

«Перспективи розвитку машинобудівної інженерії та транспортних технологій»

СЕКЦІЯ 2. МАШИНОБУДУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.914.22

Г.М. Виговський, к.т.н., доц., проф. кафедри механічної інженерії
Н.О. Балицька, к.т.н., доц., доц. кафедри механічної інженерії
М.М. Плисак, аспірант
В.В. Отаманський, ст. викладач кафедри механічної інженерії
Державний університет «Житомирська політехніка»

ВПЛИВ КОСОКУТНОЇ ГЕОМЕТРІЇ НА СКЛАДОВІ СИЛ РІЗАННЯ ПРИ ВРІЗАННІ В ЗАГОТОВКУ ІЗ ВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ

Одним із шляхів інтенсифікації показників якості формоутворення поверхневого шару є удосконалення існуючих та розробка нових конструкцій різальних інструментів, на основі аналізу кінематики та процесу обробки. Останнім часом широкого розповсюдження знайшли процеси торцевого фрезерування інструментами, оснащеними надтвердими матеріалами (НТМ) [1–3]. Обробка фрезами з НТМ характеризується високою продуктивністю, якісними характеристиками поверхневого шару тощо. Разом з тим, більшість конструкцій торцевих фрез реалізують звичайну схему різання з розподілом припуску за подачею, що суттєво зменшує реальну кількість ножів, що беруть участь у різанні, і погіршує динаміку процесу фрезерування. Значні переваги мають конструкції спірально-ступінчастих фрез косокутного різання з безвершинними різальними елементами із НТМ. Застосування таких фрез дає можливість підвищити продуктивність та якість обробки, дозволяє полегшити процес зрізання мінімальних товщин зрізуваних шарів, які характерні для чистового різання, а монотонні різальні кромки відносно великих радіусів – зменшити навантаження на одиницю довжини різальної кромки, що підвищує зносостійкість та продуктивність обробки [4–6]. Разом з тим нестационарність процесу різання, яка властива процесам торцевого фрезерування, призводить до змінних деформацій технологічної системи. При обробці виникають значні сили різання, які змінюють свою величину та напрям дії, і призводять до похибок обробки деталей у поперечному напрямку внаслідок динамічних деформацій технологічної системи [7–9]. У повздовжньому напрямку (у напрямку подачі) похибки обробки пов'язані насамперед зі змінністю ширини фрезерування на ділянках врізання фрези у заготовку та на виході. Змінна ширина фрезерування призводить до коливань сил різання при вході / виході різальних елементів у/із зони різання, до змінних деформацій технологічної системи та похибок повздовжнього профілю. Отже зменшення похибок обробки для підвищення точності обробленої деталі та покращення фізико-механічних властивостей поверхневого шару має вирішальне значення при фінішному торцевому фрезеруванні [4].

Рядом досліджень [1–6] встановлена висока ефективність використання торцевих ступінчастих фрез косокутного різання, оснащених НТМ для напівчистої та чистої обробки плоских поверхонь чавунних та сталених загартованих деталей, разом з тим зміна геометрії та умов обробки деталей не дозволяє у повній мірі використовувати отримані дані. Серед факторів, які впливають на всі характеристики різання є сили різання, від яких залежать стійкість різального інструмента та якість обробки. Для зменшення обсягу натурних досліджень процесів різання на даний час, широкого застосування набуло моделювання процесів механічної обробки, методом скінченних елементів (МСЕ) в таких програмах, як: Abaqus, AdvantEdge, Ansys, Deform-3D тощо [10].

Метою дослідження було визначення впливу кутів нахилу λ в діапазоні від $\lambda = 0^\circ$ до $\lambda = -45^\circ$ головних різальних кромок ножів косокутної торцевої фрези при врізанні в заготовку із вуглецевої сталі У8 (46 HRC) на складові сили різання P_x , P_y , P_z шляхом моделювання процесу косокутного торцевого фрезерування у програмі Deform-3D. Умови моделювання: швидкість різання $v = 2,5$ м/с; подача $S_z = 0,625$ мм/зуб; глибина різання $t = 0,12$ мм; інструмент – однозуба торцева фреза діаметром 360 мм, інструментальний матеріал – гексаніт-Р. Геометрія різальних пластинок є плоска передня поверхня, передній кут $\gamma = -10^\circ$, задній кут у напрямку вектору швидкості різання $\alpha_v = 12^\circ$. Кут нахилу головних різальних кромок змінювався від $\lambda = 0^\circ$ до $\lambda = -45^\circ$.

Отримані результати моделювання складових сил різання P_x , P_y , P_z із зміною кута нахилу λ (рис. 1).

З наведених результатів комп'ютерного моделювання процесу врізання різальної кромки в заготовку з вуглецевої сталі У8 можна зробити такі висновки. Застосування від'ємних значень кута нахилу різальної кромки λ при врізанні значно зменшує складову сили різання P_y для $\lambda = -35^\circ$, $\lambda = -45^\circ$. Однак при використанні кута нахилу $\lambda = -45^\circ$ значно збільшується складова P_z . При $\lambda = -35^\circ$ спостерігається зменшення значень осової складової сили різання P_x . На основі отриманих результатів можна сказати, що

застосування кута нахилу $\lambda = -35^\circ$ забезпечить найбільш плавне врізання різальної пластинки в заготовку, що, в свою чергу, позитивно відобразиться на якості обробленої поверхні та ефективності процесу фрезерування в цілому.

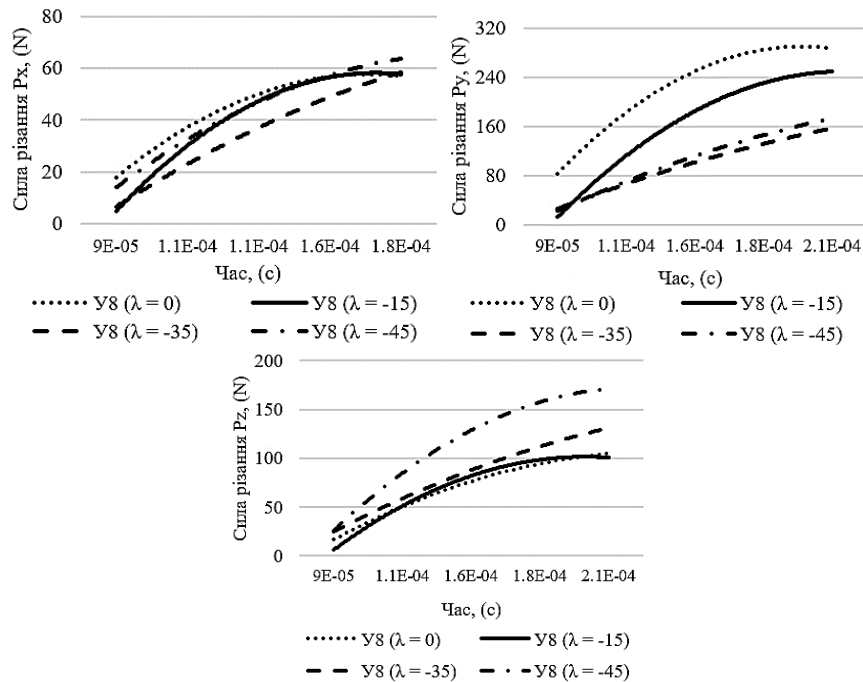


Рис. 1. Залежність складових R_x , R_y , R_z сил різання від кута нахилу різальної кромки λ при врізанні в заготовку із вуглецевої сталі У8 (46 HRC)

Таким чином, як показують отримані результати, змінюючи кут нахилу різальної кромки ножа торцевої фрези від $\lambda=0^\circ$ до $\lambda=-45^\circ$ можна значно вплинути на значення та співвідношення складових сил різання на проміжку часу врізання ножа в заготовку.

Список використаної літератури:

1. Виговський, Г. М., Громовий О.А., Білявський М. Л. Розширення області використання торцевих фрез, оснащених НТМ. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Вип 2. 2007.
2. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : автореф дис. ... д.т.н. / П.П. Мельничук. К.: НТУУ "КПІ", 2002. – 26 с.
3. Виговський, Г.М. Сучасні тенденції розвитку обробки матеріалів різанням. Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Вісник ЖДТУ. 2010. №2 (9). С. 1-6.
4. Громовий, О.А., Виговський Г.М., Балицька Н.О. Шляхи удосконалення процесу обробки плоских поверхонь деталей фрезеруванням. Технічна інженерія. 2020. № 2(86). – С. 48 – 53.
5. Мельничук П.П., Лоев В.Ю. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування. Вісник ХНУ. Технічні науки. 2014. № 3. С. 164-172.
6. Виговський Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти» / Виговський Георгій Миколайович. Київ, 2000. – 16 с.
7. Vyhovskyi, H., Plysak, M., Balytska, N., Melnyk, O., Hlembotska, L. (2021). Engineering Methodology for Determining Elastic Displacements of the Joint «Spindle Assembly-Face Milling Cutter» While Machining Planes. In: , et al. Advanced Manufacturing Processes II . InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_26
8. Melnyk, O., Hlembotska, L., Balytska, N., Holovnia, V., Plysak, M. (2020). The Imitation Study of Taper Connections Stiffness of Face Milling Cutter Using Machine Spindle in the SolidWorks Simulation Environment. In: , et al. Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_60
9. Виговський, Г.М., Плисак, М.М. (2019). Дослідження напружено-деформованого стану торцевої фрези для чистової обробки площин. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки", (1(83), 53–58. [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-53-58](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-53-58)
10. Vyhovskyi, H., Plysak, M., Balytska, N., Hlembotska, L., Otamanskyi, V. (2023). Numerical Simulation of Cutting Forces in Face Milling. In: Tonkonogiy, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes IV. InterPartner 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16651-8_21

Н.О. Балицька, к.т.н., доц., доц. кафедри механічної інженерії
Л.Є. Глембоцька, к.т.н., доц. кафедри механічної інженерії
Я.А. Козяр, аспірант
Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО РІЗАННЯ ЛИСТОВОЇ СТАЛІ

Верстати лазерного різання застосовуються на більшості сучасних машинобудівних підприємств. Це зумовлює необхідність призначення таких режимів обробки, які забезпечують найкращу якість різку листового матеріалу [1–2].

Експериментальна частина дослідження проводилася в умовах підприємства ТМ ТІСАВ (м. Житомир). Було здійснено підбір режимів для верстата лазерного різання MORN MT-L2040FR для розрізання листів сталі марки 09Г2С товщиною 3 мм. Паралельно із цим здійснювалася обробка листів Ст3 товщиною 6 мм. В ході експерименту було розроблено керуючі програми для обробки заготовок квадратної форми розміром 34x34 мм, що передбачали поетапну зміну параметрів різання.

Основними регульованими параметрами верстата, що впливають на якість обробленої кромки, є швидкість переміщення лазерної головки U (мм/с) та потужність випромінювання лазера P (Вт). Постійними параметрами під час проведення експерименту були: час врізання ($T_{вр} = 2000$ мс), частота проходження імпульсів ($F = 1000$ Гц), тривалість імпульсу ($\tau = 30$ нс), тиск газу ($D = 0,5$ бар).

Швидкість різання задавалася у межах робочого діапазону від 5 до 35 мм/с. Верхня межа швидкості визначена як гранична швидкість, при якій починають з'являтися недорізи і великі напливи на листі, що призводить до значного погіршення якості нижньої кромки оброблюваного матеріалу. Нижня межа швидкості характеризується виникненням автогенного режиму різання і різким погіршенням якості розрізаної поверхні. Максимальна потужність лазера визначається значенням, при якому починається плавлення поверхні матеріалу.

В результаті експерименту було встановлено, що при обробці матеріалу 09Г2С товщиною 3 мм найкраща якість різку спостерігається при швидкості різання $U = 25$ мм/с та потужності випромінювання лазера $P = 1000$ Вт. При обробці заготовки зі Ст3 товщиною 6 мм рекомендується використовувати режими з швидкістю різання $U = 25$ мм/с та потужністю випромінювання лазера $P = 1400$ Вт.

