

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

Иновационные технологии и станочно-инструментальное оснащение высокопродуктивной обработки резанием современных конструкционных материалов

Innovative technologies and machine tool equipment for highly productive cutting by cutting modern structural materials

- 1. Номер державної реєстрації теми - 0117U000492,**
- 2. Науковий керівник - д.т.н., проф. Петраков Ю.В., Петраков Ю.В., Petrakov Yuri V.**

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.) При виконанні проекту була застосована комплексна структура проведення досліджень, в якій вибір конкретного типу дослідження визначався цілями і завданнями, які вирішувались на окремих етапах його проведення. По-перше, при розробленні математичних моделей процесів формоутворення різанням був використаний підхід, заснований на чисельному та імітаційному моделюванні, а для визначення деяких емпіричних параметрів моделей – використані методи планування експерименту та регресійний аналіз. По-друге, при розробленні динамічних моделей шпиндельних вузлів був використаний системний підхід, що розглядає шпиндельний вузол як складну систему з урахуванням процесу різання та оточуючих елементів всієї технологічної обробної системи. По-третє, при пошуку інноваційних рішень оброблення композиційних матеріалів використаний метод експериментальних досліджень для перевірки ефективності і встановлення адекватності.

Створені теоретичні засади управління процесом різання, що спрямовані на вирішення задачі оптимізації і розділяються за часом надходження інформації, яка використовується для формування управління. В процесі виконання досліджень з'ясувалося, що найбільш ефективним методом досягнення необхідної точності оброблення деталей складного контуру в умовах невизначеності параметрів технологічної обробної системи є управління за апостеріорною інформацією. Розроблені основи управління за апостеріорною інформацією, що передбачають використання можливостей сучасних верстатів з ЧПК, створені програмні засоби автоматизації проектування скорегованих траєкторій оброблення, які були практично апробовані на верстатах токарної та фрезерної групи, зокрема ST-20 MF-3 HAAS.

Розроблено узагальнену динамічну модель шпиндельних вузлів верстатів як складної механічної коливальної системи, що містить підсистеми інструменту/заготовки, шпинделя на опорах і корпусу, закріпленого на основі. Це складає теоретичну основу створення нових, більш досконалих методів оцінки динамічного стану шпиндельних вузлів.

Інноваційні технології оброблення композиційних матеріалів передбачають застосування нового верстатно-інструментального забезпечення, яке було розроблене для операцій свердління з оптимізацією і розширенням функціональних і технологічних можливостей.

(рос.) При выполнении проекта была применена комплексная структура проведения исследований, в которой выбор конкретного типа исследования определялся целями и задачами, которые решались на отдельных этапах его проведения. Во-первых, при разработке математических моделей процессов формообразования резанием был использованный подход, основанный на численном и имитационном моделировании, а для определения некоторых эмпирические параметров моделей - использованы методы планирования эксперимента и регрессивной анализ. Во-вторых, при разработке динамических моделей шпиндельных узлов был использован системный подход, рассматривающий шпиндельный узел как сложную систему с учетом процесса резания и окружающих элементов всей технологической обрабатывающей системы. В-третьих, при

поиске инновационных решений обработки композиционных материалов использован метод экспериментальных исследований для проверки эффективности и установления адекватности.

Созданы теоретические основы управления процессом резания, направленные на решение задачи оптимизации, которые разделяются по времени поступления информации, используемой для формирования управления. В процессе выполнения исследований выяснилось, что наиболее эффективным методом достижения требуемой точности обработки деталей сложного контура в условиях неопределенности параметров технологической обрабатываемой системы является управление по апостериорной информации.

Разработаны основы управления по апостериорной информации, предусматривающие использование возможностей современных станков с ЧПУ, созданы программные средства автоматизации проектирования скорректированных траекторий обработки, виртуального базирования, которые были практически апробированы на станках токарной и фрезерной группы, в частности ST-20 MF-3 HAAS.

Разработана обобщенная динамическая модель шпиндельных узлов станков как сложной механической колебательной системы, содержащей подсистемы инструмента, заготовки, шпинделя на опорах и корпуса, закрепленного на станине. Это составляет теоретическую основу создания новых, более совершенных методов оценки динамического состояния шпиндельных узлов.

Созданные инновационные технологии обработки композиционных материалов предусматривают применение нового инструментального обеспечения, которое было разработано для операций сверления с оптимизацией процесса и расширением функциональных и технологических возможностей.

