

УДК 621.913

Ковалевський С. В., Ковалевська О. С.

ФОРМУВАННЯ РЕКОНФІГУРОВАНОЇ СТРУКТУРИ ДІЛЯНОК У МЕХАНО-СКЛАДАЛЬНИХ ЦЕХАХ НА ОСНОВІ МОБІЛЬНИХ ВЕРСТАТИВ-РОБОТІВ

Проблема підвищення гнучкості механоскладального виробництва при одночасному підвищенні продуктивності і якості виготовлення продукції не тільки залишається актуальною, але і відрізняється тенденціями потреби в постійному зростанні інвестицій у виробничі фонди, період оновлення яких неухильно скорочується через необхідність забезпечення конкурентоспроможності продукції, що випускається.

Перспективна стратегія завантаження виробничих потужностей сучасного підприємства базується на концепції гнучкого виробництва, здатного швидко переналагоджувати на випуск дрібносерійної продукції з продуктивністю, що наближається до показників багатосерійного і масового. Але формування номенклатури виробів для завантаження наявних у підприємства потужностей визначається не тільки потребами ринку, а й можливостями підприємства. Традиційні шляхи оновлення технологічного обладнання передбачають проходження їм життєвого циклу – від установки на фундамент до утилізації. В цьому випадку показники гнучкості обладнання залишаються незмінними і частково можуть бути змінені тільки при черговій модернізації.

Стає необхідним забезпечити гнучкість виробництва не тільки швидкої переналагодження наявного і підприємства обладнання і оснастки за рахунок багатоопераційних верстатів з ЧПУ (оброблювальних центрів). Таке обладнання має високі показники гнучкості і технологічних можливостей, які досягаються за рахунок автоматизації та матеріаломісткості, що супроводжує його складність і характеристики точності, вібростійкості, габарити робочої зони і т. п.

Великі перспективи в побудові реконфігурованих виробництв відкриваються в зв'язку з застосуванням металообробних верстатів на основі механізмів з паралельною кінематикою [1–4]. Їх конструкції відрізняються жорсткістю, низькою металоємністю в порівнянні з традиційними верстатами аналогічного робочого простору; здатністю до великих навантажень через фермених елементів; точністю переміщень виконавчих механізмів і їх позиціонування; можливістю масштабування конструкцій в розмірному ряду; простотою елементів верстата і їх остаточного складання.

Однак, механічна частина і система приводів виконавчих механізмів мобільного верстата не володітиме необхідними показниками точності і продуктивності без системи інтелектуального керування траєкторією. Численні дослідження в області точності позиціонування, кінематики та динаміки верстатів на базі механізмів з паралельною кінематикою підтверджує тезу про складний характер управління ланками механізму навіть для виконання прямолінійних переміщень різального інструменту [5–7].

Багатоваріантність компоновок мобільних верстатів для різних варіантів завантаження реконфігурованих ділянок механічної обробки і складність управління виконавчими рухами робочого інструмента вимагає постійного контролю його положень в робочому просторі і їх корекції відповідно до еталонної моделлю. У роботах [8–10] показано особливості динаміки гексапод як представника механізму з паралельною кінематикою. Зокрема, авторами цих робіт підтверджується складний характер коливань механічної системи. Ці дослідження проводилися при вимушених коливаннях фіксованої частоти, що дорівнює 10, 50, 100, 150 Гц. Амплітуда коливань по осях X, Y має різний характер: при частоті 10 Гц зі збільшенням жорсткості різко зменшується, а при частотах 100, 150 Гц амплітуда мінімальна і змінюється незначно. Амплітуди крутильних коливань

щодо осей X, Y, Z мають залежності аналогічні лінійним. На підставі цих досліджень автори роблять висновок про те, що коливання по осях X, Y і крутильні коливання вимагають ретельного розрахунку конструкторсько-технологічних параметрів. Цей висновок підтверджує необхідність пошуку альтернативного рішення для забезпечення точності і продуктивності обладнання різних компоновальних схем.

У зв'язку з цим пропонується підхід, при якому формування складу і обсягу основного та допоміжного обладнання в механоскладальному виробництві визначається не сформованими традиціями і можливостями його поновлення, а тієї номенклатурою виробів, яка на даний момент часу є актуальною і найбільш затребуваною. Такий підхід дозволить адаптувати можливості виробництва до випуску різних виробів.

Метою роботи є аналіз та дослідження можливості формування реконфігурованого виробництва у механоскладальних цехах на основі мобільних верстатах-роботах.

Основні вимоги до реконфігурованих виробництва:

- високий рівень автоматизації основного і допоміжного обладнання;
- раціональне використання робочого простору при обробці як великогабаритних, так і малорозмірних деталей;
- використання принципу «на виробничих площах – тільки активно використовується обладнання»;
- можливість постійного оновлення морально і фізично застарілого обладнання в умовах вкрай обмежених ресурсів.

