

DOI 10.32820/2079-1747-2021-28-37-47

УДК 621.914

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ НА РОЗМІР ТА ЯКІСТЬ ПОВЕРХНІ ФАСКИ ПРИ ФРЕЗЕРУВАННІ КРОМОК ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РТК**©Скоркін А.О., Кондратюк О.Л.¹, Кисла Д.С.²***Українська інженерно-педагогічна академія¹**Харківський радіотехнічний коледж²***Інформація про авторів:**

Скоркін Антон Олегович: ORCID: 0000-0003-3032-8341; Andromeda862@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID:0000-0002-3263-0483; kondr20071@i.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування та транспорту; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Кисла Дар'я Сергіївна: ORCID:0000-0002-2400-5514; d.kisslaya@gmail.com; голова циклової комісії, Харківський радіотехнічний коледж, вул. Сумська 18/20, м. Харків, 61057, Україна

В умовах, коли першочерговим завданням машинобудівного виробництва стає випуск конкурентної продукції, на передній план висувається забезпечення високого рівня виробів, що виготовляються, по всьому спектру їх експлуатаційних показників. Аналогічні вимоги пред'являються і до деталей, що входять до їхнього складу. Отримання поверхні об'єкта виробництва з оптимальними показниками в даний час набуває такого значення, що і продуктивність. Особливо це стосується обробки різанням, як правило, кінцевого етапу у виготовленні деталей машин.

Підвищення продуктивності, зниження трудомісткості та забезпечення безпеки виконання фінішних операцій є актуальними завданнями сучасного машинобудування. До таких операцій відносяться видалення облою і задирок з деталей, зачистка гострих кромки, що утворилися в процесі обробки заготовок і т.д. Особливо актуальною є ця проблема для деталей, що мають складні контури та форми.

Формування небажаних задирок є загальною проблемою для всіх видів обробки: фрезерування, точіння, вирубання та ливарні процеси. Задирки повинні бути видалені з низки причин: вимоги техніки безпеки, технічні умови виконання наступних технологічних операцій (поверхневе зміцнення, нанесення покриттів, складання).

Ключові слова: інструмент, фрезерування, задирки, РТК, якість обробленої поверхні.

Skorkin A., Kondratyuk O., Starchenko O. «The influence of processing parameters on the size and quality of the surface of the chamfer when milling the edges of parts using RTC»

In conditions when the production of competitive products becomes the primary task of the machine building industry, the provision of a high level of manufactured products across the entire spectrum of their performance is put forward. Similar requirements are imposed on the parts that make up their composition. Obtaining the surface of a production object with optimal performance is currently acquiring the same importance as productivity. This is especially true for machining, usually the final stage in the production of machine parts.

Increasing productivity, reducing labor intensity and ensuring the safety of finishing operations are urgent tasks of modern mechanical engineering. Such operations include the removal of burrs from parts, cleaning of sharp edges formed during the processing of workpieces, etc. This

problem is especially relevant for parts with complex contours and shapes with a large number of wells, pockets, shelves, ribs and other structural elements.

The formation of unwanted burrs is a common problem in all types of machining: milling, turning, punching and casting processes. Burrs must be removed for a number of reasons: safety requirements, technical specifications for subsequent technological operations (surface hardening, coating, assembly).

Keywords: tool, milling, burr, RTC, quality of the finished surface.

Вступ

З метою підвищення продуктивності фінішної обробки в умовах серійного виробництва застосовують низку традиційних та перспективних методів.

Віброабразивна обробка

Ефективним методом обробки металевих деталей із габаритними розмірами у плані до 300 мм є віброабразивна обробка (рис. 1).

