему со стороны режущего клина на обрабатываемую поверхность заготовки. Рядом исследований установлено, что в случае увеличения толщины среза сила резания увеличивается по экспоненциальному закону на временном интервале стружкообразования τ . Поэтому в качестве входных данных системы выбираем детерминированное силовое возмущение, подчиненное закону изменения модальной временной диаграмме (рис. 2, а) экспоненциального типа 1, определяющей ее частотные и динамические свойства.

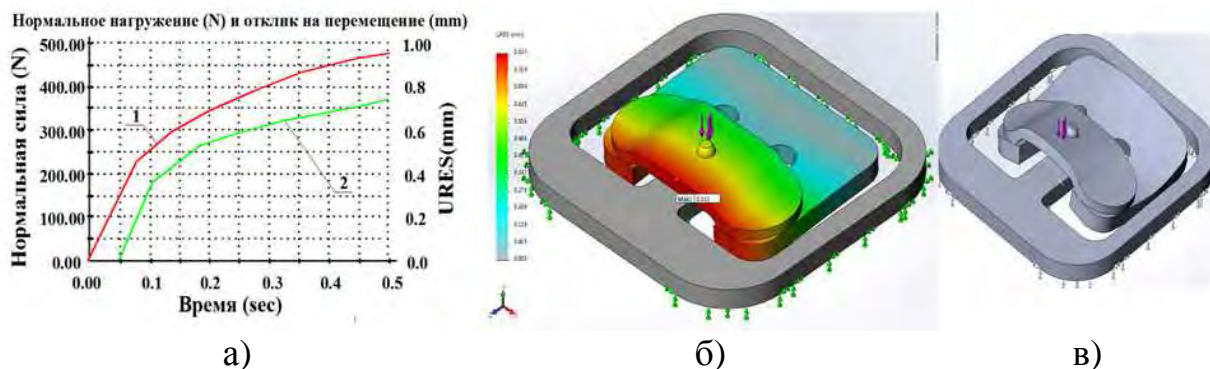


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние датчика под действием динамических нагрузок

Для более точной оценки реакции модели «датчик-нагрузка» выбираем с учетом эксплуатационных испытаний датчика коэффициент модального демпфирования 0.1.

Целью данного локального линейного динамического исследования является моделирование САЕ системой напряженно-деформированного состояния датчика под действием динамических нагрузок, что позволяет получить расчетно-графическое представление его выходных характеристик.

В результате проведенного линейного динамического анализа была получена эпюра перемещений, которая показала, что прогиб (max 0.74 мм) чувствительного элемента датчика не выходит за пределы упругой деформации (рис. 2, б). Динамические исследования базируются на анализе собственных частот объекта и ассоциированной с ним формы колебаний. Эпюра колебаний (рис. 2, в) при собственной частоте датчика, ее форма показывает отсутствие потери устойчивости. Эпюра отклика 2 на перемещение (рис. 2, а) показывает некоторое запаздывание реакции на силовое возмущение, однако в целом сохраняется соответствие в нормируемых пределах значению, поступающему на вход датчика. Таким образом, подтверждены конструктивные параметры механизма измерений малых перемещений, соизмеримых с упругими деформациями.

Ключевые слова: датчики малых перемещений, линейное динамическое исследование, эпюры колебаний и отклика.

УДК 621.865.8

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПРЕЦИЗІЙНОГО СКЛАДАННЯ

Заець С. С.

Національний технічний університет України

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

E-mail: zss_vp@bigmir.net

В сучасних системах прецизійного складання з використанням промислових роботів розвивається двома основними напрямками конструювання автоматизованих систем. Перше з них пов'язане з розробкою спеціалізованих роботів, призначених для оснащення технологічного оснащення визначеної групи й виконують технологічні операції одного виду, й спеціальних, призначених для оснащення технологічного обладнання конкретної моделі й виконують визначені технологічні операції. Такі роботи мають, як відомо, не велику кількість ступенів рухомості, високі показники швидкості дії, точності і надійності. Але змога їх застосування при зміні параметрів технологічного процесу обмежена.

Другий напрямок складається в розробці багатofункціональних, універсальних промислових роботів, які можуть використовуватися в широкому діапазоні змін параметрів технологічного процесу і в різних процесах. Ці

роботи володіють великим числом ступенів рухомості, але забезпечити в них високу точність і надійність дуже складно, а також вони потребують великих затрат при виготовленні. Крім цього, дуже часто на конкретних операціях використовуються для руху не всі ступені рухомості.

Ці протиріччя можуть бути вирішені, якщо застосувати *агрегатно-модульний* принцип будови роботів – конструювання з типових вузлів і модулів. Роботи цього типу не мають надлишок на конкретних операціях і в той же час універсальні. Недоліки агрегатно-модульних роботів в порівнянні з універсальними при великій кількості ступенів рухомості – підвищення маси і зниження жорсткості.

Методи поєднання складальних компонентів розглянемо на прикладах складання циліндричних з'єднань, тому, що такі з'єднання мають перевагу в виробках приладобудування і дозволяють охопити більш широкий, чим інші вид з'єднань, коло методів їх виконання в автоматичному режимі.

Компенсацію неточності взаємної орієнтації деталей можливо здійснювати пасивною або активною корекцією положення об'єктів складання. В державних стандартах приведені види силового впливу на об'єкти складання в процесі їх з'єднання, а також умови реалізації методів корекції і меж їх використання, визначаємо квалітет точності циліндричних з'єднань стандарту СТ СЭВ 145-75. Ці обмеження прийняті з урахуванням точності позиціонування серійно виготовляють й використовують в виробництві промислових роботів.

В залежності від умов жорсткого базування, при якому активними силами впливу на деталь є складальні зусилля F й сила тяжіння mg (де m – маса приєднуваної 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, тощо). Незважаючи на це, навіть в цьому випадку не може бути гарантовано 100 % складання деталей в наслідок можливості їх відносного перекосу й заклинювання. Тому для складання прецизійних з'єднань пружне базування застосовують тільки в поєднанні з одним з методів активної корекції відносно положення складальних компонентів [2-4].

В приладобудуванні, при проведенні корекції під час автоматизованого складання прецизійних деталей за допомогою промислових роботів використовують різноманітні способи маніпулювання деталей. За допомогою

даних способів проводять авто пошукові дії, корекцію положення деталей одна відносно іншої. Для різних видів виробництва застосовують різні способи маніпулювання, залежно від точності складання, часу, який витрачається на проведення даних дій. Для того, щоб прискорити і вдосконалити процес авто пошуку, розроблюється новий метод маніпулювання для роботизованого складання деталей типу вал - втулка.

