

УДК 621.91.01:621.923

## Інноваційні технології та верстатно-інструментальне оснащення високопродуктивної обробки різанням сучасних конструкційних матеріалів

Петраков Ю.В., Данильченко Ю.М., Пасічник В.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

**Анотація.** Виготовлення виробів машинобудування (у тому числі військового призначення) в процесі обробки різанням забезпечується системою, що поєднує кінематику відносного руху заготовки та інструменту з необхідною технологією виробництва. В проекті розроблене комплексне вирішення проблеми забезпечення якості оброблення при максимальній продуктивності за рахунок створення нового верстатно-інструментального оснащення та управління процесом формоутворення різанням за алгоритмом, що містить три послідовні дії: стабілізація процесу різання за його головною характеристикою – швидкістю видалення припуску, оптимізацію процесу різання і, нарешті, корекцію формуючої траєкторії. Такі інновації ґрунтуються на новій математичній моделі процесу формоутворення, що відображає різання в замкненій пружній технологічній системі з урахуванням оброблення за слідом і супроводжуючих динамічних явищ та схем теоретичного і реального формоутворення. Застосування запропонованих інновацій гарантує підвищення продуктивності процесу оброблення деталей як металевих, так і композиційних не менш ніж у 2 рази при безумовному виконанні всіх вимог за якістю. В цьому полягає практична корисність, інноваційна привабливість і світова новизна запропонованих технологій.

**Ключові слова:** формоутворення різанням; стабілізація; оптимізація; корекція.

Актуальність науково-технічних проблем, що поставлені для вирішення в проекті, можна визначити за трьома напрямками. По-перше наразі існує протиріччя між реальними можливостями сучасного верстатного обладнання з ЧПК і системами автоматизації технологічної підготовки виробництва, у тому числі керуючих програм, які не надають ніяких можливостей управління процесом для підвищення його ефективності. По-друге головним фактором, що стримує зростання продуктивності, забезпечення якості оброблюваної поверхні є вібрації, природа виникнення яких і досі недостатньо вивчена. По-третє створення інноваційних верстатно-інструментальних пристроїв з новими кінематичними характеристиками для обробки композиційних матеріалів дозволить вирішити актуальну проблему досягнення необхідної якості оброблення таких матеріалів.

Аналіз основних напрямків досліджень закордонних і вітчизняних вчених у визначеній царині є: 1) моделювання і оптимізація процесу формоутворення різанням [1, 4, 5] – хоча розроблені моделі і представляють процес різання в пружній технологічній системі, проте відсутні зворотні зв'язки, що притаманні замкненій системі з впливом багатопрохідної обробки і використаням в цільовій функції задачі оптимізації; 2) забезпечення необхідної якості оброблення конструкційних матеріалів шляхом корекції траєкторій формоутворення та усунення вібрацій [2, 3] – представлені результати експериментального характеру, без математичних моделей досліджуваних процесів, що не дає можливості для їх узагальнення та створення загальних методик; 3) динамічні моделі шпиндельних вузлів [6, 7] – розглядаються шпиндельні вузли здебільше як окремі конструктивні елементи, без урахування процесу різання, що відбувається на верстаті; 4) технології оброблення композиційних матеріалів [8, 9, 10] – хоча і розроблені рекомендації для вирішення деяких задач оброблення композиційних матеріалів, проте проблема оптимізації процесу, що б зв'язувала одночасно геометричні характеристики верстатно-інструментального обладнання і оптимального режиму різання не досліджувалась.