Другою частиною дослідження стало проведення численного моделювання, основою для якого стали результати експериментальних досліджень. Дослідження проводилося в програмному пакеті Ansys Workbench за допомогою системи Transient Thermal. Задача вирішувалася в інтерактивному режимі (GUI, Graphic User Interface) за допомогою встановленого розширення Moving Heat Flux. Це розширення дозволяє моделювати процеси із рухомим джерелом тепла. Геометрична модель проекту створювалася у Design Modeler. Скінченно-елементна сітка створювалася автоматичним методом. Моделювання температурних полів проводилося для оптимальних умов лазерного різання заготовки із сталі 09Г2С товщиною 3 мм, які були визначені в ході проведених експериментів: швидкість різання $U = 25$ мм/с, потужність $P = 1000$ Вт. Тривалість імпульсу складала 30 нс, частота імпульсів 1000 Гц, діаметр лазерної плями 0,1 мм.

В результаті моделювання отримано температурні поля в кожний момент часу процесу лазерного різання сталі 09Г2С, одне з яких наведено на рис. 1.

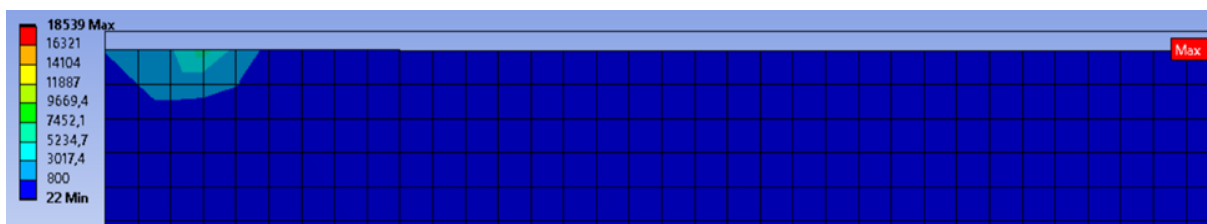


Рис. 1. Температурне поле при лазерному різанні сталі 09Г2С

Отримані результати показують, що товщина шару металу, яка досягає температури плавлення складає 3 мм. Отже результати численного моделювання співпадають з результатами експерименту, а тому модель може використовуватися для оптимізації процесу лазерного різання.

Список використаної літератури:

1. Hoult T. High Precision Laser Marking with novel nano-second pulsed MOPA Fibre Lasers // Proceedings of the Fourth International WLT Conference on Lasers in Manufacturing. – Munich, 2007.
2. Gattass R.R., Mazur E. Femtosecond laser micromachining in transparent materials // Nature Photonics. – 2008. – Vol. 2. – P. 219–225.

Г.М. Виговський, к.т.н., доц., проф. кафедри механічної інженерії
О.А. Громовий, к.т.н., доц., декан ФКІТМР
М.М. Плисак, аспірант
Р.І. Лиманець, студент групи ПМ-139М
О.А. Шишкова, провідний інженер
Державний університет «Житомирська політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

Для підвищення продуктивності праці, покращення якості оброблених поверхонь та економії матеріальних і трудових ресурсів необхідно застосовувати найбільш продуктивні методи обробки. Одним із таких методів є високошвидкісна обробка, яка забезпечує високу продуктивність та необхідну якість оброблених деталей, скорочення кількості ручних доводочних операцій, можливість високопродуктивної обробки інструментальних та конструкційних сталей високої міцності, алюмінієвих та титанових сплавів тощо. У ряді робіт [1–2] аналізуються можливості удосконалення процесу високошвидкісної обробки деталей, але існує ряд невивчених питань та протиріч.

Метою досліджень був аналіз закономірностей процесу стружкоутворення, силових характеристик процесу різання, зносу та стійкості різальних інструментів, якості оброблених поверхонь при високошвидкісній обробці.

Відомо, що на характер стружкоутворення та усадки стружки впливають такі відомі фактори як величина швидкості різання та подача, величина переднього кута інструмента, коефіцієнт тертя стружки по передній поверхні інструмента, явища ущільнення та знеміцнення оброблюваного матеріалу тощо. Результати ряду досліджень дозволили встановити, що зі збільшенням швидкості різання величина усадки стружки спочатку збільшується і в подальшому різко зменшується при досягненні деякої швидкості різання та стабілізується. Абсолютні значення швидкостей різання, які відповідають максимальній усадці стружки та її стабілізації залежать від фізико-механічних характеристик оброблюваних матеріалів та геометричних параметрів інструмента.

Незмінність усадки стружки при високошвидкісній обробці дозволяє передбачити, що сили різання також суттєво не будуть змінюватись при досягненні фіксованого значення. Крім цього, при використанні високих швидкостей різання при чистовій обробці плоских поверхонь торцевими фрезами, оснащеними надтвердими матеріалами, цей процес характеризується малими товщинами зрізу, що призводить до підвищення температури стружки за час деформації і зменшення коефіцієнтів усадки стружки та сил різання.

Результатами моделювання умов фрезерування при застосуванні косокутної геометрії ножів фрез при обробці сталей встановлено, що при збільшенні швидкостей різання та передніх кутів відбувається зменшення ступеня деформації зрізаного шару, що веде до зменшення сил різання. Дослідження силових характеристик косокутного торцевого фрезерування проводилося для широких діапазонів змін глибини різання, подачі на зуб, швидкості різання, кута нахилу різальних кромки ножів. Встановлено, що збільшення швидкості різання для спроектованих ступінчастих фрез призводить до зменшення всіх складових сил різання, що особливо важливо при умові недостатньої жорсткості технологічної системи.

В умовах напівчистових режимів різання і при обробці сталей 45 і 40Х існують зони швидкостей різання від 5–50 м/хв та 350–400 м/хв. Між цими двома зонами високого зносу знаходиться діапазон швидкостей, при яких знос має мінімальне значення.

Тому при застосуванні високошвидкісної обробки різних інструментальних матеріалів необхідним є проведення досліджень стійкості різальних інструментів для встановлення раціональних режимів обробки та геометричних параметрів інструментів.

Важливою характеристикою процесу високошвидкісного різання є можливість формування високоякісних поверхонь при застосуванні високопродуктивних процесів різання. Виконаними дослідженнями встановлено, що при високошвидкісній обробці матеріалів з різними фізико-механічними характеристиками (загартованих сталей 45, 40Х, 9ХС, У8, Х18Н10Т, Р6М5, ШХ15 та чавунів) збільшення швидкості різання дозволяє суттєво покращити якість поверхонь та підвищити продуктивність обробки.

Список використаної літератури:

1. *Степчин Я.А.* Особливості динаміки процесів високошвидкісного торцевого фрезерування / *Я.А. Степчин* // Вісник ЖДТУ. – 2015. – № 1 (9). – С. 7–12.
2. *Виговський Г.М.* Високошвидкісна обробка. Стружкоутворення / *Г.М. Виговський* // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2010. – № 1 (52). – С. 3–9.

М.А. Свінцицький, студ., гр. ПМ-141, ФКІТМР1

Л.П. Іванова, аспірант²

М.В. Усачев, курсант, гр. 310, факультет логістики³

Л.Г. Полонський, проф. каф. МІ, д.т.н., проф.¹

М.С. Степанов, проф. каф. ММВ, д.т.н., проф.²

¹Державний університет «Житомирська політехніка»,

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

³Національна академія Національної гвардії України

АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ШЛІФУВАННЯ З ДОДАТКОВИМИ ПРОМІЖНИМИ ПРАВКАМИ КРУГА ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ

Актуальною проблемою при обробці заготовок абразивними інструментами є підтримка максимальної ріжучої здатності інструменту протягом тривалого періоду часу [1–2]. Особливо це важливо при виготовленні прецизійних елементів бойової техніки і озброєння, від яких залежать функціональні та експлуатаційні характеристики. Ця проблема відчутно постає при круглому врізному шліфуванні, під час якого одночасно з втратою ріжучої здатності абразивних зерен змінюється геометрія формотвірного елемента абразивного інструмента. Дана робота є продовженням попередніх робіт, в яких для підтримки максимальної ріжучої здатності шліфувальних кругів при круглому шліфуванні запропоновано для зниження енергонасиченості круглошліфувальних верстатів використовувати схему шліфування з додатковими проміжними правками (ДПП) круга [3]. Побудована математична модель процесу шліфування з ДПП, яка описує силові і теплові характеристики процесу шліфування, параметри і кількість ДПП.

Визначені залежності для розрахунку:

- критичної сили різання при шліфуванні до повної втрати кругом різальної здатності на основі критерію обмеження навантаження приводу круга;
- часу шліфування між правками при обробці з ДПП та часу на правку;
- кількості правок при обробці з ДПП;
- теплоти, еквівалентної роботи, що витрачається на різання до повної втрати кругом різальної здатності;
- теплоти, еквівалентної роботи, що витрачається між суміжними правками при обробці з ДПП;
- теплоти, еквівалентної роботи, що витрачається на правку круга з врахуванням її витрат на переміщення елементів системи при правці;
- сумарної теплоти, еквівалентної роботи, що витрачається при обробці з ДПП на шліфування.

Для реалізації запропонованої математичної моделі модернізовано комп'ютерну програму Heat_T (Свідоцтво № 92215 про реєстрацію авторського права на твір) розрахунку параметрів теплового режиму систем застосування мийно-охолоджувальних рідин (МОР) при шліфуванні шляхом розширення її структури додатковим модулем ДПП.

Виконано розрахунково-аналітичні експериментальні дослідження з метою проведення порівняльного аналізу енерговитрат при класичній схемі шліфування і при схемі з ДПП. Вихідні параметри обробки: матеріал заготовки – сталь 45; шліфувальний круг 1-500 x 40x305 24A 25 CM2 6 K 50 м/с AA 1 ГОСТ 2424–83 (скасано з 01.01.2019 р. згідно з наказом ДП УкрНДНЦ від 16.11.2016 р. № 384); верстат – круглошліфувальний 3М151, МОР – УКРІНОЛ-1.

Дослідженнями і розрахунками встановлено, що застосування схеми шліфування з ДПП дозволяє знизити навантаження елементів технологічної системи та енергонасиченість процесу шліфування на 25...75 %.

Список використаної літератури:

1. Stepanov, M., Ivanova, L., Litovchenko, P., Ivanova, M., Basova, Y. Determination of parameters of cylindrical grinding with additional intermediate dressing. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manuf. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 330–340.
2. Yang Li, Wanhua Zhao, Shuhuai Lan, Jun Ni, Wenwu Wu, Bingheng Lu. A review on spindle thermal error compensation in machine tools / *International Journal of Machine Tools and Manufacture* Vol. 95, August 2015, P. 20–38. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2015.04.008.
3. Guoqiang Fu, Yue Zheng, Linfeng Zhou, Caijiang Lu, Li Zhang, Xi Wang, Tao Wang. Look-ahead prediction of spindle thermal errors with on-machine measurement and the cubic exponential smoothing-unscented Kalman filtering-based temperature prediction model of the machine tools / *Measurement*. Volume 210, 31 March 2023, 112536. doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112536

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ГРАФІВ СТРУКТУРНИХ ГРУП (ГРУП АССУРА) II-IV КЛАСІВ

Як відомо, граф представляє собою діаграму, яка складається з точок (вершин) та ліній (ребер). Теорія графів використовується для математичних досліджень об'єктів в багатьох сферах людської діяльності: фізиці, хімії, генетиці, лінгвістиці, техніці, логістиці, тощо. В механіці машин такими об'єктами, які можна представити у вигляді графів та дослідити їх властивості, є кінематичні пари, структурні групи (групи Ассура) та механізми.