В основу запропонованої системи автоматизованого складання прецизійних деталей 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 затискних 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, після здійснення кожного пошукового руху реєструють зменшення зусиль підтискання при збігу з'єднувальних поверхонь, при непоєднанні осей з'єднувальних деталей проводять повторно авто пошукові рухи до того часу, поки не відбудеться повне поєднання осей деталей, що з'єднуються [1, 4, 5].

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, підтискають 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 співпадіння осей не відбулося, і процес складання провести неможливо, проводиться повторна корекція положення деталі і проведення авто пошукових рухів доти, доки не відбудеться повний збіг осей деталей, після чого проводять остаточне з'єднання.

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

Залежно від умов складання на п'єзоелементі задається різноманітний по амплітуді електричний сигнал, що призводить до зміни форми п'єзоелемента, він може, як збільшитися, так і зменшитись. Використовуючи властивості п'єзоелемента, 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.

Запропонований спосіб автоматизованого складання прецизійних деталей, 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: автоматизована система складання, прецизійні деталі, модуль автопошукові дії.

Література

- [1] С. С. Заєць, Н. С. Строкань, В. В. Шевченко, «Автоматизована система підвищення точності роботизованого складання», на XVI Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених *Ефективність та Автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні*, Київ, 2020.
- [2] Л. С. Ямпольський, О. Н. Калін, М. М. Ткач, *Гнучкі автоматизовані виробничі системи*. Київ: Техніка, 1985.
- [3] Л. С. Ямпольський, Е. Г. Вайсман, *Промислова робототехніка*. Київ: Техніка, 1984.
- [4] Л. С. Ямпольський, М. Н. Поліщук, *Оптимізація технологічних процесів в гнучких виробничих системах*. Київ: Техніка, 1988.
- [5] М. С. Лебедевский, А. И. Федотов, В. Л. Вейц, *Научные основы автоматической сборки*. Ленинград, СССР: Машиностроение, 1985.

UDC 621.91:519.23.

MULTIDIMENSIONAL STATISTICAL ANALYSIS OF INFORMATION IN THE PROBLEMS OF INSTRUMENT-MAKING PRODUCTION

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 instrument-making production is multi-series, multi-nomenclature with frequent product changes, characterized by increased design complexity, a large number of original and unique design solutions, the implementation of which is accompanied by high requirements for quality, reliability and resource products. At the same time, the requirements for reducing the time for development of technology for producing products in an automated mode have increased. The most important means of intensifying production is the automation of technology design, based on the formalization of all technological problems. Formalization of any task should begin with the analysis of technological information's large arrays. The number of parameters and indicators that characterize an individual object can be several tens, and sometimes hundreds or even thousands. In such situations, it is necessary to significantly reduce the dimension of the same space, ie to move from the initial set of indicators to a smaller number of auxiliary variables, which could reproduce the necessary properties of the researched object. When automating the production's technological preparation, it is often necessary to group the processed and tool materials, parts, assembly units and the corresponding technological processes of

their manufacture. The division of a set of various objects or phenomena into homogeneous (in some sense) groups is realized as a result of solving classification problems, which is closely related to such concepts as grouping, typology, systematization, discrimination and clustering. These tasks are one of the main in the practical and scientific activities of the engineer.

The theoretical basis of multidimensional statistical analysis for solving various problems are given in [1–4]. But these works do not have the features to practical use of methods in solving engineering problems.

The need to use the methods of multidimensional statistical analysis, namely the methods of pattern recognition is associated with the solution of energy saving national problems, tooling and processing materials. In addition, the use of image recognition methods in solving problems of production’s technological preparation will reduce the time of production’s technological preparation and improve the quality of technological development documentation.

The purpose and task of research. In the previous works of the authors [5–7] the possibilities of using image recognition methods, namely methods of cluster and discriminant analysis, in solving technological problems are considered. Therefore, this work is a logical continuation of previously performed research aimed at the systematic, multi-purpose use of image recognition methods in the technological preparation of production.

The purpose of the research is to systematically assess the feasibility of multidimensional statistical analysis and determine the appropriate the most effective using these methods to solve problems of production’s technological preparation and determine the problems’ range using methods to reduce dimensionality, classification and pattern recognition: Therefore, the task is to select and justify the feasibility of using certain methods of multidimensional statistical analysis to solve technological problems. In addition, a set of tasks for production’s technological preparation is determined, which can be effectively solved with the help of image recognition methods.

Research results. The analysis of many problems in instrument-making production and multidimensional statistical methods of dimensionality reduction, classification and images’ recognition allowed to establish their application’s expediency for the following technological problems’ decision:

- to determine from a set of features of the structural material, including chemical composition, structure, physical and mechanical properties, etc. parameters that significantly affect its technological characteristics;
- to classify structural materials into homogeneous groups according to the commonality of their technological characteristics on the basis of chemical composition, structure and physical and mechanical parameters;
- according to the given characteristics and parameters of the studied structural material to find the technological group (cluster) to which it belongs, and in the selected group to find the analogue material. Then this material can be used to replace the studied material, which is similar to it in a set of different properties;

- according to the given characteristics and parameters of the new investigated structural material to determine the technological group to which it belongs, the conditions and methods of processing materials for this group to use for the new material;

- all parts manufactured at the enterprise can be classified according to a set of design and technological features. Every detail in the company's database is matched to the technology of its manufacture. By identifying a new part on a set of structural and technical features, to determine the analogous part, the technological process of its producing will be the basis for creating a technological process of producing a new part.

The use of information compression's methods, classification and pattern recognition can greatly simplify the solution of many problems for production's technological preparation by reducing the feature space, reducing the amount of processed information, grouping objects by a set of design and technological features and search for analogues, reduce solution time various technological tasks, as well as to improve the quality of the obtained solutions.

The proposed methods of multidimensional statistical analysis should be used in the rationing of technological processes for the details' production and assembly of devices and machines, in the new standards' development for cutting modes and adjustments to existing standards, as well as in creating automated design systems and technological information data banks.

Further research using image recognition methods should be developed to determine the methods and conditions of processing composite and other "exotic" processing materials, as well as to determine the most rational conditions for processing new tool materials and materials with new coatings. All this will significantly reduce the cost of materials and energy resources during experimental research.

Keywords: instrument making, production's technological preparation, multidimensional statistical analysis, classification, pattern recognition.