(англ.) When implementing the project, a comprehensive research structure was applied, in which the choice of a specific type of research was determined by the goals and objectives that were solved at individual stages of its implementation. First, when developing mathematical models of the processes of shaping by cutting, an approach based on numerical and simulation modeling was used, and experimental design methods and regression analysis were used to determine some empirical parameters of the models. Secondly, in developing dynamic models of spindle units, a systematic approach was used, which considers the spindle unit as a complex system taking into account the cutting process and the surrounding elements of the entire technological processing system. Thirdly, in the search for innovative solutions for machining composite materials, the experimental research method was used to verify effectiveness and establish adequacy.

The theoretical foundations of controlling the cutting process have been created, aimed at solving the optimization problem, which are divided by the time the information used to form the control is received. In the course of research, it turned out that the most effective method of achieving the required accuracy of machining parts of a complex contour in the conditions of uncertainty of the parameters of the technological machining system is control by a posteriori information.

The basics of control by a posteriori information have been developed, involving the use of the capabilities of modern CNC machines, software has been created to automate the design of adjusted machining paths, virtual-based, which have been practically tested on machines of a turning and milling group, in particular ST-20 MF-3 HAAS.

A generalized dynamic model of the machine tool spindle assemblies as a complex mechanical oscillating system containing the subsystems of the tool, the workpiece, the spindle on the supports and the body mounted on the bed is developed. This constitutes the theoretical basis for the creation of new, more advanced methods for assessing the dynamic state of spindle units.

Created innovative technologies for machining composite materials provide for the use of new tooling, which was developed for drilling operations with process optimization and the expansion of functional and technological capabilities.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

4.1. Петраков Ю.В., Мацківський О.С. Система адаптивного управління верстатом з числовим програмним управлінням; Патент на корисну модель; № 108543 дата 25.07.2016 <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=225545>

4.2. Петраков Ю.В., Шуплецов Д.К. Компютерна програма "Virtual locating for CNC machine"; Назва охоронного документу - Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір ; № 77184 дата 27.02.2018 <https://data.gov.ua/dataset/2204547d-c9f0-407f-a878-960366ec7d8c>

4.3. Петраков Ю.В., Шуплецов Д.К. Спосіб формоутворення поверхонь деталей на верстатах з ЧПК; Патент на корисну модель; № 117239 дата 26.06.2017 <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=236678>

4.4. Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й., Пасічник В.А., Степаненко С.О. КОМБІНОВАНЕ СВЕРДЛО З ОБГІННОЮ МУФТОЮ ОСЬОВОГО ХОДУ Патент на винахід 115299, дата 10.10.2017 <http://uapatents.com/patents/adamenko-yurijj-ivanovich>

4.5. Данильченко Ю.М., Петришин А.И. , Данильченко М.А. Стенд для діагностики похибок виготовлення і збирання шпиндельних вузлів гільзового виконання; Патент на корисну модель; № 112210 дата 12.12.2016

<http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=230202>

5. Порівняння зі світовими аналогами.

Результати відповідають світовому рівню, а підходи до керування енергетичними та технологічними можливостями джерел нагрівання за рахунок формування високотемпературних газових потоків із прогнозованими та керованими у просторі та часі тепловими, газодинамічними та концентраційними параметрами не мають аналогів у світовій практиці інженерії поверхні.

Аналіз існуючих аналогічних розробок та їх порівняння з виконаними розробками показує, що запропоновані ідеї, гіпотези та фактично відпрацьовані концепції мають світову новизну. Про це свідчать стійкі тенденції розвитку сучасних систем управління та програмних продуктів провідних світових фірм, що тільки починають рухатись за чітко визначеною в запропонованому проекті концепцією. Отримані наукові та практичні результати відповідають світовій практиці управління процесами різання на верстатах з ЧПК, проектування та моніторингу шпиндельних вузлів і обробленню композиційних матеріалів.