Як відомо, структурна група представляє собою кінематичний ланцюг, який, при приєднанні його до механізму, не змінює ступінь рухомості останнього і який не можна розбити на більш прості ланцюги з нульовим ступенем рухомості. Власне, приєднанням структурних груп до механізму I класу (до ланок механізму) утворюється будь-який механізм, призначений для перетворення механічного руху. Навіть плоскі механізми (механізми 3-го сімейства), які найчастіше використовуються при створення технологічних та транспортних машин і ступінь вільності яких описується відомою формулою Чебишова $W = 3n - 2p_5 - p_4$, характеризуються великою різноманітністю, але, очевидно, можуть мати місце деякі закономірності їх будови, які можна було б дослідити методами теорії графів. Кінематичні схеми просторових механізмів (0, 1 та 2 сімейств) можуть представляти собою як замкнені геометричні контури, так і незамкнені (роботи та маніпулятори), що очевидно, буде визначати і відмінність у графах та їх властивостях.

Граф (детальний вигляд)	Граф (компактний вигляд)	Структурні групи на кінематичній схемі
		<p>II клас</p>
		<p>III клас</p>
		<p>IV клас</p>

Рис. 1. Структурні групи II-IV класів та їх графи

Власне, кінематична схема механізму або його структурних одиниць (кінематичних пар та структурних груп) і представляє собою в деякому розумінні граф, тільки навпаки, оскільки на кінематичній схемі ланки зображують ребрами, а оберталні кінематичні пари – колами. Але оскільки на графі ребра зображують зв'язки, кола - об'єкти, то граф механізму або структурної одиниці буде мати інший вигляд, ніж кінематична схема. Загалом кажучи, кінематична схема механізму, в загальному випадку, не повинна співпадати з його графом, оскільки в основі побудови кінематичної схеми лежить структурний принцип, тобто кінематична схема є спрощеним зображенням механізму в наочному вигляді, тобто його структури, а граф будується за функціональним принципом, оскільки зображує об'єкти та їх зв'язки схематично.

На рис.1 представлено кінематичні схеми та графи структурних груп II-IV класів. Зокрема, структурна група II класу, яка на кінематичній схемі зображується у вигляді кінематичного з'єднання двох ланок, кожна з яких окрім їхньої спільної кінематичної пари утворює зовнішню пару. Таким чином, структурна група II класу на графі при детальному зображенні показується у вигляді двох вершин і трьох ребер, а при компактному вигляді – у вигляді однієї вершини та двох ребер. Аналогічно, структурна група III класу, яка складається з чотирьох ланок і шести кінематичних пар V класу, зображується на графі у вигляді чотирьох вершин і шести ребер, а при компактному вигляді – як одна вершина, від якої відходять три ребра. Структурна група IV класу складається з чотирьох ланок, які утворюють 6 кінематичних пар V класу. Тому детальний вигляд графу цієї структурної групи представляє собою 4 вершини, з'єднані між собою чотирма ребрами та 2 ребра, які означають кінематичні пари, утворені даною структурною групою з ланками інших структурних груп. Набагато простіше виглядає компактний вигляд графу структурної групи IV класу, оскільки це одна вершина і два ребра.

У зображених графах структурних груп є ребра, які не закінчуються вершинами. Це можна пояснити тим, що структурні групи завжди мають ланки, якими вони приєднуються до механізму I класу або до інших ланок механізму, тут ці ребра не є визначеними, оскільки теоретично цими ребрами структурна група може приєднатися до різних ланок механізму. Тому можна припустити, що ребра, які не закінчуються вершинами, мають структурні групи будь-яких класів. Але, очевидно, це не є справедливим для графу деяких плоских механізмів, оскільки всі ланки структурних груп, з яких складається механізм, приєднані до певних ланок механізму (механізму I класу). Тобто, в механізмі мають місце вхідна та вихідна ланки, кожна з яких утворює кінематичні пари мінімум з двома іншими ланками, що забезпечує однозначний рух цих (і всіх інших) ланок в площині. Можливо, це не є вірним для механізмів роботів та маніпуляторів, де механічна рука переміщує деталі та інструменти, які не зв'язані кінематично з іншими ланками.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

1. Запропоновано особливості побудови графів структурних груп.
2. Запропоновано графи структурних груп II-IV класів.
3. Далі пропонується дослідити властивості графів плоских механізмів.

Список використаної літератури:

1. Шостачук А.М. Графи плоских важільних механізмів. Науковий пошук молодих дослідників: збірник наукових праць студентів, магістрантів та викладачів / за заг. ред. Карплюк С.О., Вербівського Д.С., Єремєєвої В.М., Бенедисюк М.М., Толстової О.В. – Житомир : Вид-во ЖДУ імені І. Франка, 2019. Вип. 12. С. 99-102.
2. Мельничук С.В., Шостачук А.М. Графи структурних груп (груп Ассур) II та III класів плоских важільних механізмів Збірник наукових праць X Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», 6–9 листопада 2019 року.–Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2019. С. 152–155.
3. Шостачук А.М., Мельничук С.В. Ієрархія графів деяких структурних одиниць плоских важільних механізмів Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки 16-20, 26 травня 2022 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2022. С. 26-27.
4. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. К.: Наукова думка. 2002. 661 с.

В.С. Гречуха, студент IV курсу спец. 133 «Галузеве машинобудування»
Д.Г. Василюк, викладач спеціальних дисциплін вищої категорії, методист коледжу
Бердичівський фаховий коледж промисловості, економіки та права

ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОЦЕС ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Машинобудування (машинобудівна інженерія) є основою економіки держави. Розвиток цієї галузі господарства в цілому залежить від фахового рівня робітників, які працюють в ній. Сучасні вимоги до рівня фахівця є достатньо високими. Це, у першу чергу, пов'язано з впровадженням інформаційно-комп'ютерних технологій у процес як інженерної підготовки, так і у саме виробництво. Тому при підготовці (навчанні) майбутніх фахівців приділяється особлива увага ознайомленню з прогресивними технологіями та отримання навиків роботи за ними.

У Бердичівському фаховому коледжі промисловості, економіки та права на спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» за навчальними планами передбачено цілу низку дисциплін які пов'язано з інформаційно-комп'ютерними технологіями. Найбільш характерні з них – наступні спеціальні дисципліни. **Комп'ютерне проєктування** – дисципліна викладається на другому курсі. Вона базується на курсі «Технології», затвердженим Міністерством освіти і науки України. Модуль «Комп'ютерне проєктування» має технічний, а саме, машинобудівний напрямок.

У загальному розумінні, цей модуль призначено для здійснення учнями (студентами) перших кроків з оволодіння комп'ютерними технологіями графічних побудов (рис. 1).

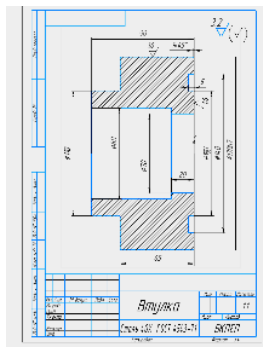


Рис. 1. Креслення деталі

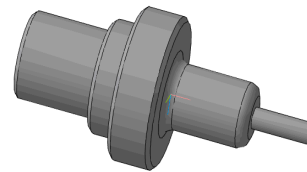


Рис. 2. 3D модель деталі

Крім того, студенти набувають навичок у проєктуванні нескладних 3D моделей деталей (рис. 2) та 3D-конструкцій.

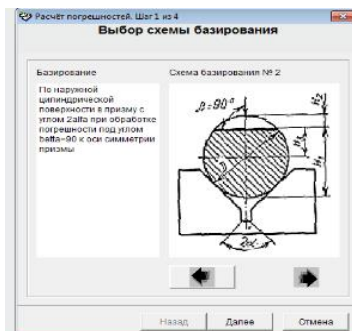


Рис. 3. Схема базирования заготовки

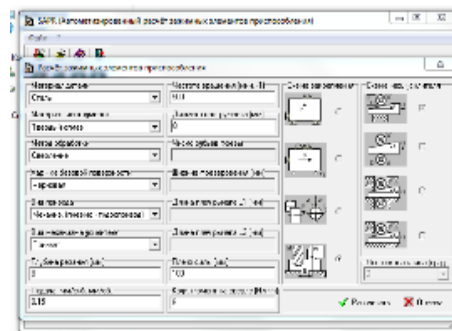


Рис. 4. Розрахунок сили затиску заготовки

Значний ефект від викладання цієї дисципліни (модуля «Технології») досягається тому, що паралельно вивчаються такі дисципліни як «Креслення» та «Нарисна геометрія і інженерна графіка». Студенти мають змогу отримати теоретичні знання з машинобудівної графіки та набуті практичних навичок з «ручного» проєктування. Володіння «ручним» способом виконання роботи дозволяє, у подальшому, більш змістовно та розумно використовувати комп'ютерні технології.

«Технологічне оснащення» – класична дисципліна для фаху технолог – конструктор. Студентам надають знання про призначення верстатних пристроїв, про їх конструкцію та особливості у роботі.

Набуття практичних навичок з дисципліни відбувається під час виконання комплексу практичних робіт. Завершальним етапом роботи за цією дисципліною є виконання курсового проекту (проектування спеціального верстатного пристрою для обробки певних поверхонь деталі). Уся графічна частина курсового проекту виконується електронним методом завдяки спеціальним програмним продуктам «AutoCAD», «SolidWorks». Крім того електронним способом, за відповідними програмами, студенти виконують визначення схеми базування та розрахунок сили затиску заготовки.

Основним завданням при проектуванні пристрою (курсний проект) є створення 3D моделі спроектованого пристрою (рис. 5).

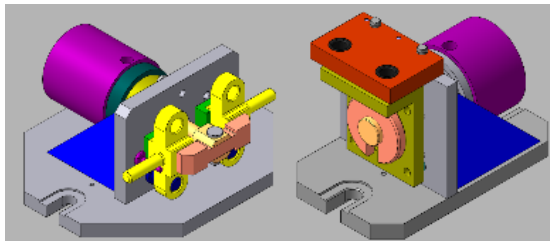


Рис. 5. 3D моделі верстатних пристроїв

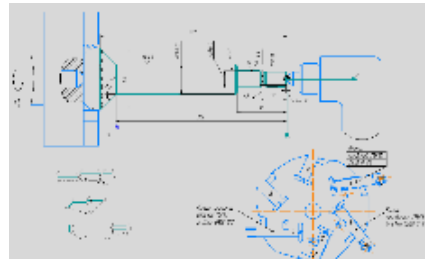


Рис. 6. Схема наладки

«Технологія машинобудування» – ключова дисципліна для фаху технолог. Викладачі знайомлять студентів з особливостями виконання різноманітних робіт методом різання. Дисципліна комплексна вона передбачає розуміння методів роботи верстатного обладнання, різального інструменту, верстатних пристроїв. Студенти навчаються створювати техпроцеси обробки деталей. Підібрана інформація оформлюється у вигляді комплексу технологічної документації. *Ескізи, схеми* або *інші графічні* зображення до цієї документації обов'язково виконуються електронним методом за відповідними комп'ютерними програмами (рис. 6).

«Технологічні основи програмування обробки для верстатів з ЧПК» – комплексна дисципліна, яка поєднує знання з технології машинобудування, металорізальних верстатів, інструменту та параметрів його роботи а також методів створення керуючих програм. Для кращого сприйняття матеріалу та засвоєння навичок роботи використовується спеціальна програма для імітації роботи верстата при відпрацюванні створеної керуючої програми.

Для того, щоб відтворити віртуально процес роботи за керуючою програмою (рис. 7), студенти повинні повністю виконати процес налагодження верстата. Це підбір заготовки, пошук та встановлення необхідного інструменту, завантаження керуючої програми до системи керування верстатом.