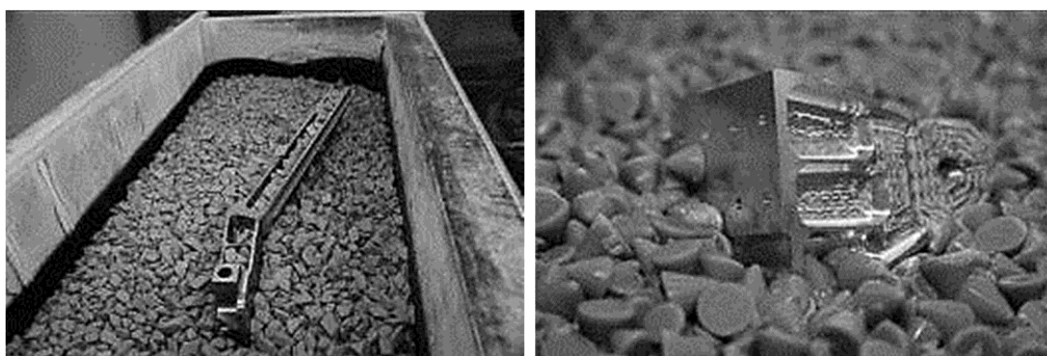


Рис. 1 – Віброабразивна обробка

Віброабразивна обробка забезпечує:

- видалення задир і заокруглення гострих кромek на штампованих деталях та деталях після обробки різанням;
- очищення поверхонь виливків від залишків формувального матеріалу;
- видалення облої на деталях з термореактивних пластмас;
- поверхневе зміцнення металевих деталей з одночасним забезпеченням необхідної шорсткості поверхні;
- полірування та підготовку поверхонь деталей під гальванічні та лакофарбові покриття.

Загальною особливістю віброабразивної обробки деталей у вільних абразивних середовищах є безрозмірний характер процесу, що відбувається в зоні обробки, при цьому деталі обробляються по всіх поверхнях, яких є доступ абразивним частинкам (гранулам) і хімічно активним робочим рідинам, що застосовуються в деяких установках [1]. Незважаючи на різноманітність конструкцій віброабразивних машин, всі вони реалізують принцип порушення коливання робочої камери з метою передачі частинкам абразивного матеріалу та оброблюваним деталям кінетичної енергії, необхідної для роботи мікрорізання [2].

Обробка еластичним абразивним інструментом

Метод механізованої обробки абразивними щітками (рис. 2), що обертаються, застосуємо до деталей з габаритними розмірами в плані до 30 м. Використовувані в цьому процесі щітки виконані або з абразивної шкірки, або з полімерно-абразивних ниток [3-4].

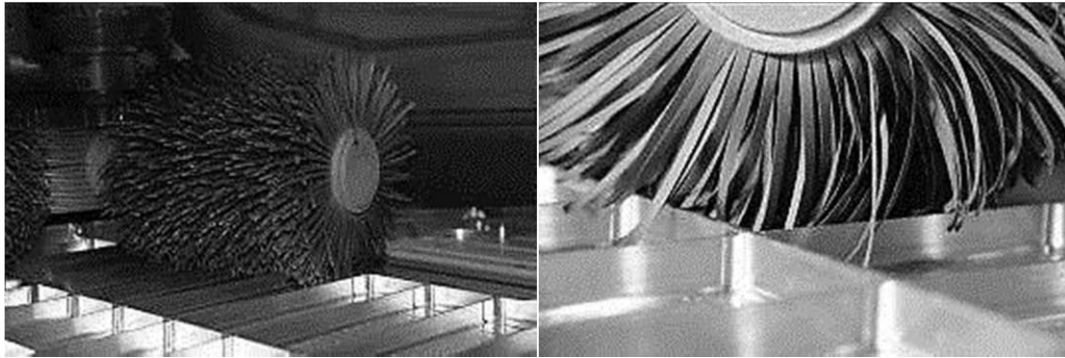


Рис. 2 - Обробка еластичним абразивним інструментом

Основними режимними параметрами традиційного обладнання для зачистки пелюстковими колами є частота обертання кола, осадку кола, швидкість подачі та кількість робочих ходів. Необхідна для зняття матеріалу сила різання забезпечується переважно відцентровою силою інерції, що виникає при обертанні окремих пелюсток, а також пружністю.