Literature

- [1] С. А. Айвазян, *Прикладной многомерный статистический анализ*. Москва: Статистика, 1985.
- [2] Факторный, дискриминантный и кластерный анализ; пер. с англ. А. М. Хотинского, С. Б. Королева; под ред. И. С. Енюкова. Москва: Финансы и статистика, 1989.
- [3] В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин, *Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. изд.* С. А. Айвазян, Ред. Москва: Финансы и статистика, 1989.
- [4] С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян, *Прикладная статистика в задачах и упражнениях*. Москва, РФ: ЮНИТИ – ДАНА, 2001.
- [5] С. П. Вислоух, *Інформаційні технології в задачах технологічної підготовки приладо- та машинобудівного виробництва*: моногр. Київ, Україна: НТУУ “КПІ”, 2011.
- [6] V. S. Antonyuk, S. P. Vysloukh, “Information technology in deciding of technological problems in instrument making and machine engineering” у *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні: [збірник наукових праць]*,

Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. (Вісник Національний університет "Львівська політехніка"; № 760), с. 101-105.

- [7] S. P. Vysloukh, O. V. Voloshko, A. N. Rogovoy, “System of processing of technological information”, у Сб. *Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні та приладобудуванні. Вісник національного університету «Львівська політехніка»* № 786, с. 79-86, 2014.

УДК 621.9.011

ПРИСКОРЕНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ МІКРОДЕТАЛЕЙ

Діордіца І. М.

Національного технічного університету України

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

E-mail: indior@ukr.net

Найважливішим завданням науки про різання металів є встановлення дійсних закономірностей основних характеристик процесу різання залежно від зміни властивостей матеріалів деталі, елементів режиму різання, матеріалу і геометрії інструменту та інших зовнішніх умов з метою оптимізації процесу по тих чи інших критеріях оптимальності.

Основним видом інструменту, призначеним для обробки широкої номенклатури мікродеталей на фрезерних верстатах з ЧПК, є кінцеві фрези. Геометричні параметри фрез вибираються для кожного з позиційних переходів, на які розбивається зона обробки деталі, з урахуванням конструктивно-технологічних параметрів елементарних поверхонь.

Постановка основних задач, при проектуванні технологічних процесів повинна вирішуватися в наступній послідовності: обґрунтований вибір найбільш ефективного інструментального матеріалу для обробки деталі; вибір раціональної геометрії інструменту; вибір мастильно-охолоджувальної рідини; визначення оптимальних режимів різання; визначення технічних норм виробітку.

Оптимальне різання, яке характеризується багатьма параметрами (мінімум інтенсивності зносу, сил різання, коефіцієнтом тертя, максимум розмірної стійкості, і т.п.), краще за все і піддається математичному опису, а також дає найбільшу об'єктивність при порівнянні ефективності різних варіантів процесу.

У зв'язку з тим, що рішення цього питання пов'язане із значними розрахунками, виникла необхідність узагальнити наявні відомості про вибір різального інструменту та дати техніко-економічне обґрунтування вибору оптимального варіанта обробки за допомогою програмування.

Запропонований алгоритм дозволяє визначити геометрію різального інструменту (фрези) і вибрати оптимальний варіант обробки в кожній зоні на основі його максимальної продуктивності.

За геометричними параметрам виробу визначають діаметр чистової фрези, радіус її заточки і довжину різальної частини:

$$D_{\text{чист}} = 2R_{\text{тип}}^{\min},$$

де $R_{\text{тип}}^{\min}$ - радіус сполучення найменшого кута.

У випадках вимоги підвищеної точності

$$D_{\text{чист}} = 1,18R_{\text{тип}}^{\min}.$$

Радіус заточки чистової фрези визначається:

$$r_{\text{тип}}^{\max} : r_{\text{фр.чист.}} = r_{\text{тип}}^{\max},$$

де $r_{\text{тип}}^{\max}$ - радіус сполучення ребра і площини, яка фрезерується.

Довжина різальної частини визначається наступним чином:

$$l = H + 5 - \text{для внутрішнього глухого контуру};$$

$$l = H + 5 + r_{\text{фр.чист.}} - \text{для зовнішнього і внутрішнього наскрізного контуру},$$

де H - максимальна висота стінки деталі.

Діаметр чорнової фрези ($D_{\text{чорн}}$) обмежується умовою доступу інструменту у внутрішні гострі кути контуру. При цьому припуск при обробці внутрішніх кутів не повинен перевищувати $\delta \leq 0.25D_{\text{чист}}$.

Виходячи з вищевикладеного, діаметр фрези можна обчислити за формулою

$$D_{\text{чорн}} = \frac{2(\delta \sin \varphi / 2 - \delta_1)}{1 - \sin \varphi / 2} + D_{\text{чист}},$$

де δ_1 - припуск для чистової обробки контуру; φ - кут сполучення сторін в даному контурі.

Довжина різальної частини вибирається за аналогією з чистовою фрезою. Діаметр торцевої частини чорнової фрези визначається за такою залежністю:

$$D_{\text{т.чорн}} = D_{\text{чорн}} + 2r_{\text{ф.чорн}} - 2\delta_r^+ + 2\delta_D^-,$$

де δ_r^+ - припуск на виготовлення $r_{\text{ф.чорн}}$, δ_D^- - припуск на виготовлення $D_{\text{чорн}}$.

У разі, якщо запровадження операції чорнової обробки не рентабельно, технолог отримує повідомлення про те, що ця операція не потрібна на даній ділянці. В цьому випадку видаються тільки параметри чистової фрези та режими її роботи. В іншому випадку необхідні параметри і чистової й чорнової фрези з відповідними режимами різання.

Отже, можна зробити висновок, що вибір різального інструменту і визначення оптимального варіанту обробки на основі мінімізації тривалості процесу обробки за допомогою пропонованого алгоритму, реалізованого на верстатах з ЧПК, дозволяє підвищити загальну продуктивність виготовлення деталі в середньому до 10-15 %.

Ключові слова: режими різання, геометрія інструменту, верстат, фреза.

Література

- [1]. В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, Г. С. Тымчик, *Диагностика процесса металлообработки*. Киев: Техніка, 1991.

УДК 621.9.048.7

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ОПТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОМБІНОВАНИМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВИМ ОБРОБЛЕННЯМ

¹⁾Коваленко Ю. І., ¹⁾Бондаренко М. О., ²⁾Антонюк В. С.

¹⁾Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

²⁾Національний технічний університет України

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

E-mail: maxxiium23@gmail.com, victor.antoniuk@gmail.com

Стан поверхні оптичних матеріалів визначає фізико-механічні експлуатаційні характеристики деталей приладів, тому якість виготовлених оптичних елементів має безпосередній вплив на технологічний рівень приладу, в якому вони знаходяться.