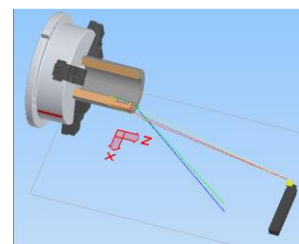
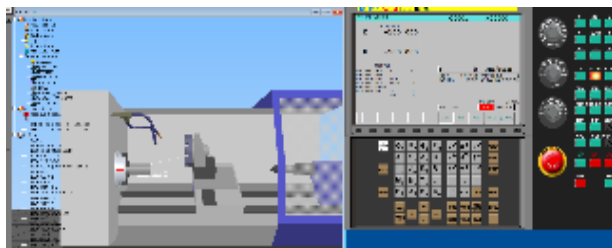


Рис. 7. Процес роботи за керуючою програмою

Основною дисципліною, яка пов'язана використанням *інформаційно-комп'ютерні технології* є дисципліна **«Системи автоматизованого проектування»** – САПР. Вона складається з розділів **САПР-конструктора** та **САПР-технолога** та передбачає поглиблене вивчення технологій автоматизованого проектування різноманітної документації у галузі машинобудування.

Виконується закріплення навичок у проектуванні різноманітних 2D документів (ескізи, креслення, специфікації, тощо), а також моделювання 3D деталей та конструкцій (більш складних ніж на попередніх дисциплінах).

Технологічний САПР представлено двома частинами. Перша пов'язана з автоматизованим проектуванням технологічних процесів механічної обробки деталей. Вона базується на програмних продуктах **САПР-технолога**. Завдання студентів полягає у отриманні навичок підготовки та введення вихідної інформації до технологічних систем. Це, як правило, 3D модель деталі та її креслення (рис. 8).

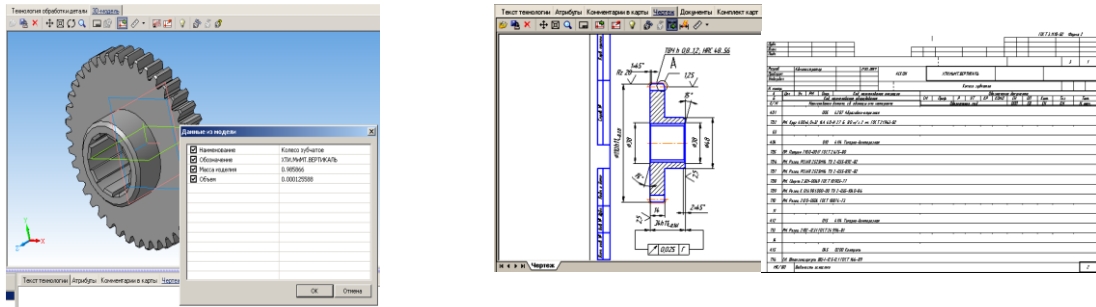


Рис. 8. 3D модель деталі та її креслення

У подальшому, за допомогою «Універсального технологічного довідника» необхідно повністю сформувати техпроцес механічної обробки заданої деталі.

Після вибору даних та формування технологічного процесу система дозволяє виконати завдання створення технологічної документації (маршрутних, операційних та карт ескізів).

Друга частина **технологічного САПР** пов'язана з автоматизованим проєктуванням керуючих програм для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) (рис. 9).

```

1  Untitled*
2  O0001 (???????? 19_3)
3  ( 10-1-2019 12:20:03 )
4  N25 G00 G21 G17 G40 G49 G80 G94
5  N30 G91 G28 Z0
6
7  N35 ( SIDE ROUGH1 ??????1 )
8  N40 T1 M6
9  N45 G00 G54 G90 X-202.555 Y-7.635 S0 M03
10 N50 G43 H1 Z25.0 M08
11 N55 Z3.0
12 N60 G01 Z-2.0 F0.
13 N65 X-194.059 Y-9.927
14 N70 G02 X-190.261 Y-9.042 I16.0 J-60.109
15 N75 G01 Y8.971
16 N80 G02 X-194.059 Y9.855 I12.202 J60.993
17 N85 G01 X-202.555 Y7.563
18 N90 X-202.61 Y13.309
19 N95 X-194.059 Y15.387
20 N100 G03 X-184.933 Y13.507 I16.0 J54.577
21 N105 G01 Y-13.579
22 N110 G03 X-194.059 Y-15.459 I6.874 J-56.457
23 N115 G01 X-202.61 Y-13.381
24 N120 X-202.659 Y-19.219
25 N125 X-194.059 Y-21.036
26 N130 G02 X-179.605 Y-18.513 I16.0 J-49.0
27 N135 G01 Y18.441
28 N140 G02 X-194.059 Y20.964 I1.546 J51.523

```

Рис. 9. Числові програми керування

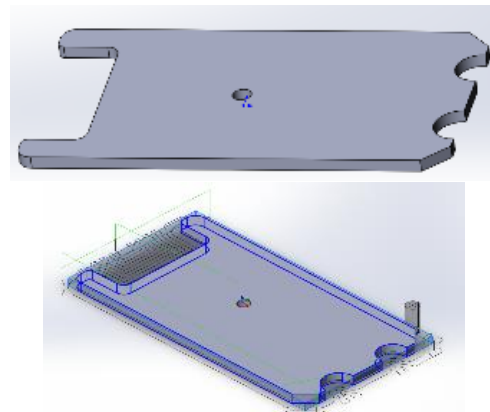


Рис. 10. 3D модель майбутньої деталі

Робота студентів з відповідним програмним забезпеченням дозволяє поєднати навички роботи з конструкторськими та технологічними САПР. Підготовка вихідних даних для роботи виконується за конструкторським САПР (3D модель майбутньої деталі) (рис. 10). Після підключення 3D моделі деталі до системи САПР-ЧПК необхідно надати дані про заготовку, поверхні, які належать до обробки.

Призначення послідовності обробки розрахунок траєкторій руху інструментів система виконує автоматично. Але при необхідності усі дані можливо корегувати.

Результатом роботи системи є формування керуючої програми та віртуальне представлення процесу обробки за нею.

У результаті вивчення дисципліни САПР студенти отримують знання та навички виконання за комп'ютерними технологіями широкого спектру завдань у машинобудуванні.

Таким чином, наповнення навчальних дисциплін інформаційно-комп'ютерними технологіями, дозволяє навчання студентів виконувати на сучасному професійно-технічному рівні. Це забезпечить майбутнім фахівцям можливість плідно та ефективно працювати у галузі Машинобудування, забезпечувати її розвиток на високому рівні.

Список використаної літератури:

1. Іванов М.І., Гуменюк О.Ю., Мішук О.М., Шаргородський С.А. «Комп'ютерна графіка» - Вінниця: ВНАУ, 2011.
2. Бондар О.В., Зотова О.В., Гуцал А.В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Комп'ютерні технології в машинобудуванні» - Кривий Ріг: КНУ, 2012.
3. <https://www.youtube.com/watch?v=JW-OCsQ9mME>
4. <https://www.youtube.com/watch?v=OjaDcxnt-4c>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=h0cA-WSCmps>
6. <https://www.youtube.com/watch?v=Z8XWugvnZS8>

В.В. Ананченко, студ.
С.М. Андрусенко, студ.
М.О. Павлюк, студ.
В.М. Ночвай, доц. каф. МІ, к.т.н.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ПІДГОТОВКА ДЕТАЛЕЙ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ

Якість газотермічних покриттів і висока міцність зчеплення з деталлю залежить від правильної підготовки поверхні, яку напилюють. В результаті науково-дослідних робіт розроблено технологію підготовки деталей для нанесення газотермічних покриттів. Підготовка поверхні деталей складається з наступних операцій: відбір деталей, що підлягають відновленню; очищення деталей від забруднення та залишків мастила; зняття залишків нерівномірного спрацювання; знежирювання поверхні; активація та формування шорсткості поверхні [1]. На механічну обробку повинні поступати деталі очищені від бруду, мастила і пилюки. Зняття залишків нерівномірного спрацювання та виконання припуску під покриття виконують шляхом шліфування, фрезерування або застосуванням токарної обробки. Товщина шару металу, яку знімають в процесі механічної обробки, обмежується товщиною шару покриття. Товщини газополумєневих покриттів дорівнюють 0,1...4,0 мм, плазмових 0,05...1,5 мм, металізаційних – 0,1...6,0 мм. Масляні канали, які виходять на відновлювану поверхню, зенкують під кутом 45° на глибину 1...1,5 мм [2].

Загальне знежирювання поверхонь деталей виконують розчинниками, миючими засобами, лужними розчинниками та різними емульсіями. Для знежирювання поверхонь деталей перед напиленням рекомендується застосовувати миючі засоби, так як органічні розчинники токсичні [2]. При відпрацюванні технології підготовки поверхонь деталей оптимальним матеріалом для знежирювання застосовано водний розчин кальцієваної соди 10...15 кг/м³ з додаванням 1...3 кг/м³ синтанолу ДС-10. Знежирювання виконують на протязі 1...5 хвилин при температурі розчину в ванні 60...80 °С. Після знежирювання деталі промивають в чистій гарячій воді при температурі 80...85 °С та сушать до повного відходу вологи. Застосовують натуральне сушіння деталей або з використанням сушильних шаф типу СНОЛ. Великогабаритні деталі складної форми можна знежирювати обпалюванням полум'ям газового пальника.

Перед дробоструминною обробкою деталей масляні канали та шпоночні пази закривають пробками з термостійкої гуми або з твердого дерева, яке не вміщує смоли. Пробка масляного каналу повинна знаходитися нижче поверхні на 1 мм, а пробка шпоночного пазу виступати над поверхнею на товщину шару покриття. Для захисту поверхонь, які не підлягають електродуговій металізації, застосовують сталеві розбірні кільця та екрани, технічну мідну або алюмінієву фольгу будь-якої товщини [2].

З метою активації та формування шорсткості поверхні її піддають дробоструминній обробці в герметичних камерах дробоструминних установок [1, 2]. В якості абразивного матеріалу використовували електрокорунд марок 12А, 13А, 14А, 15А з розміром зерна 0,5...1,5 мм або чавунний дріб марки ДЧК з розміром зерна 1,2...1,5 мм. Оптимальні режими обробки поверхні деталей наступні: тиск повітря 0,4...0,6 МПа; відстань від сопла пістолета до поверхні, що обробляється, 50...120 мм; кут падіння струменя на поверхню 60...90 град.; лінійна швидкість переміщення пістолета 50...400 мм/хв [2]. Після дробоструминної обробки деталь обробляли струменем повітря. Шорсткість обробленої поверхні повинна бути в межах Rz 10...160 мкм. Контроль шорсткості проводили профілографом-профілометром мод. 252.

Другий спосіб активації і отримання шорсткості поверхні циліндричної деталі полягає в нарізанні «рваної» різі. Рекомендується у випадку поверхневої твердості деталі не більше HRC_e 40. Нарізання «рваної» різі необхідно виконувати різьбовим різцем з кутом при вершині 55...60 градусів [2].

Таблиця 1

Режим навантаження «рваної» різі

Діаметр деталі, мм	Вертикальне зміщення різця, мм	Крок «рваної» різі, мм
До 10	1,5	0,5
15-20	2,5	0,5
25-50	3,0-4,0	0,8-1,0
60-100	4,0-5,0	1,5

Розроблена технологія підготовки деталей для нанесення газотермічних покриттів забезпечує достатньо високу міцність зчеплення напиленого покриття з основою деталі. Покриття, які наносять на деталь, мають хорошу адгезію.

Список використаної літератури:

1. Супрунчук, В. К. Ремонт обладнання підприємств по переробці сільськогосподарської продукції : довідник / В. К. Супрунчук, М. П. Роменський, О. М. Панчук та ін. – К.: Урожай, 1992. – 176 с.
2. Дослідження, розробка і впровадження газотермічних покриттів, які підвищують термін служби пластин преса силікатних виробів : Звіт по НДР (закл.) / Житомир, 2001; кер. В. М. Ночвай; вик. : В. М. Ночвай, Л. Г. Полонський, І. А. Бондарчук. – Житомир, 2001. – 84 с. – № держ. реєстр. 0101И08091.

ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ З КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ ПРИ ЛЕЗОВІЙ ОБРОБЦІ СТАЛЕЙ МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ

Обробка різання високоміцні полімерні композиційні матеріали (ВКПМ) супроводжується інтенсивним зношуванням ріжучого інструменту, при чому цей характер відрізняється від зношування інструменту при різанні металів. Це пояснюється в першу чергу особливостями властивостей і структури самих оброблюваних матеріалів. Для управління процесу різання та забезпечення обробки необхідно з'ясувати природу і закономірності зношування інструмента.

Відомо, що зношування інструменту при різанні матеріалів носить комплексний характер, тобто абразивно-механічні, дифузійні, агдезійні, втомлене, хімічне та інші види зношування, причому в залежності від умов обробки превалює той чи інший вид зношування, який є визначальним.

Особливості властивостей ВКПМ та їх обробки різанням визначають і особливості зношування інструмента. Так, дифузійний знос при обробці різанням ВКПМ відсутня, так як для його протікання потрібна температура $\theta > 900$ °С, в той час як в зоні різання при обробці ВКПМ температура різання складає 500–600 °С. Наявність полімерного сполучного і його неминуча деструкція при різанні призводять до появи в зоні різання поверхнево-активних речовин, інтенсифікація процесу зношування.

Численні дослідження зношування твердосплавних інструментів при різанні різних ВКПМ показують ідентичний характер залежностей зношування від часу роботи інструменту. Розглядаючи звичайну обробку ВКПМ кривих «знос-час», для них характерні два періоди зношування – це період швидкого зношування в початковий момент часу, званої переробкою, і період $\theta > 900$ °С, 69 °С, рівномірного зношування, званий періодом нормального зносу. Характерний при обробці металів період катастрофічного зносу при обробці ВКПМ відсутня.

Характерним для обробки ВКПМ є досить незначний знос інструменту по передній поверхні, що пояснюється малими силами, прикладеними до передньої поверхні. У теж час зношування по задній поверхні дуже значний, що легко пояснюється суттєвими контактними явищами на задній поверхні інструменту, що викликається великим пружним відновленням обробленої поверхні. Причому зношування інструменту, як показують численні дослідження, відбувається як за рахунок округлення ріжучої кромки, так і безпосередньо по фактичній площі контакту задньої поверхні з оброблюваним матеріалом. У початковий період (до зносу ($h_z = 0,20 \div 0,25$)) зношування відбувається головним чином за рахунок округлення різальної крайки ρ_0 . Відповідно до цього має бути певне співвідношення між радіусом округлення різальної кромки і зносом. Подібне співвідношення $h_z = (1,7 \div 1,8)\rho$ отримано А.А. Корольовим [1].

Перші композити PCBN (BZN-compact) одержали в 1970-х рр. у США, пізніше – Ісміт, обидва – Україна. У 1970–80-х рр. створювалося багато видів полікристалів на основі щільних модифікацій нітриду бору. Вони відрізнялися за технологією одержання, структурою та основними фіз.-мех. характеристиками. Спочатку за мету ставили створити матеріал із максимально можливими твердістю та в'язкістю руйнування. При цьому передбачалося, що сфери застосування таких матеріалів будуть надзвичайно широкими (вся гама загартованих сталей, чавунів, спецсплавів, інші важкооброблювані матеріали).

Випробування, проведені в наук. центрах Німеччини, Франції, США, Японії, показали, що використання Кибориту для виготовлення елементів конструкцій апаратів високого тиску призводить до знач. збільшення термінів використання (в 25 разів під час заміни твердосплав. сегментів ковадел на киборитові для кубічних апаратів високого тиску об'ємом 50 мм³ та 80 мм³)[2].

За результатами проведених досліджень виявлено, переваги кубічного нітриду бору порівняно з відомими аналогами VL-групи композити мають вищу стійкість до окиснення, підвищену тріщиностійкість за високої твердості. Тому краще саме ним оброблювати інструменти, що в подальшому будуть використані для точіння виробів з поверхневим шаром, наплавленим сплавами мартенситного класу.

Список використаної літератури:

1. *Хавин Г.Л.* Сверление полимерных композиционных материалов / *Г.Л. Хавин.* – Х. Вид-во «Діса плюс», 2017. – 352 с.
2. Матеріали на основі кубічного нітриду бору / *М.П. Беженар* // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: *І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк та ін.*; НАН України, НТШ. – К.: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2018.

В.М. Анісімов, проф. каф. технології машинобуд., д.т.н., проф.

Український державний університет науки і технологій (м. Дніпро)

В.В. Анісімов, доц. каф. інноваційної інженерії, к.т.н., доц.

Український державний хіміко-технологічний університет (м. Дніпро)

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ БЛОК-КОПОЛІУРЕТАНІВ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ШВИДКОГО ПРОТОТИПУВАННЯ ВИРОБІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ЗНОСОСТІЙКІСТЮ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Серед великої кількості пластичних мас сучасної індустрії високомолекулярних сполук поліуретани (ПУ) займають одне із провідних місць і поправу вважаються універсальними матеріалами. Однак марочний асортимент ПУ обмежується достатньо вузькою номенклатурою (в основному еластичні, напівжорсткі і жорсткі матеріали), що є достатнім для традиційних методів їх переробки (пресування, лиття під тиском та ін.) і не задовольняє можливостям адитивних технологій прототипування.

Для виготовлення широкої номенклатури поліуретанових виробів з підвищеною зносостійкістю було спроектовано та виготовлено технологічний комплекс швидкого прототипування. З цією метою спеціально розроблено екструдерне обладнання, модернізовано відповідний 3D-принтер та застосовано багатоосьовий верстат фрезерної групи для доводки виробів.

Екструдер спроектовано із врахуванням особливостей переробки полімерних композиційних матеріалів високої в'язкості, наявності антифрикційних наповнювачів (тонкодисперсний графіт і кокс, дисульфід молібдену, смоли та ін.).

Встановлено, що для умов одиничного виробництва найбільш ефективним є застосування 3D-принтерів за технологією пошарового наплавлення (FDM), який було суттєво модернізовано. Проаналізувавши дві найвідоміші системи подачі філаменту: Bowden і Direct Drive, прийшли до висновку, що їх конфігурації не забезпечують високу якість отриманих виробів із поліуретанів блочної будови. Перенесення маси двигуна на раму, як у конфігурації Bowden, і розташування при цьому подаючої шестерні максимально близько до сопла, як у конфігурації Direct, дозволило суттєво покращити якість поверхні надрукованих деталей, підвищити швидкість друку і відповідно продуктивність прототипування.

З метою видалення тимчасових підтримок для деталей із складною конфігурацією, усунення основи, на якій друкувалась деталь, підчистки поверхонь деталей, обробки каналів та ін. був використаний чотирьохосьовий фрезерний верстат моделі LZ3020Z-VFD1,5KW USB 4 axis.

Запропоновано у якості основних параметрів, які контролюють макроскопічні властивості широкої номенклатури блок-кополіуретанів, розглядати вміст жорстких блоків P_c , котрий є пропорційним концентрації високомодульної мікрофазі жорстких блоків у об'ємі поліуретана, а також природу олігоглікольного компонента M_n різної молекулярної маси (від 500 до 2000).

Розроблено методику прогнозування властивостей поліуретанових блок-кополімерів і композиційних матеріалів на їх основі в залежності від об'ємної частки мікрофазі жорстких блоків і молекулярної маси олігогліколей.

Показано, що оптимальною буде структура, за якої, з одного боку, найбільша імовірність з реалізації властивостей мікрофазі жорстких блоків щодо забезпечення високої міцності, з другого боку, збереження властивостей полімера-матриці щодо достатньої еластичності.

Аналіз сукупності отриманих даних показав, що запропонований підхід до прогнозування властивостей блок-кополіуретанів, оснований на перколяційному аналізі, дозволяє виявити принципово важливий вплив молекулярної, топологічної та морфологічної структури на утворення кластеру з жорстких блоків.

За допомогою запропонованої методики прогнозування властивостей поліуретанових блок-кополімерів в залежності від об'ємної частки мікрофазі жорстких блоків і молекулярної маси олігогліколей на базі технологічного комплексу швидкого прототипування була виготовлена широка номенклатура підшипників ковзання, манжет, ущільнень, шестерен для потреб машинобудівного комплексу, які показали свою ефективність.

Список використаної літератури:

1. Анісімов, В. М. Технологічний комплекс швидкого прототипування виробів з підвищеною зносостійкістю для машинобудування / В. М. Анісімов, В. В. Анісімов // Збірник наукових праць XI Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Процеси механічної обробки, верстати та інструмент», м. Житомир, ДУ «Житомирська політехніка», 5–6 листопада 2021, С. 125–127.

ТРИБОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ІНСТРУМЕНТАМИ ІЗ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ

Ріжучі інструменти із надтвердих матеріалів, зокрема на основі кубічного нітриду бору (КНБ) є найбільш ефективними при обробці загартованих сталей, важкооброблюваних чавунів та інших поверхонь високої твердості. Такі процеси різання супроводжуються високим зростанням термобаричних показників, що обумовлює інтенсивне зношування інструмента. Процеси зношування інструментів в зоні різання супроводжуються адгезійними, дифузійними, абразивними механізмами контактної взаємодії з оброблюваним матеріалом, з навколишньою середою, а також в наслідок хімічної взаємодії, що може бути визвано одночасною дією декількох видів при різних умовах обробки.

Різальна кромка інструменту піддається дії високих напружень та температур, що викликає його зношування через один або декілька механізмів. Ці механізми залежать від геометричних параметрів різального інструменту, матеріалу заготовки, навколишнього середовища, механічних і теплових навантажень на робочих поверхнях інструменту.

Абразивне зношування інструментів із КНБ. Так як загартована сталь містить тверді частинки карбідів з твердістю до 12 ГПа, то про абразивний вид зношування часто повідомляли, як про головний вид зносу при обробці матеріалів високої твердості інструментами із КНБ. Абразивне зношування може бути також пов'язане із вільними зернами КНБ, особливо в інструментах з високим вмістом КНБ, які можуть легко відділитись у вигляді абразивних часток з твердістю до 45 ГПа.

Дифузійне зношування. Через високу температуру та високі напруження в зоні різання, процеси дифузії та розчинення інструментального матеріалу в оброблюваному отримали значну увагу. Науковці в дослідженнях спостерігали на передній поверхні знос у вигляді лунки, і припустили, що основним механізмом зношування є дифузія. Вони виявили, що інструмент із ПКНБ схильний до дифузії при високих швидкостях різання, і також зафіксували дифузійне зношування інструменту із ПКНБ при обробці загартованих сталей. Крамер В. зазначив, що при обробці сталей високої твердості інструментами із ПКНБ температура різання може досягати до 1200 °С, при якій швидкість зносу визначається дифузією.

Зношування внаслідок хімічної взаємодії в зоні різання. Окислювання інструментального матеріалу зазвичай не спостерігається при звичайному різанні металів але було виявлено при обробці загартованих сталей інструментами із КНБ.

Порівнюючи мікроструктуру і зношування інструментів із високим та низьким вмістом КНБ, Р.Хупер дійшов висновку, що зношування інструментів із ПКНБ включає хімічну взаємодію з утворенням тонкого окислювального шару. Автор пояснює такий механізм зношування хімічної взаємодією між інструментальним та оброблюваним матеріалами та елементами навколишнього середовища. Тонкий шар, що за складом близький до оброблюваного матеріалу, формується на поверхні інструменту в зоні контакту передньої поверхні із стружкою. При низьких температурах, такий шар стає нестабільним і періодично видаляються із зони різання, піддаючи поверхню інструменту подальшому зношуванню, при цьому інтенсифікується адгезійна взаємодія на передній поверхні інструменту. Відносно низька теплопровідність інструменту з низькою концентрацією КНБ призводить до зменшення утворення окислювального шару, після чого термін служби інструменту збільшується.