Роботизована механічна обробка країв

У виробництві авіаційної техніки після фрезерної обробки типових деталей з алюмінієвих та титанових сплавів (рис. 3) виникає необхідність видалення задирок. При цьому складність обробки таких деталей полягає часто в різновисотності їх ребер жорсткості. Зняття задирок з таких деталей у віброконтейнерах, абразивними колами та іншими подібними способами неможливо.



Рис.3 - Типові авіаційні деталі

Одним із шляхів вирішення проблеми видалення задирок з типових авіаційних деталей, є застосування різних робототехнічних систем. Автоматизована система, реалізована на основі РТК, дозволяє керувати процесом обробки та домагатися його стабільності, що гарантує високу якість продукції (рис. 4) [5].

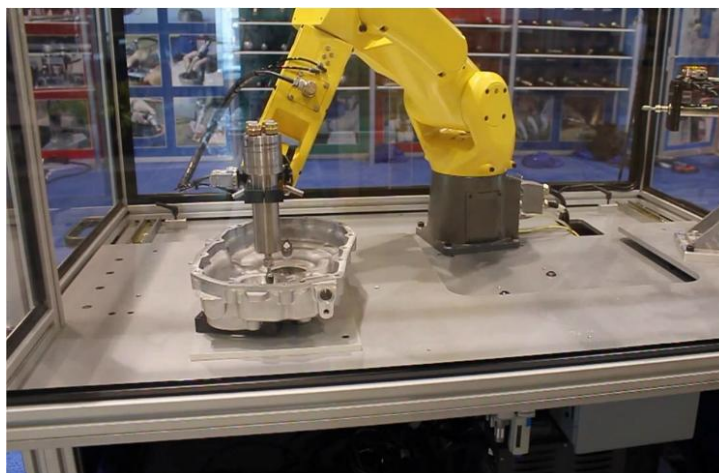


Рис. 4 - РТК обробки кромки

Обробка кромки деталей може бути виконана як лезовим, так і абразивним (у тому числі і еластичним) інструментом, що обертається. У першому випадку інструмент встановлюється в шпindel, який орієнтується роботом щодо кромки деталі, що обробляється.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Активне впровадження промислових роботів у вітчизняне машинобудування почалося в 80-х роках минулого століття, але в процесах зняття задирок і притуплення країв роботи не використовувалися. Це пов'язано, перш за все, з відсутністю на ринку пропозицій з комплектування РТК додатковими пристроями та підсистемами для розпізнавання задири і відхилень геометричної форми деталі в реальному режимі часу [6]. У сучасному виробництві обробку кромки великогабаритних деталей складної форми виробляють ручним слюсарним інструментом з великою кількістю шлюбу, у зв'язку з чим виникла необхідність заміщення ручної праці на машинний. При цьому доводилося враховувати, що сучасний промисловий робот має ряд обмежень, таких як зона досяжності, вантажопідйомність, необхідність виключення зіткнень з допомогою попереднього програмування кожного руху. Незважаючи на ці обмеження, застосування промислових роботів у процесах зняття задирок і розмірного притуплення кромки може і має забезпечити підвищення якості та ефективності процесу, чому і присвячене дане дослідження.

Фінішна обробка - це заключна механічна операція обробки деталей машин, у тому числі і операція зняття задирок і розмірного притуплення кромки, що забезпечує високу якість оброблених поверхонь та їх сполучень [7].