6. Економічна привабливість для просування на ринок

Застосування розроблених технологій та обладнання дозволяє створити нові технології, а саме:

- віртуального базування заготовок на верстатах з ЧПК, що дозволяє значно скоротити час (в 10-20 разів, в залежності від габаритів і маси заготовки) на вивірювання заготовки на столі верстату і встановлення системи координат управляючої програми;
- корекції траєкторії формоутворення при контурному обробленні, що в 5-10 разів підвищує точність оброблення за рахунок усунення похибки від пружних деформацій технологічної обробної системи;
- моніторингу верстатного обладнання на виявлення вузлів, що зменшують вібростійкість і надати рекомендації з виконання умов за якістю процесу різання, що надає резерви зі збільшення продуктивності;
- свердління отворів у деталях з композиційних полімерних матеріалах з усуненням дефектів поверхні та необхідною продуктивністю за рахунок нового інструментального обладнання.

7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).

Розроблені технології можуть застосовуватись на підприємствах машинобудівного комплексу, в верстатно-інструментальній галузі, в авіабудуванні, всюди де використовуються верстати з ЧПК, металорізальне обладнання, оброблення деталей з композитних матеріалів.

8. Стан готовності розробки.

Розроблені та виготовлені експериментальні зразки інструментального пристрою для свердління отворів в деталях з композитних матеріалів, розроблені методики віртуального базування, що забезпечені відповідними САМ-системами, які пройшли практичну апробацію, розроблені засоби моніторингу, які повністю адаптовані до існуючого основного верстатного обладнання і можуть бути впроваджені у промислове виробництво.

9. Існуючі результати впровадження.

Технологія віртуального базування була практично апробована в Навчально-тренінговому центрі «НТУУ КПІ - НААС» на фрезерних верстатах VF-3, MF-3, підтверджено підвищення продуктивності на 35% при фрезеруванні контуру деталі «кронштейн», скорочення часу встановлення заготовки, коректність функціонування розробленого програмного забезпечення. Порівняльні експериментальні дослідження створеного інструментального пристрою з традиційними інструментами переконливо довели його ефективність у забезпеченні якості (без розшарувань та інших дефектів) при свердлінні отворів у деталях з композитних матеріалів.

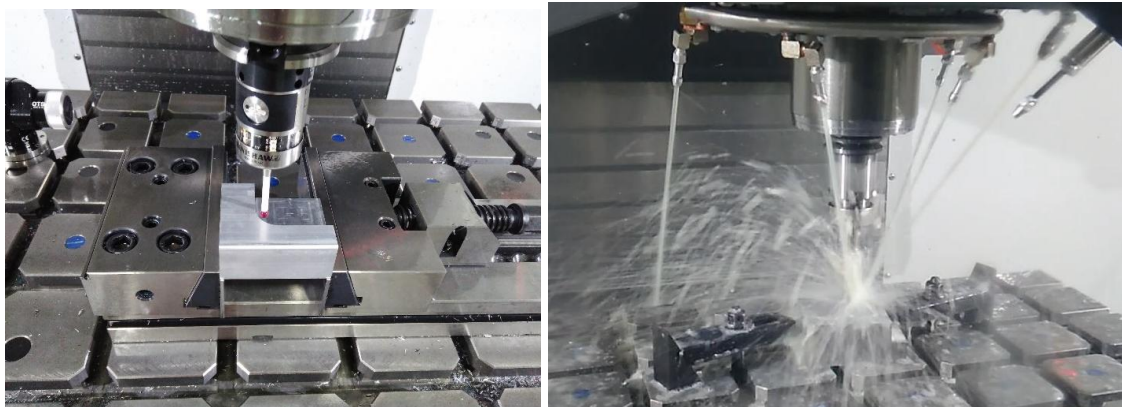
10. Назва організації, телефон, E-mail

Національний технічний університет України «КПІ ім. Ігоря Сікорського», механіко-машинобудівний інститут, кафедра технології машинобудування,
(044) 204-81-06, tm_mmi@kpi.ua