*Управління процесом різання на верстатах з ЧПК.* Керуюча програма для верстатів з ЧПК зазвичай проектується в САМ-системи і передбачає наявність математичних (геометричних) моделей деталі і заготовки. При цьому технолог-програміст вибирає положення початку системи координат, яке згодом має бути поєднане з «нулями»

верстата. Розроблено математичну модель процесу фрезерування на верстаті з ЧПК, алгоритм та керуючу програму автоматичного вимірювання фактичного положення заготовки на верстаті, алгоритм та програму корегування керуючої програми за принципом мінімаксу, алгоритм та програму проектування скорегованої траєкторії. Виконані попередні експериментальні дослідження з віртуального базування на верстаті HAAS VF3. Створена прикладна програма визначення корекції управляючої програми за результатами вимірювання фактичного положення заготовки безпосередньо на верстаті. В ході експериментальних досліджень була підтверджена ідея адаптивного розподілення припуску та визначені напрямки подальшого удосконалення і втілення в промисловий зразок.

*Аналіз динамічного стану технологічної оброблюючої системи.* Розроблена теоретична база системи діагностики динамічного стану шпіндельних вузлів (ШВ) металорізальних верстатів та автоматичної ідентифікації відносного положення інструмента і заготовки в зоні різання. Теоретичною базою цієї системи є створена пружно-деформаційна модель ШВ, що складається з підсистем заготовки, інструменту, шпінделя і корпусу ШВ. Основним призначенням моделі є визначення відносних статичних і динамічних пружних зміщень інструменту і заготовки в зоні різання з урахуванням їх контактної взаємодії. В основу математичної моделі закладено алгоритм декомпозиції пружної системи на окремі підсистеми із записом системи рівнянь сумісності деформацій (рівнянь рівноваги) в точках їх відокремлення. При визначенні динамічних пружних зміщень для складання рівнянь рівноваги використовується метод динамічних податливостей, а при визначенні статичних пружних зміщень – змішаний метод розрахунку статично невизначених стержневих систем.

*Оброблення різанням композиційних матеріалів.* Запропонована удосконалена схема оброблення отворів у деталях з полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), осьовим комбінованим різальним інструментом. Реалізація такої схеми передбачає спочатку оброблення пілотного отвору, різальним елементом меншого діаметра, що забезпечує зменшення осьової сили різання, в порівнянні з кінцевим етапом, і надалі, остаточне оброблення отвору процесом зустрічного розсвердленням, різальними елементами більшого діаметру. Така схема не тільки повністю виключає осьову силу різання, а навпаки створює стискаючі напруження в пакеті ПКМ, що в принципі виключає дефекти на виході деталі. Розроблено конструкцію спеціального комбінованого різального інструменту, що працює за схемою оброблення отворів ступінчастим інструментом зі змінним напрямком подачі та зустрічне розсвердлення матеріалу. Виготовлено дослідний зразок. Експериментальне дослідження показало можливість досягнення 7-9 квалітету.

#### Список літератури

1. Kai Cheng, Editor, *Machining Dynamics Fundamentals, Applications and Practices*, 2009 Springer-Verlag London Limited, 340p. <https://www.goodreads.com/book/show/6700890-machining-dynamics>
2. Залогов В.А., Криворучко Д.В., Голдун Д.Г. Методика корекції управляючих програм для обробки методом кінцевого фрезерування на станках с ЧПУ / Суми 2005, <http://zavantag.com/docs/298/index-1238809.html>
3. Внуків Ю.Н., Кучугуров М.В., Зубарев А.Е. Особливості роботи привода головного движенья токарного станка в режимі постійного варіювання швидкості вращения шпінделя // Сучасні технології в машинобудуванні, 2015, вип. 10 с.14-26 [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/20901/1/STvMS\\_2015\\_10\\_Vnukov\\_Osobennosti.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPIPress/20901/1/STvMS_2015_10_Vnukov_Osobennosti.pdf)
4. Altintas Y., Kersting P., Biermann D., Budack E., Denkenad B., Lazoglu I. Virtual process systems for part machining operations, *CIRP Annals Manufacturing Technology* 63(2), 2014 – pp. 585–605, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850614001899>
5. Выбор режима точения на основе идентификации динамической системы станка по виброакустическим колебаниям / А.А. Игнатьев, В.В. Коновалов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2014. – № 3 (31). – С. 92–101. <http://cyberleninka.ru/article/n/vybor-rezhima-tocheniya-na-osnove-identifikatsii-dinamicheskoy-sistemy-stanka-po-vibroakusticheskim-kolebaniyam>