В даний час у світі налічується 10 компаній лідерів з виробництва промислових роботів для різноманітних сфер діяльності, до них відносяться:

1. FANUC (Японія);
2. KUKA (Німеччина);
3. ABB (Швеція, Швейцарія)
4. KAWASAKI (Японія);
5. MOTOMAN (Японія, США);
6. OTC DAIHEN (Японія);

7. PANASONIC (Японія);
8. KC ROBOTICS (США);
9. NACHI FUJIKOSHI (Японія);
10. COMAU (Італія).

Що стосується фірм Comau, Nachi Fujikoshi, Panasonic, OTC Daihen, то вони спеціалізуються на забезпеченні процесів дугового зварювання, плазмового різання, гнучких систем живлення, навантаженні-розвантаженні [8]. Таким чином, опосередковано підходять для застосування роботів на операціях фінішної обробки, залишаються компанії Fanuc, Kuка, ABB, Kawasaki, Motoman [68].

Постановка проблеми

Формування груп деталей зі складною геометрією, що застосовуються у виробництві авіаційної техніки і підлягають обробці на обладнанні робототехнічного комплексу, може бути проведено на прикладі конструктивно-технологічного аналізу деталей планера середньомагістрального літака МС-21.

Усі деталі класифікуються за конструктивно-технологічними ознаками [9].

При класифікації деталей за конструктивними характеристиками прийнято таку основну ознаку:

- геометрична форма;


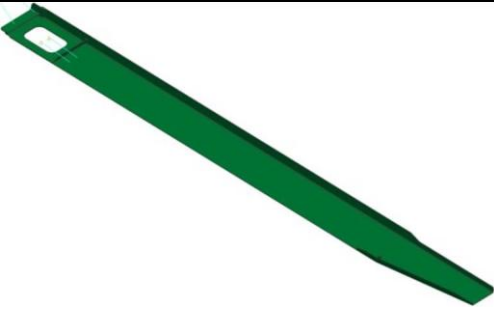
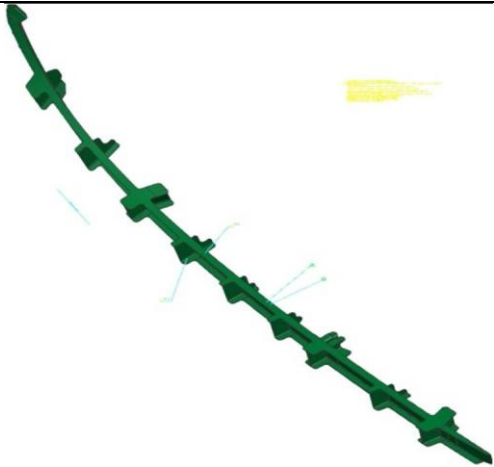
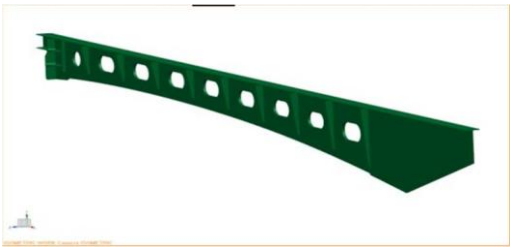
В основу технологічної класифікації покладено такі ознаки класифікації деталей:


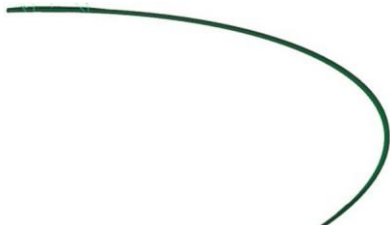



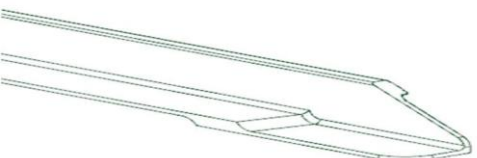
- розмірна характеристика;
- група матеріалів;
- кваліфікація точності;
- параметр шорсткості;
- технологічні вимоги

В результаті конструктивно-технологічного аналізу номенклатури деталей було виявлено, що для фінішної обробки в умовах робототехнічного комплексу потрапляють групи деталей, що піддаються ручному слюсарному доведенню після механічної обробки.