Особливості верстатів на базі механізмів з паралельною кінематикою дозволяють прогнозувати еволюцію механоскладального виробництва в напрямку подальшого збільшення гнучкості виробництва за рахунок реконфігурації ділянок механічної обробки шляхом оснащення їх верстатами-роботами з нормалізованих елементів з широкодіапазонним розмірним рядом.

Замінюючи перспективу оснащення заводів сучасними металорізальними верстатами, обробними центрами, гнучкими автоматизованими модулями, гнучкими виробничими ділянками і цехами на постійне безперервне комплектування ділянок і цехів мобільними верстатами-роботами можна на порядки знизити витрати на основні фонди. Особливістю такого розвитку виробничої потужності підприємства є:

- формування структури замовлень на продукцію високого попиту (критерієм відбору є вигода від її виготовлення);
- розробка технологічних процесів з використанням безлічі можливих варіантів конфігурації мобільних верстатів-роботів;
- вибір оптимальних варіантів компоновання мобільних інтелектуальних верстатів-роботів;
- проектування оптимальної конфігурації кожного верстата з механізмами паралельної структури і допоміжного обладнання;
- розробка завдань на складання мобільних верстатів-роботів з нормалізованих елементів і керуючих програм для виготовлення виробів із застосуванням реконфігурованого металообробного обладнання – мобільних верстатів-роботів;
- збірка і установка мобільних верстатів-роботів на ділянці механообробки в призначених позиціях;
- створення еталонних моделей робочого простору кожного мобільного верстата-робота для реалізації ідеальних керуючих програм управління механізмами з паралельною кінематикою на основі безперервної діагностики верстатних систем;
- виготовлення заданої програми випуску виробів в механоскладальному виробництві (операції збірки включаються до переліку робіт із забезпечення виробничої діяльності ділянки, цеху і т. п.);
- демонтаж (при необхідності) раніше реконфігурованого обладнання, складування нормалізованих елементів, комплектування раніше звільненого ділянки обладнанням відповідно до нового виробничого завдання.

Дотримання наведеного алгоритму дозволить підприємству розширити спеціалізацію, що диктується раніше придбаним обладнанням і незмінну в межах терміну його окупності. Практично, така спеціалізація перетворюється в адаптацію до забезпечення умов найбільшої вигоди.

Якщо прийняти – тривалість збирання мобільного верстата робота з нормалізованих елементів, то тривалість складання устаткування виробничої ділянки буде дорівнювати (1):

$$T = \sum_k t_i + \frac{1}{r} \sum_r t_j, \quad (1)$$

де k – кількість послідовно зібраних мобільних верстатів-роботів;

t_i – витрати часу на складання i -го верстата;

r – кількість паралельно збираються мобільних верстатів-роботів;

t_j – витрати часу на складання j -го верстата-робота.

Оскільки продуктивність P є функцією складності продукції S , що виготовляється, і технологічних можливостей TV обладнання (2):

$$P = \frac{TV}{S}. \quad (2)$$

У реконфігурованому виробництві величина буде визначатися тим, наскільки швидко «збирати заново» мобільні верстати, але за тривалий період експлуатації такої виробничої системи величина буде завжди найбільшою з можливих. В результаті комплектування виробничої програми по пріоритетах створюються умови для максимального значення швидкості формування кінцевого показника ефективності виробництва. Формалізований опис функції надто ускладнений, тому її дослідження і застосування повинно бути засноване на математичному апараті імітаційного моделювання з подальшим коректуванням моделі за результатами спостережень практичної діяльності реконфігурованих ділянок (цеху).

Структура механоскладального цеху для умов реконфігурованого виробництва повинна включати:

- виробничий майданчик для монтажу мобільних верстатів відповідно до технологічного процесу з установкою мобільних верстатів на віброопорах;
- склад нормалізованих елементів мобільних верстатів з щільним складуванням з якісним урахуванням приймання, зберігання і видачі необхідних комплектів на збірку мобільних верстатів (найкращим чином з такою функцією може впоратися автоматизований склад);
- ділянку збірки мобільних верстатів-роботів, що оснащуються автоматизованою системою управління;
- система розподіленого управління автоматизованим обладнанням.

Викладений підхід дозволить не тільки скоротити виробничі площі на величину. Таким чином, найбільшу вигоду (в абсолютному вираженні) можуть отримувати великі підприємства, паралельно оптимізуючи структуру допоміжного виробництв, зокрема, як в роботах [11, 12].