6. Abele, E.; Altintas, Y.; Brecher, C.: Machine Tool Spindle Units. CIRP Annals: Manufacturing Technology, 2010, Vol. 59, No. 2, pp. 781 - 802. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850610001897>
7. Lin, C.-W.; Lin, Y.-K.; Chu, C. H.: Dynamic models and design of spindle-bearing systems of machine tools. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2013, Vol. 14(3), pp. 513 - 521. <http://link.springer.com/article/10.1007/s12541-013-0070-6>
8. Хавин Г.Л. Моделирование межслоеного разрушения при сверлении композиционных материалов / Г.Л. Хавин // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – № 83. – С. 277–285.
9. Механическая обработка композиционных материалов при сборке летательных аппаратов (аналитический обзор): монография / Д.В. Криворучко, В.А. Залого, В.А. Колесник и др. под общей редакцией проф. В.А. Залого. – Сумы, Университетская книга, 2013. – 272 с. <http://library.sumdu.edu.ua>
10. Evaluation of thrust force in drilling of BD-CFRP composite using Taguchi analysis, response surface methodology and neural network / A.H. Mervin, S. Divakara, G.S. Vijay, S. Raviraj // European Scientific Journal. –2013. – V.9, N.27. – P. 147–164. <http://ejournal.org/index.php/esj/article/view/1816>

## **Innovative technologies and machine-tool equipment of high-product machining modern construction materials**

**Petrakov Y., Danylchenko Yu., Pasichnyk V.**

***Annotation.** The manufacture of mechanical engineering products (including military ones) during machining is provided by a system that combines the kinematics of the relative movement of the workpiece and the tool with the necessary production technology. The project developed a comprehensive solution to the problem of ensuring machining quality with maximum productivity by creating new machine tools devices and controlling the machining process using an algorithm that provides for three consecutive actions: stabilizing of cutting process according to its head characteristic — Material Removal Rate, process optimization, and finally shaping trajectory correction. Such innovations are based on a new mathematical model of the machining process, which represents the process of cutting in a closed elastic technological system, taking into account the machining "on the trail" and accompanying the process of dynamic phenomena, as well as schemes of theoretical and actual shaping. The use of proposed innovations guarantees an increase in the productivity of the machining of parts from metal and composite materials by no less than 2 times with unconditional fulfillment of all quality requirements. This is the practical utility, innovative appeal and global innovation of the created technologies.*

***Key words:** machining by cutting; stabilization; optimization; correction of machining trajectories.*

## **Инновационные технологии и станочно-инструментальное оснащение высокопродуктивной обработки резанием современных конструкционных материалов**

**Петраков Ю.В., Данильченко Ю.М., Пасечник В.А.**

***Аннотация.** Изготовление изделий машиностроения (в том числе военного назначения) в процессе обработки резанием обеспечивается системой, объединяющей кинематику относительного движения заготовки и инструмента с необходимой технологией производства. В проекте разработано комплексное решение проблемы обеспечения качества обработки при максимальной продуктивности посредством создания нового станочно-инструментального оснащения и управления процессом формообразования резанием по алгоритму, который предусматривает три последовательных действия: стабилизация процесса резания по его головной характеристике – скорости срезания припуска, оптимизацию процесса и, наконец, коррекцию формообразующей траектории. Такие инновации базируются на новой математической модели процесса формообразования, которая представляет процесс резания в замкнутой упругой технологической системе с учетом обработки «по следу» и сопровождающих процесс динамических явлений, а также схем теоретического и фактического формообразования. Использование предлагаемых инноваций гарантирует повышение производительности процесса обработки деталей как из металлических, так и композиционных материалов не меньше чем в 2 раза при безусловном выполнении всех требований по качеству. В этом состоит практическая польза, инновационная привлекательность и мировая новизна созданных технологий.*

***Ключевые слова:** формообразование резанием; стабилизация; оптимизация; коррекция.*