У таблиці 1. представлені деталі-представники для механізованої та автоматизованої обробки кромки за допомогою робототехнічної системи. Цей класифікатор дозволив визначити кількість та тип тестових зразків для виконання дослідних робіт з впровадження технології механізованої та автоматизованої обробки кромки.

Таблиця 1 – Класифікатор деталей виробу МС-21 для фінішної обробки на обладнанні РТК

№	Найменування	Матеріал	Габарити деталі, мм (ВхШхД)	Ескіз деталі
1	Рама ліхтаря збоку права	Штамповка 1933Т3-П ТУ1-804-480-2009	535x1233x1726	
2	Балка верхня	Профіль 1933Т2 ПФ 288 (60X210) ТУ1814-632-07510017-2009	35x200x2610	
3	Балка нижня права	Штампівка 1933Т3-П ТУ1-804-480-2009	203x548x2795	
4	Балка поздовжня №1	Профіль 1933Т2 ПК 13713-16 (95x340) ТУ1814-632-07510017-2009	4000x95x340	

5	Обід бічний	Профіль 1933Т2 ПФ 110-16 (100x780) ТУ1814-632-07510017-2009	68*684*3081	
6	Кутник	Профіль 410618 В95очТ2 ОСТ1 90113-86 ГОСТ 13738-91	15*26*3951	
7	Профіль верхній	Профіль 1933Т2 ПФ 284 (50x60) ТУ1814-632-07510017-2009	40x40x9167	
8	Профіль нижній	Профіль 1933Т2 ПФ 285 (50x100) ТУ1814-632-07510017-2009	61x137x9167	
9	Обід бічний	Профіль 1933Т2 ПФ 266-16 (100x310) ТУ1814-632-07510017-2009	2720x650x80	
10	Стрінгер	Спецпрофіль 450183; В95очТ2 ОСТ 1 90113-86	L=7970	

Метою роботи є створення управляємої технологічної системи, що забезпечує високу якість процесу видалення фрезеруванням гострих кромки з довгомірних деталей, що отримуються на станках з ЧПУ.

Виклад основного матеріалу

Одним із шляхів вирішення завдання підвищення ефективності фінішної обробки – це створення РТК на базі дослідницького комплексу, сформованого на основі промислового робота.

Освоєння та впровадження такого комплексу має забезпечити значний техніко-економічний ефект та, за попередньою оцінкою, дозволить до 50% знизити трудомісткість операцій фінішної обробки деталей.

Промислове використання РТК вимагає його конфігурування, дослідження експлуатаційних властивостей, зокрема стеження фактичної точністю, вивчення можливості управління нею, дослідження якості обробки, аналізу частотних властивостей, визначення номенклатури деталей, які підлягають обробці.

На рисунку 5 представлена 3D модель робототехнічного комплексу із зазначенням компонентів, що входять до його складу.