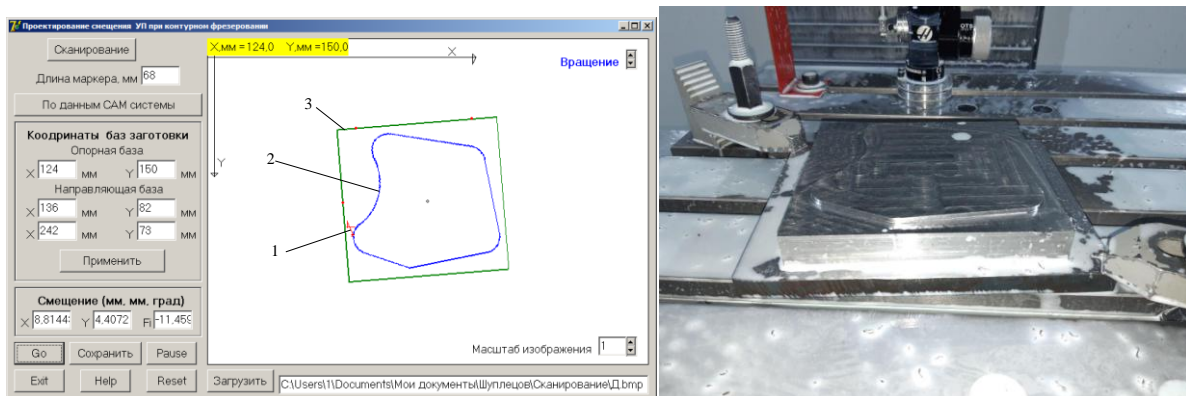
11. Фото розробки



Експериментальний зразок інструментального пристрою для свердління отворів у композиційних матеріалах



Вимірювання положення заготовки для віртуального базування, оброблення контуру на верстаті з ЧПК VF-3 Haas



Интерфейс створеного програмного забезпечення віртуального базування, оброблена деталь

12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. U. Heisel, S. Pasternak, M. Storchak, M. Schaal, Yu. Danilchenko Modellieren des Verzahnens mit Scheibenwerkzeugen // ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. Vol. 105, No. 7-8, 2010, pp. 649-654 / Scopus <https://doi.org/10.3139/104.110358>
2. Y. Petrakov, M. Danylchenko, A. Petryshyn Programming spindle speed variation in turning // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. vol 2, No1 (85), 2017, pp 4-9 / <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.95204>
3. Y. Petrakov, D. Shupletsov Contour milling programming technology for virtual basing on a CNC machine // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies vol 2, No 1 (98)/ 2019/ 54-60pp. / <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.162673>
4. Петраков Ю.В. Методи управління процесами різання Вісник ЖДТУ №2 (80), Житомир, 2017.- С.124-134 <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/119010>
5. Петраков Ю.В., Трибрат К.О. Моделювання автоколивань при токарному обробленні // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк, 2019. Випуск № 66/ с.263-271 / <http://lutsk-ntu.com.ua/uk/mizhvuzivskiy-zbirnik-naukovi-notatki-zanapryamkom-inzhenerna-mehanika-vidpovidalnyi-redaktor-dtn>
6. Y. Petrakov Control of grinding polygonal surfaces / ISSN 2521-1943 Mechanics and Advanced Technologies №3 (81), 2017 34-39pp; <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2017.81.112561>
7. Пасічник В.А., Адаменко Ю.І., Бесарабець Ю.Й., Степаненко С.О. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ КОМБІНОВАНИМИ СВЕРДЛАМИ У ДЕТАЛЯХ З ПКМ // Резание и инструмент в технологических системах, Краматорськ, КДМА, с. 233-245 https://www.irbis-nbu.gov.ua>irbis_nbu>cgirbis_64
8. Y. Petrakov, D. Shuplietsov Programming of adaptive machining for end milling / ISSN 2521-1943 Mechanics and Advanced Technologies #1 (79), 2017 34-40pp https://www.researchgate.net/publication/322092320_Programming_of_adaptive_machining_for_end_milling
9. Петраков Ю.В. Повышение эффективности шлифования наружной звездочки кулачкового дифференциала ISSN 2521-1943 Mechanics and Advanced Technologies #3 (84), 2018 45-51pp; <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2018.84.141449>
10. Петраков Ю.В. Моделирование гашения колебаний при токарной обработке Вісник НТУУ «КПІ» Машинобудування №77, Київ, 2016.- С.119-124 / <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19526>

11. Danylchenko Yu.M., Storchak M.G. Static calculation of the “spindle unit” elastic system by using transfer matrices method / Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. - № (1) 79. - pp. 19-25. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2017.79.92754>
12. Danylchenko Yu., Storchak M. Elaboration of principles for developing technological systems for the finishing of gears / Mechanics and Advanced Technologies. – 2019. - № (1) 85. - pp. 26-34. <https://doi.org/10.20535/2521-1943.2019.85.154822>

13. Надати ключові слова до розробки

Верстати з ЧПК, віртуальне базування, фрезерування контурів, корекція за апостеріорною інформацією, моніторинг динаміки шпинделя, свердління отворів у композитах