Перспективними технологіями для модифікації поверхні є технології, в яких ефективним інструментом є концентровані потоки енергії: електрони, йони, фотони. Застосування концентрованих потоків енергії дозволяє здійснювати модифікування поверхневих шарів та створювати нові поверхневі структури з покращеними фізико-механічними властивостями без значного змінення матеріалу субстрату.

Так, в результаті впливу концентрованих потоків енергії формується унікальний фізико-хімічний стан матеріалу в поверхневих шарах, а утворені поверхні мають мінімальну шорсткість. Використання даних технологій забезпечує екологічну чистоту виробництва, високу продуктивність та точність виготовлення [1-3].

Перспективність таких технологій зумовлена високою концентрацією енергії, що вводиться в зону обробки, яка забезпечує локальність та прецизійність оброблення при суттєво менших сумарних енерговитратах, малої інерційності процесів внаслідок прямого перетворення електричної енергії в енергію технологічної дії, можливістю направленої модифікації властивостей поверхневого шару [4-5].

Метою роботи є розроблення технології модифікації поверхонь оптичних елементів комбінованим електронно-променевим обробленням.

Основна ідея удосконалення технології комбінованого електронно-променевого оброблення полягає в поєднанні в одному технологічному циклі процесу попереднього нагріву поверхні оптичного матеріалу, електронно-променевого оброблення з подальшим нанесенням тонких покриттів та їх подальше оброблення стрічковим електронним потоком. Основні етапи технологічного процесу проведення комбінованого електронно-променевого оброблення оптичних матеріалів показано на рисунку 1.



Рис. 1. Послідовність проведення комбінованого електронно-променевого оброблення оптичних матеріалів

В процесі проведення дослідження результатів комбінованого електронно-променевого оброблення встановлено, що тонкі плівки, які отримані за базовою технологією, мають більшу кількість зон з підвищеними механічними напруженнями, порівняно з тонкими плівками, одержаними комбінованою

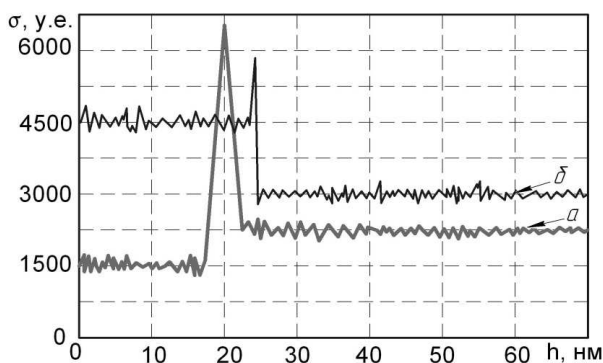


Рис. 2. Графіки залежності внутрішніх напружень в поверхневому шарі зразка (на прикладі плівок алюмінію): отриманих за базовою технологією (а) і з використанням комбінованої технології (б)

технологією, що пов'язано з релаксаційними процесами, які відбуваються в покриттях при дії на них електронного потоку (Рис. 2).

Як показано на графіках, внутрішні напруження в алюмінієвому покритті у випадку комбінованого електронно-променевого оброблення мають у 3 рази вищі значення, аніж для покриття, отриманого за базовою технологією. При цьому, внутрішні напруження поверхневого шару зразка збільшуються на 20...25 %. Проте, на границі «металева покриття – оптична основа» спостерігається зменшення у 2,5...3 рази перепаду таких напружень, що, на думку

авторів, пов'язано з частковим зануренням металевої плівки у поверхню оптичного матеріалу. Це, в свою чергу, зменшує різницю коефіцієнтів термічного розширення матеріалів, як покриття, так і субстрата, чим зменшує граничні механічні напруження на границі матеріалів, тобто, ймовірність передчасного відшарування плівок [6].

Встановлено, що поверхня тонких плівок, яка отримана з використанням комбінованого електронно-променевого оброблення, має більш однорідну структуру та позбавлена мікрodefektів, які притаманні тонким плівкам,

отриманим за базовою технологією (наприклад, середньо-статистична шорсткість поверхні плівок срібла зменшилась з 50...75 нм до 35...50 нм), (Рис.3).

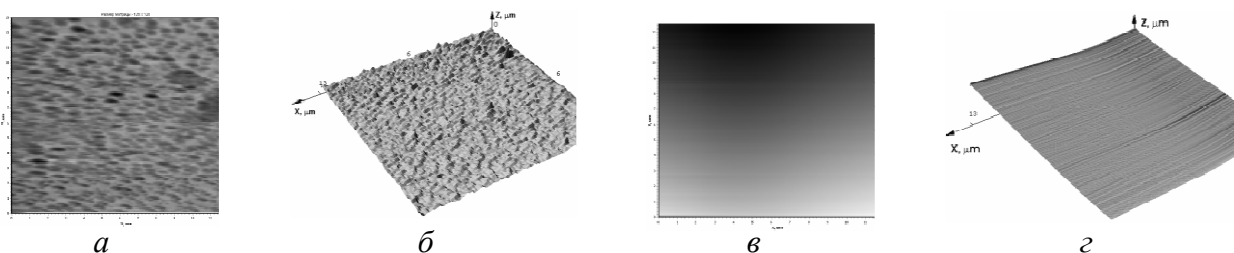


Рис. 3. Топограма (а, в) та мікрорельєф ділянки поверхні тонкої плівки (на прикладі плівки срібла) на ділянці 13x13 мкм оптичного скла марки К8: а, б – отримана за базовою технологією; в, г – отримана з використанням комбінованого електронно-променевого оброблення

Як показали топограма (а, в) та мікрорельєф (б, г) ділянки поверхні тонкої плівки срібла (Рис. 3), після запропонованого авторами комбінованого електронно-променевого оброблення відбувається суттєве покращення стану поверхні, що є результатом термічної дії електронної стрічки на металізовану поверхню оптичного скла.

Таким чином, встановлено, що комбіноване електронно-променеве оброблення металізованих поверхонь оптичних матеріалів є високоефективним, а отримані поверхні мають більш однорідну структуру та 1,5...2,1 рази меншу середньостатистичну шорсткість, позбавлені від мікродфектів, що притаманні тонким плівкам, отриманим за базовою технологією, та мають більшу кількість зон з підвищеними на 15...30 % механічними напруженнями.

В подальшому планується удосконалити процес гнучкого керування комбінованим електронно-променевим обробленням із залученням нейромережових комп'ютерних технологій.