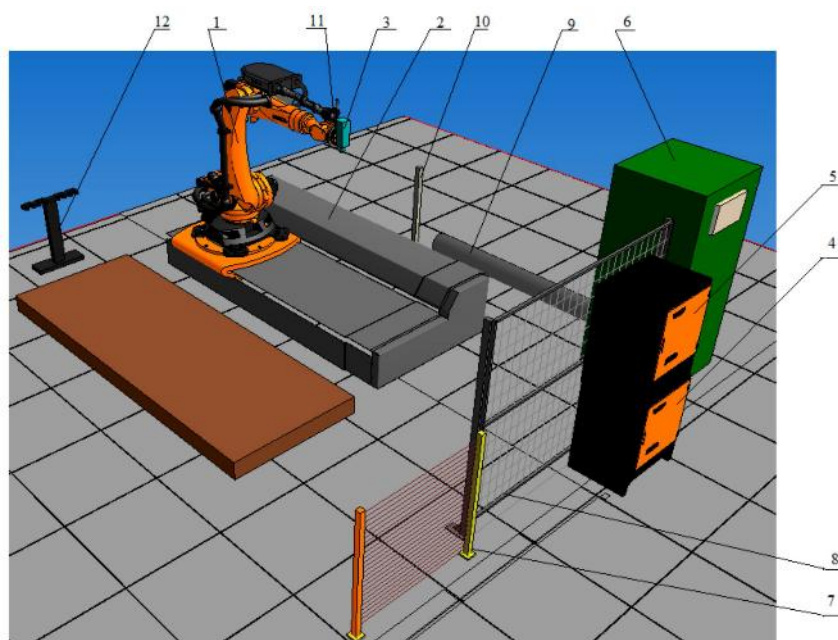


Рис. 5 – 3D-модель РТК зачистки

Промисловий робот; 2-Лінійна напрямна 3-Електричний шпиндель 4- Контролер робота 5- Шафа управління РТК 6-Витяжна фільтрувальна установка; 7-Фоторелейний бар'єр; 8- Механічні огороження; 9-Повітряпровід 10-Стійка для повітроводу 11- Силомоментний датчик 12-Магазин для інструментів

Робототехнічний комплекс (РТК) призначений для механічної обробки кромки авіаційної техніки, а саме для виконання наступних технологічних операцій:

- видалення ліквідів (задирок та грата) з деталей після механічної обробки фрезеруванням.

- притуплення кромки шляхом формування заданих у конструкторській документації радіуса/фаски або їх комбінації.

Матеріал вихідних заготовок – титанові та алюмінієві сплави. Технічні параметри обладнання, що входить до складу РТК, задовольняють вимоги технічних умов і забезпечують виконання необхідних технологічних операцій.

Робототехнічний комплекс дозволяє автоматизувати процес видалення задирок та притуплення кромки з формуванням радіуса/фаски.

Радіус робочої зони промислового робота становить 2700 мм, що дозволяє обробляти заготовки шириною до 1500 мм. Для розширення робочої зони робот дооснащений платформою лінійного переміщення вздовж заготовки, що дозволяє обробляти заготовки довжиною до 4000 мм. Лінійна вісь виконана у закритому захищеному виконанні з плоскою поверхнею. Шафа управління РТК з панеллю оператора, контролер робота з пультом управління перебувають поза робочої зони промислового робота.

Багато деталей, що використовуються як складові машин і механізмів, мають закруглення і фаски. Ці елементи характеризуються розмірами та радіусами, які встановлюються таким документом, як ГОСТ 10948-64.

Фаски призначені переважно для того, щоб притупляти занадто гострі кути деталей і видаляти задирки, тим самим, забезпечувати безпеку персоналу, що проводить складання різних машин і механізмів, їх експлуатацію, обслуговування та ремонт.

Перевага утворення фаски перед заокругленням гострої кромки полягає в обробці та видаленні задирок різного розміру за один раз, підвищеної довговічності твердосплавного інструменту в порівнянні з еластичним. У роботі розглядається процес обробки кромки освітою фаски.

Для вирішення проблеми розмірності фаски на деталі в результаті видалення задирок були проведені комплексні лабораторні випробування в межах факторного простору, в ході яких варіювалися коефіцієнт KR від 0,1 до 0,7, (мм/сек)/Н; частоти обертання шпинделя від 1100 хв^{-1} до 3200 хв^{-1} та подачі від 300 мм/хв до 1200 мм/хв. Величини були прийняті з урахуванням розміру фаски С (рисунк 6) і параметру шорсткості поверхні Ra.