Адгезійне зношування інструментів із КНБ. При ковзанні однієї поверхні по другій відбувається безперервний процес виникнення та розривання адгезійних з'єднань. Встановлено, що схоплювання металів, тобто поява міцних тимчасових з'єднань між дотичними поверхнями, утворюється в твердому стані в результаті спільного пластичного деформування хімічно чистих поверхонь, які перебувають в контакті, і може бути отримано, як при кімнатній так і при підвищених температурах. Для початку схоплювання недостатньо тільки наближення поверхонь на відстань порядку параметра кристалічної решітки, а необхідно перевищення певного для кожної пари матеріалів енергетичного порогу. В результаті адгезійної взаємодії вириваються окремі частини інструментального матеріалу, які інтенсифікують абразивне зношування.

В якості підтвердження були отримані зображення контактних поверхонь інструменту після обробки сталі 50Г, з яких вирвано частинки інструментального матеріалу в результаті адгезійної взаємодії. Також було виявлено наліт на контактних ділянках інструменту після обробки газополуменевого покриття. Наявність такого покриття при обробці зі швидкостями різання 1,0–1,5 м/с дозволяє зменшити інтенсивність зношування, при цьому видалення нальоту призводить до інтенсифікації адгезійного зношування.

Список використаної літератури:

1. Клименко С.А., Копейкина М.Ю., Чумак А.Ю. Технологічні можливості інструментів, оснащених композитами на основі кубічного нітриду бора. Сучасні технології в машинобудуванні. 2017. Вип. 12. С.54.

СТРУЖКОУТВОРЕННЯ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ МЕТАЛО-МАТРИЧНИХ КОМПОЗИТІВ

Метало-матричний композит (ММК) – це композитний матеріал з волокнами або частинками, розподіленими в металевій матриці, такій як мідь, алюміній або сталь. Вторинною фазою зазвичай є кераміка (оксид алюмінію, карбід кремнію та ін.) або інший метал чи сплав. Зазвичай їх класифікують за типом армування: з короткими переривчастими волокнами, безперервними волокнами або частинками.

Компоненти ММК зазвичай виготовляються у формі, близькій до сітчастої, однак це створює значні труднощі в процесі механічної обробки через гетерогенну природу ММК. Ефективність обробки ММК визначається впливом режимів різання, наростування, механізмом стружкоутворення та зношування інструменту.

Дослідження механізму наростування та його впливу на оброблюваність ММК з точки зору якості поверхні та зношування інструменту залишається суперечливою темою [1]. Наростування сильно залежить від швидкості різання. Kumar та ін. [2] досліджували наростування під час точіння Al/4.5 % об. ММК на основі міді, армованих частинками TiC, в сухих умовах. Вони виявили майже 50 % зменшення висоти наросту при збільшенні швидкості різання із 40 м/хв до 120 м/хв. При обробці Al/SiC з використанням різальних інструментів з PCD при високій швидкості різання наростування відсутнє, що пов'язано із зниженням адгезійних характеристик внаслідок підвищення температури. При низькій швидкості різання до 200 м/хв підвищується стійкість інструменту [3]. Це можна пояснити стабільним наростуванням на різальній кромці, що запобігає її абразивному зносу. Виступаючи в ролі захисного шару, який постійно поповнюється, нарост захищає різальну кромку від абразивного зносу, спричиненого рухом абразивних частинок композиту по інструменту. Однак, загалом, нарост негативно впливає на стійкість інструменту, разом із стиранням, адгезією та окисненням. Це пояснюється тим, що, коли нарост відривається від поверхні інструмента, частина інструментального матеріалу видаляється, що призводить до адгезійного зносу. Зношування внаслідок наростування стає більш значущим, коли інструментальний матеріал або покриття мають високу хімічну спорідненість з матеріалами композиту.

Суцільна стружка зазвичай утворюється при відносно високій швидкості різання, коли матеріали мають достатню пластичність з однорідною мікроструктурою. Додавання армувальних частинок в монолітні матеріали призводить до погіршення їх пластичності. Тому суцільна стружка рідше спостерігається при обробці армованих ММК, ніж при обробці монолітних матеріалів, за однакових умов різання. Елементна стружка, зазвичай, утворюється при низькій швидкості різання.

При обробці Al/SiC утворюється елементна стружка. Під час процесу різання відшарування та розтріскування частинок призводить до утворення порожнин в зоні зсуву, що викликає руйнування матеріалу. Наприклад, при обробці Al6061, армованого 20 об.% SiC, за рахунок додавання частинок SiC відбувається покращення умов руйнування стружки. При подачах 0,05 і 0,1 мм/об при швидкості 400 м/хв і глибині різання 1 мм стружка має форму довгої спіралі. Зі збільшенням подачі до 0,4 мм/об стружка стає коротшою і має форму літери С [4].

При механічній обробці ММК із збільшенням подачі виникає концентрація напружень через додавання армувальних частинок. Це можна вважати основною причиною утворення коротшої стружки зі змінною формою. При меншій подачі деформація є більш однорідною, що призводить до отримання довшої стружки.

Таким чином, розуміння механізму стружкоутворення сприятиме пошуку шляхів підвищення стійкості різальних інструментів для обробки метало-матричних композитів.

Список використаної літератури:

1. Nicholls, C.J., Boswell, B., Davies, I.J., Islam, M.N.: Review of machining metal matrix composites. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 90, 2429–2441 (2017).
2. Kumar, A., Mahapatra, M.M.: Effect of machining parameters on cutting force and surface roughness of in situ Al-4.5%Cu/TiC metal matrix composites. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 48, 325–332 (2014).
3. Teng, X., Huo, D.: Conventional Machining of Metal Matrix Composites. In: Shyha, I., Huo, D. (eds) *Advances in Machining of Composite Materials. Engineering Materials.* Springer, Cham (2021).
4. Pramanik, A., Zhang, L.C., Arsecularatne, J.A.: Machining of metal matrix composites: effect of ceramic particles on residual stress, surface roughness and chip formation. *Int. J. Mach. Tools Manuf* 48, 1613–1625 (2008).

ЛЕЗОВА ОБРОБКА ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ІНСТРУМЕНТУ

Розповсюдженими методами в ремонті деталей машин є нанесення покриттів наплавленням і напиленням. Ці методи мають свої переваги враховуючи досить широкий діапазон технологій та їх достатньо високу ефективність використання при відновленні зношених поверхонь деталей, вузлів машин. Ці методи використовуються при зношеннях робочих поверхонь деталей машин до 3-6 мм. Відновлення зношених поверхонь деталей машин наплавленням чи напиленням економічно обґрунтоване, особливо для дорогомістких деталей яких вигідніше ремонтувати ніж виготовляти нову деталь.

Наприклад, дорогомістка деталь торсіонний вал – є пружним елементом підвіски та добре компенсує крутильні ударні навантаження, а також, перекося та неспіввідності. Ця деталь являє собою довгий сталевий стрижень циліндричної форми з малою і великою шліцевими голівками і розміщаються поперек машини над днищем. Легована конструкційна сталь (45ХН2МФА) високоміцна, що використовується для виготовлення торсіонів, має високу пружність та міцність в умовах втоми. Сталь містить 0,45 % вуглецю, 0,8–1,1 % хрому, близько 2 % нікелю, 0,2–0,3 % молібдену, близько 0,2 % ванадію та інші легуючі елементи.

Важливим фактором для відновлення зношеної поверхні є підбір матеріалу наплавлення для зміцнення поверхні враховуючи фізико-механічні властивості. Сталь 40Х13 – нержавіюча сталь мартенситного класу, яка містить 0,4 % вуглецю та 13 % хрому. Вона має високу корозійну стійкість, твердість та міцність, використовується для наплавлення покриттів на зношені поверхні деталей в результаті її високих механічних властивостей і відмінних технологічних характеристик наплавлення. Замінниками сталі можуть бути: 30Х13, 30ХГСА, також закордонні аналоги: AISI 420 (США), Х40Cr13 (Німеччина), 4Н13 (Польща), 2304 (Швеція) та інші.

Фізико-механічні властивості наплавленого поверхневого шару деталі можуть змінюватися у достатньо широких межах, залежно від марки електродного дроту, матеріалу флюсу і режимів наплавлення. Зокрема такі механічні характеристики як твердість, міцність та інші. В залежності від глибини та області зношення підбирається діаметр дроту. Для наплавлення під шаром флюсу застосовується сталевий зварювальний дріт діаметром 1–3 мм типу Св і Нп без захисного покриття. Використовується для наплавлення деталей, що працюють в умовах тертя металу по металу. Для одержання стійких покриттів використовують дроти з вуглецевих і легованих сталей: Нп-30ХГСА, Нп-40Х13 та ін. Твердість наплавленого матеріалу складає орієнтовно 46-54 HRC.

На спеціалізованих ремонтних підприємствах використовують спеціальні установки для нанесення високоміцних покриттів, наприклад (СН-2, УД-209) для валів та інших деталей, які мають форму тіл обертання. У ремонтному виробництві часто застосовують керамічні флюси, наприклад АНК-18 і АНК-19 та інші. Поєднуючи флюси та електричний дріт, отримують потрібні властивості поверхні (наплавленого шару). Головним обмеженням, що контролює можливість якісної лезової обробки, є висока твердість покриттів, що коливається для пластичних матеріалів в межах HRC_э 32-65, а для крихких матеріалів Н_ц 4,5-5,6 ГПа [2].

Лезова обробка високоміцних покриттів можлива різцями, оснащеними твердосплавними пластинками ВК4, ВК3М, Т5К10, що мають твердість HRA 87–92 може використовуватися для чорнової обробки, але при твердості покриттів HRC_э 54–58 стійкість різців не перевищує 10–15 хв [1]. При більшій твердості покриття стійкість таких різців знижується надзвичайно інтенсивно. Чистова або напівчистова обробка можлива різцями, оснащеними мінералокерамічними пластинками ВОК-60, ВОК-63 з твердістю HRA 91–94. Обробка лезовим інструментом супроводжується високими динамічними навантаженнями, що зумовлено неоднорідністю структури, шорсткістю поверхні R_z 40–80, теплостійкість та теплопровідність інструмента, виникнення вібрацій та обробка з биттям.

Враховуючи попередні дослідження вітчизняних і зарубіжних авторів, в проблемі лезової обробки зносостійких нанесених покриттів з динамічним навантаженням інструменту, питання залишається малодослідженим. В науковій роботі планується провести дослідження ефективності обробки виробів з конструкційних матеріалів з динамічним навантаженням інструменту, використовуючи сучасні наукові дані в даному напрямку, підбору різального інструменту та матеріалу на основі КНБ, геометричних параметрів інструменту та програмного забезпечення.

Список використаної літератури:

1. Пилипенко О.М. Вібраційна обробка газотермічних покриттів. ПЗ2 – Черкаси: Сіяч, 2000, - С.16.
2. Точіння зносостійких захисних покриттів / С.А. Клименко, Ю.А. Муковоз, Л.Г. Полонський, П.П. Мельничук.- К.: Техніка, 1997. - 140 с.

І.П. Малишев, аспірант
А.С. Савчук, студент
В.Я. Степчин, студент
Я.А. Степчин, к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Постановка проблеми. Переважна частина відмов високопродуктивного технологічного обладнання пов'язана з відмовами підшипників кочення. За даними [1–2] до 50 % відмов машин пов'язано з виходом з ладу підшипників. Часто діагностика машин та устаткування в сучасному машинобудівному виробництві – це, передусім, діагностика підшипників. Підвищення надійності підшипників, збільшення терміну їх роботи – це один з важливих напрямів забезпечення ефективності роботи обладнання, для розвитку якого широке поширення мають системи моніторингу стану та діагностики. Ефективним інструментом таких систем є вібраційна діагностика, завдяки великій інформативності коливальних процесів, що супроводжують їх роботу та можливості проведення аналізу без демонтажу обладнання [3].