Ключові слова: електронно-променеве оброблення, оптичне скло, тонке покриття, якість, мікршорсткість, механічне напруження.

Література:

- [1] Yatsenko I., Antonyuk V., Kyrychenko O., Vashchenko V. Improving the reliability instruments of measuring and thermal control of objects of different physical nature by the finish of electron beam processing surfaces of optical elements // *Machines. technologies. materials. International scientific journal. (International journal for science, technics and innovations for the industry)*. Вып. 1/2017 – 2017 – С. 20-23. (ISSN 1313-0226). <https://stumejournals.com/journals/mtm/2017/1/20.full.pdf>
- [2] V. S. Antonyuk, S. O. Bilokin', M. O. Bondarenko, Yu. Yu. Bondarenko, Yu. I. Kovalenko, "Formation of wear-resistant coatings on silicon probes for atomic force microscopy by thermal vacuum evaporation", *Journal of Superhard Materials*, vol. 37, Issue 2, 1 March 2015, pp. 112-119. DOI: [10.3103/S1063457615020057](https://doi.org/10.3103/S1063457615020057)
- [3] I. Yatsenko, V. Antonyuk, O. Kyrychenko, V. Vashchenko, "Improvement of technical and operational characteristics of the devices with optical elements by preliminary electron-beam processing of surfaces", *Machines. Technologies. Materials. International scientific journal*. Вып. 6/2016, с. 47-50, 2016. <https://stumejournals.com/journals/mtm/2016/7/44.full.pdf>

- [4] M. Bondarenko, I. Bondarenko, V. Antonyuk, D. Telezhynskiy, V. Andriienko, “Peculiarities of metalized surfaces modification of silicon elements of microelectromechanical systems with low-power electronic flow”, *Materials science. Non-equilibrium phase transformations*, Year III, Issue 2, pp. 53-55, 2017. <https://stumejournals.com/journals/ms/2017/2/53.full.pdf>
- [5] I. Yatsenko, V. Antonyuk, O. Kyrychenko, V. Vashchenko, V. Tsybulin “Increasing the resistance of precision instrument-making elements from optical glass to external thermo-influences by preliminary electron-beam processing of surfaces”, *International scientific journal Machines. Technologies. Materials*. 10 (7), 44-47. <https://stumejournals.com/journals/mtm/2016/7/44.full.pdf>
- [6] В. С. Антонюк, Г. С. Тимчик, Ю. Ю. Бондаренко [та ін.], *Контроль параметрів якості функціональних покриттів: монографія*. Київ, Україна: НТТУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018.
file:///C:/Users/Victor/AppData/Local/Temp/antoniuk_vs_timchik_gs_bondarenko_iuiu_ta_in_kontrol_paramet.pdf

UDK 678.8

CALCULATION OF THE MAXIMUM PERMISSIBLE LOAD FOR COMPOSITE MATERIAL BY Tsai-Wu METHOD

¹⁾Andrzej Dzierwa, ²⁾Natalia Stelmakh

¹⁾Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland

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

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

High strength and light weight are the main advantages that have allowed composite materials to be widely used in various industries such as instrument making, mechanical engineering and aircraft construction. Composite materials provide good vibration damping and a low coefficient of thermal expansion, so it is possible at the stage of development of the composite material to provide the necessary physical and mechanical characteristics of the future product. Also, composites are resistant to fatigue strength, which significantly reduces the number of parts required for the product. The finished product requires less raw materials, fewer joints and fasteners and less time to assemble. Increasingly, the ratio of composite material to total weight is used in modern aircraft. Up to 53 % of modern aircraft are composite. The body of some new machines is made of 90 % of this type of material, and for the space industry it plays an important role in that it provides weight reduction without losing the physical and mechanical properties of the structure [1]. The use of composite material is increasing every year and the study of its various properties as well. Production, operation, maintainability, utilization and interaction with other materials - topics that are currently being studied by scientists and engineers at various production facilities.

Estimation of the strength of the composite layer of the material is based on experimental studies of its tensile, compressive and shear characteristics. In the General case, the stress-strain state of the layers and the laying of the composite

material is estimated. Strength criteria based on the maximum stresses of the monolayer are mostly used to study the ultimate strength.

As a result of the review and analysis of the existing methods of calculating the maximum value of the allowable load for a single-layer unidirectional composite material, it was found that the most suitable for determination is the Tsai-Wu method.

Consider an example of calculating the maximum allowable load for a composite layer of graphite, if $S > 0$, $\sigma_x = 2S$, $\sigma_y = -3S$ і $\tau_{xy} = 4S$. The main values of stresses for this layer are taken from the table,

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2500 & 0.7500 & 0.8660 \\ 0.7500 & 0.2500 & -0.8660 \\ -0.4330 & 0.4330 & -0.5000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2S \\ -3S \\ 4S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1714 \cdot 10^1 \\ -0.2714 \cdot 10^1 \\ -0.4165 \cdot 10^1 \end{bmatrix} S$$

the coefficients are calculated for the Tsai-Wu formula [2].

$$\begin{aligned} H_1 &= \frac{1}{1500 \cdot 10^6} - \frac{1}{1500 \cdot 10^6} = 0 Pa; \\ H_2 &= \frac{1}{40 \cdot 10^6} - \frac{1}{246 \cdot 10^6} = 2.093 \cdot 10^{-8} Pa; \\ H_6 &= 0 Pa; \\ H_{11} &= \frac{1}{(1500 \cdot 10^6)(1500 \cdot 10^6)} = 2.093 \cdot 10^{-19} Pa; \\ H_{22} &= \frac{1}{(40 \cdot 10^6)(246 \cdot 10^6)} = 1.0162 \cdot 10^{-16} Pa; \\ H_{66} &= \frac{1}{(68 \cdot 10^6)^2} = 2.1626 \cdot 10^{-16} Pa; \\ H_{12} &= -0.5[(4.4444 \cdot 10^{-19})(1.0162 \cdot 10^{-16})]^{1/2} = -3.360 \cdot 10^{-18} Pa. \end{aligned}$$

If we substitute the value into the formula we get:

or $S < 22.39 Pa$.

Therefore, the maximum allowable load for this plate, calculated by the Tsai-Wu method is $22.34 MPa$.

The article analyzes various strength criteria for a single-layer material and gives an example of the calculation of a composite material for the allowable load. The single-layer material was analyzed in more detail and the mathematical dependence of the material stress on the layers laying layers in it was derived.

Keywords: composite materials, maximum allowable load, single-layer, unidirectional composite material, method Tsai-Wu.