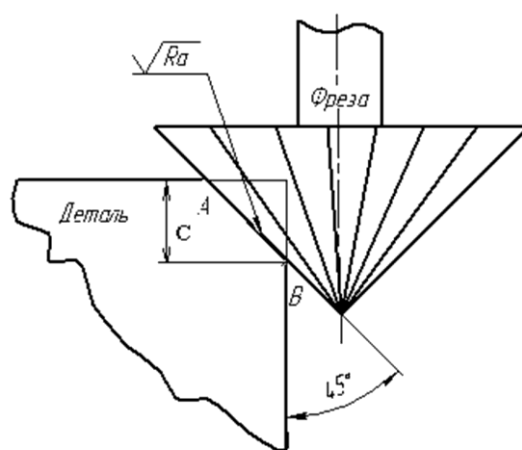


Рис. 6 – Схема формування фаски

Для оцінки впливу подачі та частоти обертання на шорсткість обробленої поверхні Ra побудований графік поверхні відгуку, показаний на рисунку 7. Отримані з графіка дані свідчать, що із збільшенням подачі та частоти обертання відбувається підвищення якості обробки ($Ra=0,12 \text{ мкм}$). Найкраща область показана темно-зеленим кольором. При цьому екстремуми досягнуті за малих значень частоти обертання шпинделя і високої подачі.

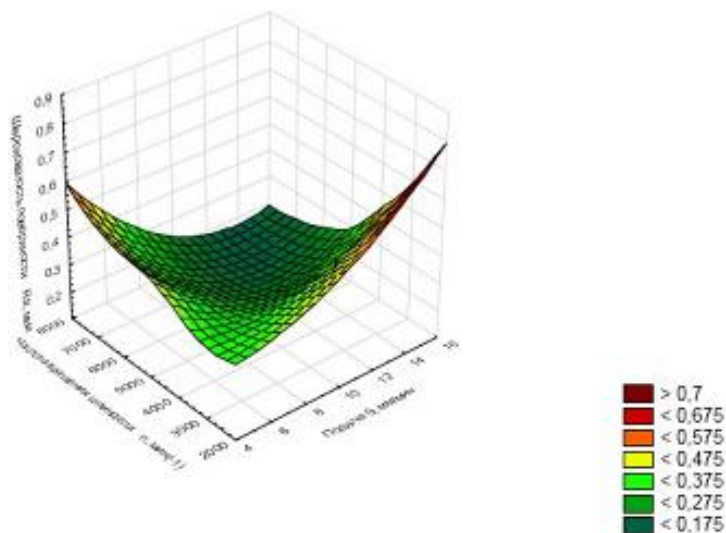


Рис. 7 – Вплив подачі та частоти обертання на шорсткість

Для оцінки впливу подачі та коефіцієнта посилення на шорсткість обробленої поверхні побудований графік поверхні відгуку, представлений на рисунку 8. Отримані з графіка дані свідчать, що зі збільшенням коефіцієнта посилення та середніх значення подачі спостерігається підвищення якості обробки (зменшується R_a в межах 0,25 мкм). Це збільшенням швидкості реагування силомоментного датчика.

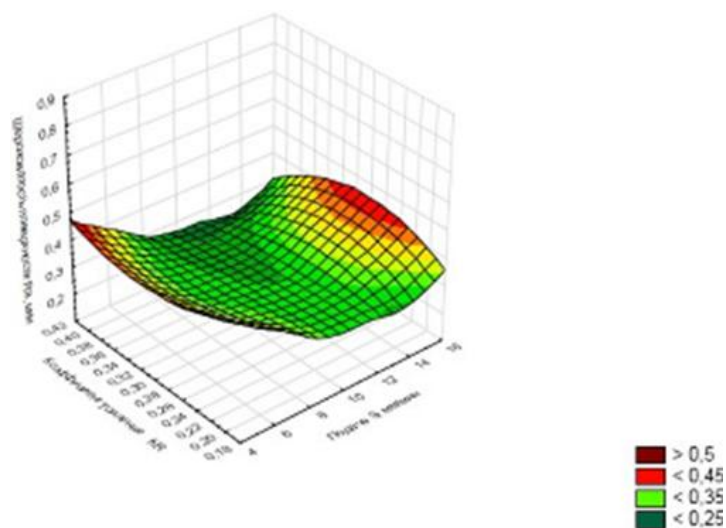


Рис. 8 – Вплив подачі та коефіцієнта посилення на шорсткість

Висновки

Запропоновано класифікацію деталей зі складною геометрією, що враховує їх конструктивно-технологічні особливості при обробці на обладнанні робототехнічного комплексу.