Стосовно підшипників найповніша і детальніша діагностика з виявленням і ідентифікацією дефектів на ранній стадії розвитку виконується за сигналом вібрації. З цією метою найчастіше використовуються такі методи вібродіагностики:

- прямого спектру вібрації;
- спектру обвідної;
- ударних імпульсів;
- пік-фактору;
- оцінки використання високочастотних характеристик вібрації.

Різноманітність наведених методів, обумовлена складністю виділення інформативної складової вібраційного сигналу, який надходить з досліджуваного вузла [3].

У [1] запропоновано розділення методів аналізу вібрації за чотирма категоріями: часової області, частотної області, частотно-часової області та інші. Методи часової області є найпростішими методами аналізу вібраційного сигналу та дозволяють оцінити загальний стан підшипника, але мало чутливі до дрібних дефектів його складників. Наприклад, поточне середньоквадратичне значення сигналу (RMS) порівнюють з рекомендованим для відповідного стану підшипника та виносять рішення про його поточний стан. Безрозмірними статистичними параметрами чутливими до початкового викришування від втоми елементів підшипника є значення ексцесу, хрест-фактор й імпульсний фактор обробки вібраційного сигналу [1].

Можливість виділення окремих більш інформативних частотних компонент є перевагою частотних методів аналізу. Докладне визначення частотних характеристик підшипника надає можливість визначити місце дефекту підшипника. Аналіз обвідної (амплітудної демодуляції сигналу) дозволяє виділити періодичні складові з модульованого випадкового шуму, який виникає у працюючому підшипнику.

Загалом різноманітність методів обробки сигналу обумовлена складністю виділення інформативної складової для оцінки і прогнозування стану підшипників кочення. Для вирішення цієї проблеми використовується складна обробка глобального спектра сигналу, частотно-часовий аналіз, що вимагає значних обчислювальних ресурсів. Суттєво інший напрямок дослідження передбачає збільшення інформативності сигналу певної частоти (вузьких, характерних для досліджуваного вузла, діапазонів частот). Виділені окремі інформативні частоти сигналу використовуються для розпізнавання несправності підшипника. Проте звуження діапазонів досліджуваних частот часто призводить до втрати інформативності сигналу та збільшує вплив на достовірність висновків додаткових неконтрольованих впливів – режиму поточного навантаження, люфтів, перекосу валу тощо.

У роботі [3], на основі теорії і статистиці періодично нестационарних випадкових процесів, виконані теоретичні напрацювання методів ранньої діагностики механічних обертових систем, як математичної моделі сигналів вібрацій. Це надало можливість визначити нові діагностичні ознаки дефектів та розширити можливості теорії вібродіагностики.

З метою розвитку методів підвищення інформативності вузьких діапазонів частот вібраційного сигналу та їх застосування в якості діагностичних параметрів для вібродіагностики підшипників кочення, було виконано дослідження підшипникового вузла папероробної машини.

Моніторинг та діагностика підшипникових вузлів папероробної машини є важливою та складною задачею. Це обумовлено особливостями конструкції та важкими умовами роботи машини:

- вона є безперервно діючою автоматичною потоковою лінією, що складається з декількох агрегатів, які працюють без резервування;

- має тривалий термін експлуатації, складається з десятків тисяч деталей, відмова однієї з них може призвести до зупинки всієї потокової лінії;
- робочі режими роботи машини обумовлюють значні динамічні навантаження на агрегати та її деталі, збільшення вібраційної активності робочого процесу;
- папероробна машина є багатоваловим агрегатом, вали якої спираються на великогабаритні підшипники кочення.

Вибір діагностичних параметрів підшипників кочення в значній мірі залежить від виду навантаження (статичного та ударного), режимів маятникових, кругових коливань цапфи валу, каскадного руху цапфи валу або режиму перекидання. Додаткову різноманітність у вібраційну картину вносять кінематичні особливості роботи підшипника. Для валів папероробних машин основним є маятниковий режим роботи, проте можливі і інші, в залежності від величини посадочних зазорів.

Значний вплив на ефективність процесу діагностики має низький рівень підшипникової вібрації та високий рівень вібрації, яка розповсюджується від інших вузлів машини або від інших машин, установлених на одній основі. Відповідно виникає проблема розділення підшипникових складових вібрації з вібрацією, що дійшла до точки контролю з інших джерел [1].

Визначення дефектів підшипників кочення за зміною рівня вібрацій на характерних частотах складових спектру вібрації та спектру обвідної надає більш конкретну інформацію щодо характеру пошкодження підшипника або недоліків його встановлення та експлуатації, але вимагає більш тривалого аналізу для визначення інформативних частот та рівнів потужності (амплітуди) сигналу на спектрі конкретного підшипникового вузла.

Виконане дослідження базувалось на моніторингу вібраційного сигналу з підшипникового вузла папероробної машини з використанням портативного вібраційного аналізатора AMS 2140 Machinery Health Analyzer. Вимірювання виконувалося при встановлених датчиках за трьома взаємно-перпендикулярними осями: поперечним вертикальній та горизонтальній і по осі валу згідно вимог DSTU ISO 13373-1:2015. Поточний контроль стану виконувався протягом місяця експлуатації з часом розвитку дефекту підшипника.

На основі аналізу каскадних діаграм усереднених спектрів віброшвидкості дослідження підшипникового вузла запропоновано відносний показник оцінки поточного стану підшипника та прогнозування розвитку його стану:

$$T = \frac{\prod_{i=1}^n A_i}{\prod_{j=1}^k B_j}, \quad (1)$$

де A_i – середнє квадратичне значення (RMS) амплітуди віброшвидкості визначених вузьких діапазонів частот (піків), B_j – середнє квадратичне значення амплітуди віброшвидкості загального діапазону частот та вузьких діапазонів (піків), відповідних робочим частотам вузла.

Висновки:

1. На основі аналізу результатів досліджень, наведених у літературі [1–3], встановлено, що визначення дефектів підшипників кочення за зміною рівня вібрацій на частотах складових спектру вібрації та спектру обвідної надає достатню інформацію щодо характеру пошкодження підшипника та його подальшої експлуатації, але вимагає тривалого аналізу для визначення інформативних частот.

2. На підставі обробки експериментальних даних – усереднених спектрів віброшвидкості сигналу, запропоновано відносний показник поточного стану підшипника та прогнозу розвитку його стану – параметр T , за значенням якого є можливість винесення рішення про придатність чи непридатність підшипника.

Список використаної літератури:

1. Patidar S. An overview on vibration analysis techniques for the diagnosis of rolling element bearing faults / S. Patidar, P.K. Soni // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT). – May 2013. No. 4(5). P. 1804-1809.
2. Harmouche J. Improved fault diagnosis of ball bearings based on the global spectrum of vibration signals / J. Harmouche, C. Delpha, D. Diallo // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2014. – Vol. 30(1). P. 376-383.
3. Яворський І.М. Методи вібраційної діагностики початкових стадій пошкодження обертових систем / І.М. Яворський, П.П. Драбич, І.Б. Кравець, І.Й. Мацько // Фізико-хімічна механіка матеріалів, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів. 2011. № 2. С. 134-140.

ДИНАМІЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

В умовах постійного розвитку технологій в машинобудівній галузі стає більш важливою динамічна стабілізація процесу різання для досягнення більшої точності та продуктивності при обробці деталей. Точність різання визначає ступінь відповідності розмірів та форми отриманої деталі до заданих параметрів. Висока точність забезпечує мінімальні відхилення та гарантує відповідність деталі вимогам інженерних специфікацій.

Стабільність процесу різання впливає на однорідність та повторюваність отримання деталей. Стабільний процес забезпечує рівномірне розподілення зусиль на всіх етапах різання, уникнення вібрацій, зменшення відмов.

Динамічна стабілізація процесів різання також сприяє продуктивності обробки шляхом використання автоматизованих систем керування різанням, які стабілізують процес та підвищують продуктивність. Ці системи враховують в себе числове керування (CNC), системи автоматичного регулювання подачі інструменту, датчики контролю сили різання – всі вони дозволяють програмно налаштувати параметри різання та контролювати їх в процесі роботи, контролювати швидкість подачі інструменту під час різання, вимірювати сили які діють на інструмент під час різання.

Для динамічної стабілізації різального процесу використовують алгоритми та моделі для передбачення та корекції відхилень під час різання. В них входить – застосування методів машинного навчання, таких як нейронні мережі, для аналізу даних процесу різання та передбачення відхилень; використання сенсорів та систем зворотного зв'язку що вимірюють параметри процесу різання, які можуть бути використані, наприклад, для зміни швидкості різання або швидкості подачі за певним алгоритмом коли було зафіксовано збільшення сили різання, щоб уникнути пошкоджень інструменту або недостатньо якісного різання; використання алгоритмів оптимізації для підбору параметрів які забезпечують найкращу продуктивність та якість різання.

Також використовують активне керування і адаптивні методи для підтримки стабільності процесу, в них входять – активне керування параметрами різання для підтримки стабільності процесу; адаптивне керування для корегування параметрів різання на основі зібраних даних та вимірів, в них можуть застосовуватись методи PID (пропорційний, інтегральний, диференційний) або моделі прогнозування для аналізу та корекції відхилень; адаптивне керування інструментом для моніторингу та відстеження зношування інструменту, щоб передбачити момент заміни інструменту, що дозволяє уникнути випадкових перерв в роботі; адаптивне керування параметрами системи що дозволяє, наприклад регулювати подачу охолоджуючої рідини або змащення в залежності від умов різання.

Регулятори, які забезпечують високу точність підтримки заданого рівня потужності в усталених режимах і добру якість перехідних процесів, мають складну технічну реалізацію з застосуванням нейронних мереж і контролерів, але їх використання суттєво збільшує ціну верстата. Регулятори, що мають просту технічну реалізацію і низьку ціну, підтримують потужність різання в усталених режимах зі значною похибкою і не забезпечують стійкість системи стабілізації в умовах зміни в широких межах глибини і ширини різання, твердості оброблюваної заготовки і стану інструменту. Розв'язати дане протиріччя можна використовуючи в системі два кола регулювання. Перше коло містить від'ємний зворотний зв'язок за потужністю різання і нелінійну ланку з насиченням, яка забезпечує обмеження максимальної швидкості подачі столу верстата. Друге коло регулювання містить інтегральний регулятор, який в умовах зміни збурюючих впливів на процес обробки забезпечує зміну сигналу задання потужності різання на вході внутрішнього кола регулювання. Така побудова системи надає їй властивостей астатизму за збуренням [1]. Це спрощує технічну реалізацію та знижує вартість регуляторів, їх застосування на легких фрезерних верстатах забезпечуватиме підвищення продуктивності верстатів на 10–20 % і не потребуватиме значних капіталовкладень.

На основі виконаного аналізу систем стабілізації планується отримати підвищення продуктивності шляхом застосування динамічної стабілізації процесу різання.

Список використаної літератури:

1. Водічев В.А., Монтік П.М., Алдаїрі Алі. Система стабілізації потужності різання металообробного верстата // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. Volume 6, Issue 4 /2014.

**ПЕРСПЕКТИВНІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ
ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ ТИТАНУ ТА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ**

Широке застосування титану та титанових сплавів насамперед обумовлено їх особливими властивостями. Титан та його сплави використовують у багатьох галузях, тому що вони мають високу міцність, низьку густину та високу корозійну стійкість. Титан та титанові сплави широко застосовуються в різних галузях промисловості:

- космічній та авіаційній промисловості (для виготовлення елементів гвинтокрилів, ракет, літаків, супутників, та інших елементів або пристроїв, що мають високі вимоги до міцності, стійкості та ваги);
- автомобільній промисловості (в елементах двигунів внутрішнього згорання та елементах підвіски спортивних та ексклюзивних автомобілів);
- медичній промисловості (для виготовлення імплантів, завдяки їх біосумісності та стійкості);
- енергетичній промисловості (для виготовлення компонентів турбін та реакторів);

Застосування титанових сплавів у багатьох галузях зумовлює необхідність виготовлення із них широкої номенклатури деталей із різними геометричними та якісними параметрами. Для забезпечення цих параметрів часто застосовується фрезерна обробка, як один із найбільш ефективних методів.