References

- [1] О. К. Доценко, Н. В. Стельмах, “Методи виготовлення деталей із композитного матеріалу” на XV Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», Київ, 2019, с. 113–116.

- [2] Autar Kaw, “Tsai Wu, Failure Theory”, in *Introduction to Composite material*. Florida, USA: University of South Florida, Tampa, 2015.

UDC 681.5:519.711

MODELLING OF AUTOMATED PRODUCTION SYSTEMS' WORKING

Oksana Voloshko, Sergii Vysloukh

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

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

The problems associated with the optimization of production systems are quite relevant today. This is due to the high intensification of modern production, the complex structure of production systems, the need for rapid reorientation of production to produce a new type of product. In such difficult conditions, it is necessary to have a methodology that would allow you to quickly and easily model the production system, check its efficiency, give appropriate recommendations for optimizing the construction of the system. Currently, when modern computer technology is widely used, the most rational and promising methods of modeling of production systems is simulation, which allows you to quickly formalize and process large flows of information that occur in modern production systems, easily model the relationship between components system, perform work optimization. Therefore, taking into account all the above factors, there is a need to develop an effective apparatus for mathematical modeling of production systems.

To do this, it is necessary to theoretically substantiate and practically implement mathematical methods of modeling production systems, prove the adequacy of the mathematical model, as well as choose a rational optimization method and create appropriate software that would implement the chosen method in practice.

Typically, a production system is a defined set of blocks (elements), united by some set of connections to achieve a common aim. In production systems, this aim is to perform a given set of works. Each job consists of a number of different operations performed by the respective blocks. The system as a whole provides a consistent passage of each work through certain blocks, a set of operations in which ensures the performance of this work. We believe that the operation is the smallest, indivisible part of the work. In this regard, in the study of production automated systems, quantitative characteristics (parameters) of operations must be specified. These parameters can be set by a matrix, the elements of which are the quantitative effect of the corresponding operation in a particular work. These values can mean either the cost of time, resources, or income, and so on. The specific content of these values affects the formulation of problems for studying systems. The parameters express the quantitative characteristics of the production system as a whole.

The functioning of an arbitrary system is a set of rules that determines what the system must do to achieve its aim; these rules do not necessarily use the knowledge

of building a system. In general, according to the level of abstraction adopted in the study of the system, its operation can be described by more or less detailed rules.

Under the structure of an arbitrary system we understand the set of blocks (elements) and a set of connections between them. The structure of the service system is usually represented by a digraph, in which the vertices denote the blocks (elements) of the system, and the arcs - the directions of works' movement from block to block in the process of their execution.

To quantify the degree of achievement by an arbitrary system of the aim set before it, various characteristics of its functioning are introduced. Each individual characteristic evaluates one side of the system, and only together they allow to assess how the system has achieved its goals. Unfortunately, today there is no single method of modeling production systems in general, ie those that would adequately and with sufficient accuracy describe the parameters of production systems of different structures, so to model a specific type of system, or at least several similar types of structures use different mathematical models.

The analysis of methods modeling for production systems for the purpose of their work's optimization has allowed to establish that the structural-logical method of technological systems' research and the methods based on representation of production structures by means of Petri nets have the greatest interest.

The use of structural-logical approach to modeling and optimization of production systems has the following advantages:

a) unification with the help of logical determinants of computational procedures in the study of systems leads to the fact that all calculation and analysis' tasks, as well as synthesis of complex systems are reduced to the calculation of certain logical determinants, ie are the same from a computational and mathematical point of view;

b) obtaining analytical conditions for the optimality of the work's order in the system and on their basis - the procedures for the synthesis of complex systems' some classes have a reduced calculations' complexity;

c) the use of the branches and boundaries' procedure, which is used in the complex systems' synthesis to improve its accuracy and speed, allows to intensify the clipping of unpromising options by additional use of information contained in the optimal conditions and the conclusion of more accurate estimates. in addition, it has reduced computational complexity.

The above advantages of using infinite logic and logical determinants are realized within the structural-logical approach to the study of production systems, which involves structural representation of the studied system and expression of its characteristics through the characteristics of subsystems using infinite logic and logical determinants.

One of the promising approaches to the optimal use of production systems is the mathematical models' development based on computer technology using Petri nets. Petri nets allow to display parallelism, asynchrony, hierarchy of modeled objects by simpler means than when using modeling means, such as methods of mathematical

programming, methods of classical optimization, application of traditional queuing systems, etc.

When using Petri nets to model production systems in instrument-making production, the issue of increasing the production systems' efficiency can be solved by improving the methods of managing the work of technological and transport and warehousing equipment.

At the level of the production complex, the actions of receiving, storing, moving and transforming are carried out by the receiving, warehousing, transport and converting complexes, respectively. Each of these complexes according to the accepted hierarchy, in turn, is a technological complex, and on each of them the corresponding technological process is realized. Thus, it is possible to allocate: the receiving technological complex, a warehouse technological complex, the transport technological complex which will transform a technological complex. In the General case, the number of required technological complexes of different types can be any and depends on the characteristics of the implemented production process. The host technological complexes at the enterprise may have logistics and supply services. Warehouse technological complexes at the enterprise are a system of warehouses for storage of materials, blanks, semi-finished products, tools, equipment, etc. The transport technological complex at the enterprise is represented by a transport department or other service that provides transportation on the enterprise territory of materials, blanks, tools and other objects and labor's means. Transforming technological complexes at the enterprise include departments of the basic production (procurement, machining, thermal, assembly).

At the level of the transforming technological complex, the actions of obtaining are performed by the department's supply system, storage actions are performed by the department's warehouse system (for example, department's warehouse of blanks, warehouse of tools, warehouse of devices, etc.), actions of moving are performed by the transport system. and tools for workplaces), conversion actions - a conversion system (for example, a workplace or an automatic line). Each of these systems, according to the accepted hierarchy, in turn, is an operating system. That is, you can select the holding operating system, warehouse operating system, transport operating system and converting operating system, and each of them implements the corresponding operation. The number of required operating systems of different types can be any and depends on the characteristics of the implemented process.

Similarly, you can structure the host, warehouse and transport technology complexes. They also perform actions to retrieve, save, move, and convert, and therefore have the appropriate elements. For example, in a warehouse technological complex designed to store tools, the actions of receiving are performed by the relevant service, the actions of storage are performed by the warehouse itself, the actions of moving - warehouse transport systems, the actions of transformation - tool department. The article shows that increasing the efficiency of instrument-making production can be achieved by modeling and optimizing the equipment load of production systems.