Програмою робіт, виконуваних Проблемною лабораторією мобільних технологічних машин, створеної в грудні 2015 роки як спільна лабораторія Інституту проблем штучного інтелекту НАНУ і МОНУ та Донбаської державної машинобудівної академії, проведено комплекс робіт по дослідженню можливості генерування та застосування спектрів поглинання акустичних сигналів нормованого «білого шуму» просторовими механізмами з паралельною кінематикою. Встановлено, що такий підхід дозволяє досить точно ідентифікувати їх конфігурацію в статичній і динамічній – діагностувати координати траєкторій і позицій виконавчих органів і динамічних характеристик рухомих елементів верстатів-роботів [13]. Реалізація запропонованого і розробленого методу ідентифікації динаміки і кінематики механізмів з паралельною кінематикою, з яких складаються мобільні верстати-роботи, була виконана на натурній моделі шляхом порушення конструкції малопотужним акустичним сигналом з рівновірним розподілом сигналів однакової амплітуди в діапазоні

20–20000 Гц. Акустичний спектр відгуку, що представляє собою суму збуджених, поглинених і відображених акустичних хвиль піддається обробці на глибоких нейронних мережах. Результатом такої обробки є модель, що інтегрує особливості багатопарових перцептронів і карт Кохонена. Показано, що таке об'єднання можливе за допомогою нейронних мереж каскадної конфігурації і модифікованим нейроподібним елементом.

Оскільки акустичний спектр поглиненого «білого шуму» зміниться при зміні конфігурації об'єкта, актуалізація нейромережевої моделі (математичної моделі, в якій рівняння модифікованих активаційних функцій мають складну структуру зв'язків) дозволяє встановлювати залежності: акустичний спектр, координати актуальної точки об'єкта. Ці дані можуть бути використані для управління позиціонування об'єкта.

ВИСНОВКИ

Вирішено комплекс науково-технічних завдань, впровадження яких вносить значний внесок у розвиток систем механообробки, що полягає у розширенні функціональних можливостей мобільних верстатів-роботів в складі ділянок механічної обробки.

Для розширення функціональних можливостей мобільних роботів запропоновано новий метод, заснований на процедурах створення еталонних моделей. Встановлено, що комплексна обробка акустичних спектрів, здійснювана в системі управління мобільних верстатів, є ефективним засобом збільшення їх технологічних можливостей.

Впровадження на практиці запропонованих методів розширення технологічних можливостей реконфігурованих верстатів дозволяє розробити ряд науковообґрунтованих технічних рішень для перспективних зразків робототехніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Афонин В. Л. *Обработка выходящее оборудование на основе механизмов параллельной структуры* / В. Л. Афонин, П. В. Подзоров, В. В. Слепцов ; под общ. ред В. Л. Афонина. – М. : Изд-во МГТУ Станкин, Янус. – К., 2006. – 452 с.
2. *Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навчальний посібник для ВНЗ* / Крижанівський В. А., Кузнецов Ю. М., Валявський І. А., Склярів Р. А. ; під ред. Ю. М. Кузнецова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
3. Merlet J.-P. *Parallel Robots* / J.-P. Merlet. – Springer-Verlag New York Inc., 2006. – 394 p.
4. Кириченко А. М. *Проведення до зони обробки жорсткості та податливості обладнання з механізмами паралельної структури* / А. М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2010. – № 59. – С. 205–210. – (Серія «Машинобудування».)
5. Струтинський С. В. *Математичне моделювання просторових поперечно-кутових мікропереміщень сферичного шарніра з використанням рекурсивних зв'язків* / С. В. Струтинський // *Машинознавство*. – 2009. – № 1. – С. 37–43.
6. Струтинський С. В. *Визначення основних конструктивних параметрів сферичних опорних вузлів просторового механізму методом Монте-Карло* / С. В. Струтинський // *Машинознавство*. – 2007. – № 5. – С. 37–43.
7. Струтинський В. Б. *Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури* / В. Б. Струтинський, А. М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – 2009. – № 57. – С. 198–207. – (Серія «Машинобудування».)
8. Шамутдинов А. Х. *Исследование классификации многоповодковых механизмов параллельной кинематики* / А. Х. Шамутдинов // Омский научный вестник. – 2011. – № 2(100). – С. 85–90.
9. Гаврилов В. А. *Классификация механизмов для технологических машин с параллельной кинематикой* / В. А. Гаврилов, А. Г. Кольцов, А. Х. Шамутдинов // СТИН. – 2005. – № 9. – С. 28–31.
10. Кольцов А. Г. *Многофункциональное оборудование на основе параллельной кинематики* / А. Г. Кольцов. – Омск : ОмГТУ, 2006. – 131 с. – Деп. в ВИНИТИ 29.11.2006, №1481-В2006.
11. Jennings N. *Using Intelligent Agents to Manage Business Processes* / N. Jennings, P. Paratin, M. Jonson // *The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology : Proceedings of the First Intern : Conference*. – London (UK), 1996. – P. 345–376.
12. *Human-friendly interaction for learning and cooperation* // *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robot-ics and Automation, Seoul, Korea, 2001. IEEE*. – P. 2590–2595.
13. *Діагностика технологічних систем і виробів машинобудування (з використанням нейромережевого підходу) : монографія* / С. В. Ковалевський, О. С. Ковалевська, Є. О. Коржов, А. О. Кошевой ; за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. С. В. Ковалевського. – Краматорськ : ДДМА, 2016. – 186 с.