Експериментально досліджено вплив режимних та настроювальних параметрів автоматизованої технологічної системи обробки (подача, частота обертання шпинделя, коефіцієнт посилення та сила утримання) на розмір фаски та шорсткість поверхні R_a , одержуваних після фрезерування кромки деталей.

Список використаних джерел:

1. Боровский Г. В. Справочник инструментальщика / Г. В. Боровский, С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов ; под общей ред. А. В. Маслова. – Изд. 2-е, исп. – М. : Машиностроение, 2007. – 464 с. : ил.
2. Gu Xiaoyi. A Compliant Transoral Surgical Robotic System Based on a Parallel Flexible Mechanism / Gu Xiaoyi, Li Changsheng, Xiao Xiao // *Annals of biomedical engineering*. – 2019. – Vol. 47, N 6. – P. 1329–1344.
3. Yen Y.-C. A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries / Y.-C. Yen, A. Jain, T. Altan // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2004. – Vol. 146, N 1. – P. 72–81.
4. Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge / A. Skorkin [et. al.] // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – N 2/1 (98). – P. 60–69.
5. A distributed and parallel self- assembly approach for swarm robotics / H. Yang [et. al.] // *Robotic Automation System*. – 2019. – N 118. – P. 80–92.
6. Sastry S. Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process / S. Sastry, S. G. Kapoor, R. E. Devor // *ASME Journal of Engineering for Industry*. – 2001. – Vol. 123. – P. 753–756.
7. Richard Y. Chiou Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning / Y. Chiou Richard, Y. Liang Steven // *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. – 2000. – N 40. – P. 114–118.
8. Engin S. Mechanics and Dynamics of general milling cutters. Part 1: helical end mills / S. Engin, Y. Altintas // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. – 2001. – N 41. – P. 2195–2212.
9. Altintas Y. *Manufacturing Automation. Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design* / Y. Altintas. – Cambridge : Cambridge University Press, 2012. – 366 p.

References

1. Borovskii, GV, Grigorev, SN & Maslov, AR 2007, *Spravochnik instrumentalshchika*, 2nd edn., Mashinostroenie, Moskva.
2. Gu, Xiaoyi, Li, Changsheng & Xiao, Xiao 2019, 'A Compliant Transoral Surgical Robotic System Based on a Parallel Flexible Mechanism', *Annals of biomedical engineering*, vol. 47, no. 6, pp. 1329-1344.
3. Yen, YC, Jain, A & Altan, T 2004, 'A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries', *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 146, no. 1, pp. 72-81.
4. Skorkin, A, Kondratyuk, O, Lamnauer, N & Burdeinaya, V 2019, 'Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge', *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no. 2/1 (98), pp. 60-69.
5. Yang, H, Cao, S, Bai, L, Zhang, Z & Kong, J 2019, 'A distributed and parallel self- assembly approach for swarm robotics', *Robotic Automation System*, no. 118, pp. 80-92.
6. Sastry, S, Kapoor, SG & Devor, RE 2001, 'Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process', *ASME Journal of Engineering for Industry*, vol. 123, pp. 753-756.
7. Richard, YC & Steven, YL 2000, 'Chiou Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning', *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, no. 40, pp. 114-118.
8. Engin, S & Altintas, Y 2001, 'Mechanics and Dynamics of general milling cutters. Part 1: helical end mills', *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, no. 41, pp. 2195-2212.
9. Altintas, Y 2012, *Manufacturing Automation. Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, Cambridge University Press, Cambridge.

Стаття надійшла до редакції 11 грудня 2021 року