The analysis of production systems modeling methods showed that in solving this problem it is expedient to use modern methods of mathematical and simulation modeling based on the use of structural-logical approach to mathematical modeling of systems and their simulation modeling by Petri nets.

Methods of infinite logic and logical determinants allow to describe the mathematical model of the production system and its characteristics, and the method of branches and boundaries - to optimize its work. The main provisions of infinite logic and ordinal determinants, which are based on the structural-logical approach to the study of complex systems, which include production systems in instrument making, allow to create a mathematical model of the arbitrary structure's system.

The these methods' actual application of modeling production systems can reduce non-production losses of time, thereby saving production resources without the use any other measures of administrative or technical nature.

Keywords: production system, mathematical modeling, optimization, structural-logical method, Petri nets.

УДК 621.391

КОНТРОЛЬ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ПРИЛАДІВ В АВТОМАТИЗОВАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Змієвський А. А., Прищепенко Є. Ю., Шевченко В. В.

Національний технічний університет України

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

E-mail: andreyzmei25@gmail.com

Комплексна автоматизація приладобудівного виробництва, його перехід на безлюдні технології потребує використання сучасного обладнання: верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), багатоцільових обробляючих центрів, гнучких виробничих модулів. Таке технологічне обладнання дозволяє забезпечити високу якість поверхні деталі, точність виготовлення деталей, а також підвищити продуктивність та знизити собівартість виготовлення деталей приладів. Створення на базі цього обладнання автоматизованих виробництв ставить задачу контролю та керування процесом обробки в умовах «безлюдної технології» [1].

Дослідження процесу різання на мікроструктурному рівні показує, що процес стружкоутворення являє собою в'язке руйнування, пов'язане з явищем пластичної деформації. Таке руйнування супроводжується переходом елементарних часток зі стану з великим значенням енергії в стан з меншим значенням енергії, при цьому вивільняється на першому етапі взаємозв'язку частина енергії у вигляді електричних сигналів. Тому контроль обробки деталей приладів повинен бути заснований на вимірюванні, природно виникаючих при різанні, змінної складової електрорушійної сили та потужності різання [2].

Розроблена система контролю та керування процесом обробки заснована на вимірюванні сигналів змінної складової електрорушійної сили, потужності різання та пружних переміщень технологічної обробляючої системи, виділення змінних та постійних складових цих сигналів, при цьому по постійним сигналам формують керуючі команди для зміни режимів обробки, а змінні перетворюють в взаємо кореляційні функції, на основі яких формують команди для керування приводами технологічного обладнання [3]. Це дозволить, з високим ступенем швидкодії, на основі вимірювання декількох параметрів, з найбільшою точністю, контролювати процес обробки деталей приладів, оцінювати відхилення від нормального функціонування процесу, а також за визначеними відхиленнями формувати команди для керування режимами обробки, наприклад, стабілізувати величину швидкості зносу різального інструменту, шляхом керування режимами обробки [4].

Впровадження системи контролю та керування процесом обробки деталей приладів на верстатах з ЧПК в умовах автоматизованого виробництва дозволить з високою точністю, швидкодією та надійністю, на основі вимірювання декількох параметрів, отримати точну інформацію про величину швидкості зносу різального інструменту, що дасть можливість в повній мірі використовувати ресурс різального інструменту, а також підвищити точність обробки та якість поверхні деталі, знизити собівартість виготовлення деталей, а також підвищити продуктивність виготовлення деталей приладів.

Ключові слова: автоматизоване виробництво, контроль, керування, точність обробки, якість поверхні деталі, продуктивність, собівартість.

Література

- [1] В. А. Остафьев, Г. С. Тымчик, В. В. Шевченко, “Адаптивная система управления”, *Механизация и автоматизация управления*, 1, с.18-20, 1983.
- [2] В. В. Шевченко, І. В. Капінос, Д. О. Грабовський, “Система контролю процесу обробки деталей в умовах «безлюдної технології», *Прогресивні технології та прилади*, Вип. 1, с. 223-231, 2011.
- [3] С. Н. Шарабура, В. В. Шевченко, “Система адаптивного управления процессом обработки деталей на станках с ЧПУ”, *Современные научные исследования и инновации*, Июнь, 2014. [Электронный ресурс], URL; <http://web.snauka.ru/issues/2014/06/34729>.
- [4] А. А. Скороход, В. В. Шевченко, “Система диагностики работоспособности режущего инструмента в условиях автоматизированного производства”, *Современные научные исследования и инновации*, № 4, 2014. [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33014>.

УДК 621.9.06: 621.822.176

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ШПИНДЕЛЕМ НА ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОРАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

¹⁾Сапон С. П., ¹⁾Космач О. П., ²⁾Цеков Б. В.

¹⁾ Національний університет «Чернігівська політехніка», Чернігів, Україна

²⁾ ТОВ «ПЕТ Технолоджіс Україна», Чернігів, Україна

Підвищення енергоефективності та продуктивності процесів механічної обробки безпосередньо пов'язане зі збереженням навколишнього середовища та скороченням споживання енергетичних ресурсів і є актуальною проблемою в умовах сучасної енергетичної політики у світі та Україні.

За основу для даної роботи взято результати експериментальних досліджень [1] впливу режимів обробки та тиску в гідростатичних опорах шпинделя прецизійного токарного верстата на його показники енергоефективності. В якості параметру оптимізації взято споживання енергії системами приводів верстата, що відповідно характеризує його енергоефективність. Для вирішення задач оптимізації була використана розроблена в роботі [2] математична модель, яка описує енергетичне споживання приводу головного руху верстата залежно від режимів обробки, статичного дисбалансу обертових елементів шпиндельного вузла та тиску робочої рідни в гідростатичних опорах шпинделя (рис.1).



Рис. 1. Структура оптимізації процесу механічної обробки на верстаті з гідростатичними опорами шпинделя

Основний інструмент, який використано при оптимізації – побудова профілів бажаності (Desirability Profiles).

Було проведено порівняння отриманих оптимальних режимів обробки зразків-виробів з значеннями середньої \bar{E} та максимальної \bar{E}_{\max} споживаної

електричної енергії приводу головного руху верстата, яку зафіксовано при виконанні всіх дослідів згідно плану експерименту.

Порівняння проводилося відносно середніх значень споживання електричної енергії при холостих ходах \bar{E}_{xx} та при різанні для всіх досліджуваних режимів обробки \bar{E}_{rez} , а також відносно максимальних значень $\bar{E}_{xx(max)}$ та $\bar{E}_{rez(max)}$, які було отримано протягом експериментальних досліджень. Додаткове порівняння проводилося відносно середніх та максимальних значень об'єму зрізаного шару та основного часу обробки T_o .

Порівняння показників продуктивності процесу обробки зразків-виробів показало, що для всіх оптимізованих режимів різання об'єм зрізаного шару V матеріалу є меншим за відповідно середнє \bar{V} та максимальне значення V_{max} , отримані в результаті експерименту.

Встановлено, що серед основних шляхів підвищення енергоефективності процесу механічної обробки на токарному верстаті з гідростатичними опорами шпинделя є мінімізація тиску в карманах опор, а також збільшення об'єму зрізаного шару матеріалу за рахунок вибору комбінацій режимів обробки. Ефективним способом підвищення енергоефективності процесів механічної обробки є підвищення подач. Це суттєво скорочує основний час обробки. Проте використання таких режимів можливе у випадках, коли параметри шорсткості оброблюваної поверхні не носять пріоритетного характеру.

Зниження тиску в карманах гідростатичної опори шпинделя безпосередньо впливає на жорсткість технологічної оброблювальної системи і також можливе за умов чорнової обробки, коли параметри якості обробленої поверхні мають другорядний характер. В роботі показано, що можливість варіювання величини тиску в гідростатичних опорах шпинделя є ефективним шляхом підвищення енергоефективності верстатів. При мінімальних зусиллях різання на чистових переходах обробки відповідно зменшується енергоспоживання систем приводів головного руху та подач верстата. В такому випадку підвищення тиску в гідростатичних опорах шпинделя не буде суттєво погіршувати показники енергоефективності верстата.

В результаті проведених досліджень показано, що залежно від виду обробки, величини та характеру технологічних навантажень можуть бути використані режими різання та експлуатаційні параметри гідростатичних опор шпинделя, оптимізовані за показниками енергоефективності та продуктивності. Це дозволяє зменшити енергоспоживання систем приводів верстата при різних схемах оптимізації на 25...40 % та підвищити продуктивність обробки в середньому на 35...45 %.

Література

- [1] Д. Ю. Федориненко, О. П. Космач, В. М. Безручко, С. П. Сапон, “Експериментальне оцінювання енергоефективності процесів механічного оброблення на верстатах”, *Технічні науки та технології*, №2(4), с. 16 – 22, 2016.

[2] Розробка енергоефективних високошвидкісних шпindelьних вузлів на адаптивних опорах ковзання, звіт про НДР. Чернігівський національний технологічний університет; керівн. Федориненко Д.Ю.; відп. викон. Сапон С.П. Чернігів: ЧНТУ, 2016. 318 с. Інв. № 0217U004350.

UDC 621.9.08

MULTI-TOUCH SENSOR'S COMPLEX FOR AUTOMATED PRODUCTION

Volodymyr Skytsiuk, and Tatiana Klotchko

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

E-mail: t.klochko@kpi.ua

One of the requirements for modern industrial production is the ability to obtain comprehensive information about the operation of technological equipment. In particular, this applies to automatic technological equipment, which allows the creation of automated production, for example, using intelligent systems [1, 2]. Thus, a full-fledged monitoring of the state of the equipment is possible only on the basis of the analysis of current dynamic signals, which characterize the complex of physical phenomena and processes on a large scale [3, 4].

The author's studies of dynamic processes, which are characteristic of precision processing equipment, have shown that it is the interaction of field structures of technological objects that gives an understanding of the degree and gradations of possible mechanical stresses in the mass of an object based on the TONTOR technology [3, 5, 6]. However, the physical processes that characterize the state of operating equipment are not limited to mechanical phenomena only. As shown in the author's works, electromagnetic and acoustic phenomena most subtly respond to changes in state.

Such studies make it possible to determine with high accuracy the critical situations of the technological process, as well as predict their appearance in space-time coordinates. There are also known works on the study of temperature and electrical phenomena that characterize the state of the control object in real time [7]. Such a multichannel system to study thermodynamic processes in complex control objects with distributed parameters is used.

However, the consideration and use of only one informative parameter can introduce errors in information about the current processes and the state of the object. In this case, the best method is to organize a multi-channel module, which consists of a complex of sensors. These sensors to record technical parameters are designed.

It is this way of creating a complex of sensors that register signals that are different in nature, which can provide a complex solution that is used by an intelligent control system for automatic industrial production.

In contrast to the technical solution, which involves the use of a large number of high-speed high-precision sensors located at various points object [7], we have

proposed a single set of sensors. Such a complex can be built into a flexible automated module, which is installed in the working area of technological equipment.

The principle of operation of such a multi-touch sensor's complex is based on determining the spatial coordinates of the object surface [8] with the possibility of registering their changes in time to analyze the current situation in the equipment operation regulations.

This approach of registration and processing of informative signals is the basis for the creation of expert systems for the management of automatic production.

Keywords: TONTOR technology, multi-touch sensor, sensor's complex, quality control, automated production.

Literature

- [1] Lyes Benyoucef, Bernard Grabot. Artificial Intelligence Techniques for Networked Manufacturing Enterprises. Moscow, RF: Springer Science & Business Media, 2010.
- [2] Lee, Jay; Jun Ni; Dragan Djurdjanovic; Hai Qiu; Haitao Liao, "Intelligent prognostics tools and e-maintenance". *Computers in Industry*, 57(6): 478. (August 2006).
- [3] Владимир Скицюк, Татьяна Ключко, *Физика технологии ТОНТОР: монография*. Саарбрюкен, Германия : ИД LAP Lambert Academic Publishing, 2015.
- [4] Т. Р. Ключко, “Модельовання динаміки технологічного процесу для контролю якості токарної обробки деталей типу «вал»”, *Резание и инструмент в технологических системах*, № 57, с. 115 – 121, 2000.
- [5] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Ключко. *Фізичні засади технології ТОНТОР: монографія*. Київ, Україна: НТУУ «КПІ», 2010.
- [6] Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко, *Теорія біотехнічних об'єктів. Том 3. Зони присутності об'єктів*. Київ, Україна: ТОВ "Інтердрук", 2019.
- [7] А. А. Дьякова, А. В. Мазур, Д. А. Ковальчук, А. А. Пушкин, “Многоканальная система сбора и обработки информации на базе контроллера ADuC7061”, *Автоматизация технологических и бизнес-процесів*, № 17, 2014. doi: 10.15673/atбп2312-3125.17/2014.26333.
- [8] В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко, “Визначення координати уявно-реальної поверхні межової панданної зони об'єкта. Частина 1”, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 53(1), с. 49-56, 2017. doi: 10.20535/1970.53(1).2017.106693.