Основним недоліком, що обмежує застосування титану та його сплавів, є відносно низька оброблюваність, яка визначається хімічним складом та застосуванням термічної обробки. Значення оброблюваності для титану та його сплавів показано у табл. 1

Таблиця 1

Відносна оброблюваність титану та його сплавів [1]

Група	Позначення	Твердість (HRC)	Відносна оброблюваність, %
Чистий титан	Сплав 2	15-20	170
α- і псевдо-α-титан	Ti-5Al-2.5Sn	31-34	115
	Ti-8Al-1Mo-1V	34-36	110
α-β-титан	Ti-6Al-4V	32-36	100
	Ti-8V-5Fe-1Al	34-38	97
	Ti-6Al-4V	39-41	90
β- і псевдо-β-титан	Ti-10V-2Fe-3Al	35-42	56
	Ti-13V-11Cr-3Al	39-41	53
	Ti-5Al-5Mo-5V-3Cr	36-44	51

Механічна обробка титану та його сплавів має наступні особливості:

- висока інтенсивність тепловиділення в зоні різання призводить до адгезійного зносу різальної кромки;
- низька теплопровідність цих матеріалів знижує тепловідведення із зони різання;
- низький модуль пружності сприяє утворенню вібрацій та знижує якість обробки.

Через особливі термічні властивості титану та його сплавів їх механічна обробка у більшості випадків здійснюється із застосуванням МОТС (мастильно-охолоджувального технологічного середовища) та спеціального різального інструменту. З метою забезпечення високої продуктивності обробки титанових сплавів здійснюється ретельний підбір інструментального матеріалу та геометричних параметрів різального інструменту. Фрези для обробки титану повинні мати позитивний передній кут та різальну кромку, геометричні параметри якої одночасно забезпечуватимуть стійкість та гостроту. При чорновій обробці та обробці більш важкооброблюваних сплавів цієї групи доцільно застосовувати підсилену різальну кромку із нейтральною або негативною геометрією. Також рекомендується застосування різального інструменту із геометрією, яка забезпечує гасіння вібрацій [1].

При застосуванні класичних підходів фрезерної обробки титану та його сплавів в якості інструментального матеріалу рекомендують використовувати тверді сплави із PVD-покриттями, через те, що такий тип покриття дозволяє отримати менший радіус та кращу гостроту кромки ніж CVD [3]. Разом з тим, для чорнових операцій використовують різальні пластини із CVD-покриттями. Застосування для обробки титанових сплавів ріжучих пластин із CBN вважається недоцільним через їх низьку стійкість.

Ріжучі пластини із CBN при обробці титанових сплавів, у середньому, мають вдвічі меншу стійкість, ніж при використанні твердих сплавів насамперед через високу швидкість дифузійного зношування [4]. У деяких випадках обробку титану та його сплавів здійснюють за допомогою полікристалічного алмазу (PCD) [5]. Його використання є ефективним при проведенні чистових та фінішних операцій.

Зважаючи на постійно зростаючий попит на вироби із титану та титанових сплавів, виробники різальних інструментів активно розробляють і впроваджують інноваційні інструментальні матеріали для їх обробки. Для умов фрезерної обробки варто виділити:

- Різальні інструменти із нанокристалічними алмазними покриттями. Забезпечується краща стійкість, порівняно із твердими сплавами. Фрезерна обробка може здійснюватися із швидкостями різання до 150 м/хв [6];

- Різальна кераміка, виготовлена за технологією Wisker (компанія TaeguTec), наприклад марка TC430. Завдяки «підкладці» із оксиду алюмінію (Al_2O_3) і нанесеним кристалом із карбиду кремнію (SiC) з підвищеною стійкістю до окислення, сплав забезпечує унікальні показники стійкості, як до викришування, так і до стирання [7];

- Різальний інструмент із нанополікристалічного нітриду бору NCB100 (без зв'язки). Його використання дозволяє отримати стійкість інструменту та продуктивність обробки у декілька разів більше у порівнянні із різальними пластинками із твердого сплаву [2];

- Різальні інструменти із наноструктурованими покриттями. Дозволяють підвищити стійкість інструменту та продуктивність обробки більше ніж на 30 % у порівнянні із аналогічними матеріалами без покриттів [8].

Окреслюючи сучасні перспективи підвищення продуктивності фрезерної обробки титанових сплавів, варто визначити інноваційні інструментальні матеріали. Їх використання дозволяє не тільки забезпечити більш ефективну обробку, у порівнянні із твердими сплавами, а й отримати покращення екологічності виробництва за рахунок проведення обробки без використання МОТС, що забезпечується підвищенням хімічної та температурної стійкості в інструментальних матеріалах.

Список використаної літератури:

1. Довідковий посібник ISCAR «Обробка титану» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : https://www.iscar.co.jp/Catalogs/flipview/russia-33/machining_titanium_rus_metric/files/basic-html/page3.html
2. Excellent performance for machining exotic alloys [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : <https://www.sumitool.com/en/downloads/assets/mt-catalog/BD050.pdf>
3. R. Abdullah, R. Izamshah; B. Ikram; A. Aziz, M. Sanusi; M. Shahir (2017). Comparative study of tool wear in milling titanium alloy (Ti-6Al-4V) using PVD and CVD coated cutting tool. *Industrial Lubrication and Tribology*.
4. E.O. Ezugwu; R.B. Da Silva; J. Bonney; Á.R. Machado (2005). Evaluation of the performance of CBN tools when turning Ti-6Al-4V alloy with high pressure coolant supplies. 45(9), 1009–1014.
5. R.Lindvall ; F. Lenrick ; H. Persson ; R. M'Saoubi ; V. Bushlya (2020). Performance and wear mechanisms of PCD and pcBN cutting tools during machining titanium alloy Ti6Al4V.
6. B. Srinivasan; R. Ramachandra; C.Balkrishna (2017). On the development of a dual-layered diamond-coated tool for the effective machining of titanium Ti-6Al-4V alloy. *Journal of Physics D: Applied Physics*,
7. Інноваційні рішення та технології металообробного виробництва: монографія / Ф.В. Новіков, В.О. Жовтобрюх, Д.Ф.Новіков. – Дніпро: ЛІРА,2023.
8. Settineri, Luca; Faga, Maria Giulia (2008). Nanostructured cutting tools coatings for machining titanium. *Machining Science and Technology*, 12(2), 158–169.

Ю.В. Радкевич, студ., гр. МБ-139М, ФКІТМР
О.А. Залюбівський, студ., гр. МБ-139М, ФКІТМР
О.Л. Мельник, зав. каф. МІ, к.т.н., доц.
О.М. Пилипенко, д.т.н., проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСНИХ ЧАСТОТ ЗВАРНИХ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБАМИ САПР

При проектуванні рамних зварних конструкцій міні вертикально-фрезерних та інших верстатів, котрі оснащуються високошвидкісними мотор-шпинделями, актуальним є питання виконання модального аналізу - дослідження власних (резонансних) частот коливань (на відповідних їм форм коливань) на етапі проектування з метою уникнення явищ резонансу. В частотному дослідженні SolidWorks Simulation демпфування не враховується, тому неможливим є отримання інформації про конструкцію (напруження, переміщення тощо) в момент резонансу, проте отримання значень власних (резонансних) частот дозволяє уникати явища резонансу. Відомо, що сучасні мотор-шпинделі можуть мати частоти обертання на рівні десятків тисяч обертів за хвилину, тому існує небезпека співпадіння частоти вимушених коливань з частотами власних коливань та виникнення вже згаданого явища резонансу, що обумовлює актуальність досліджень частотних характеристик конструкцій.

Для захисту від явища резонансу можуть використовуватися різні механічні пристрої, які принципово змінюють спектральні характеристики конструкцій і поглинають енергію коливань (віброізолятори, вібробори тощо). Водночас в інженерній практиці застосовується імітаційне дослідження зварних рам мініверстатів та іншого обладнання з метою модифікації параметрів власних коливань за рахунок зміни конфігурації рами (при відомих параметрах вимушених коливання) на етапі проектування.

Реальна модель має безліч власних частот та відповідних їм форм коливань. Однак, скінченно-елементна модель (в середовищі CAE систем) має кінцеву кількість власних (резонансних) частот, яка дорівнює числу ступенів свободи в моделі [1]. Останнє суттєво залежить від умов закріплення та прикладений навантажень. За промовчанням в частотному дослідженні SolidWorks Simulation досліджуються лише перші 5 власних частот, також за промовчанням зварні конструкції в SolidWorks Simulation дискретизуються балочними скінченними елементами без можливості внесення змін в процедуру утворення скінченно-елементної сітки [2]. З літературних джерел відомо, що одним із найбільш інформативних результатів частотного дослідження є масова участь досліджуваної конструкції у коливанні на різних частотах. Водночас постає питання вибору скінченних елементів для дискретизації моделі, для аналізу даного питання в даній роботі виконується порівняльна оцінка результатів частотного дослідження рамної конструкції, котра дискретизується різними типами скінченних елементів. Результати формування скінченно-елементних сіток досліджуваної конструкції показані на рис. 1.

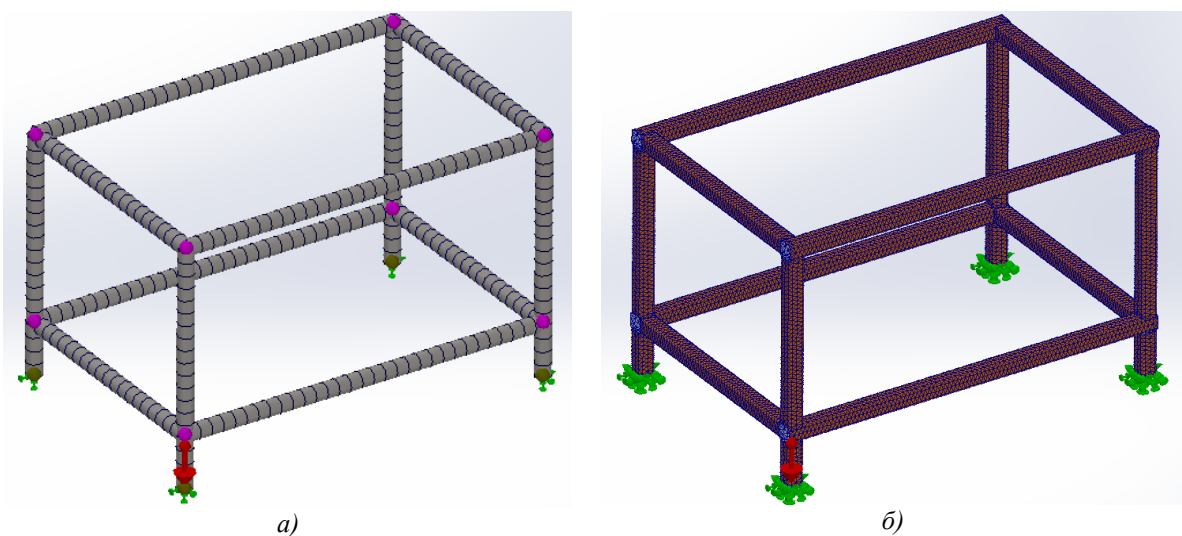


Рис. 1. Скінченно-елементні моделі рамної конструкції в середовищі SolidWorks Simulation:
а – балочна (балочні скінченні елементи); б – оболонкова (оболонкові скінченні елементи)

В даному дослідженні не розглядалася дискретизація моделі твердотілими (об'ємними) скінченними елементами, а порівнювалися тільки оболонкова та балочна моделі. Варто зазначити, що в даному дослідженні аналізується спрощена модель (деталь, а не збірка деталей) для порівняння коефіцієнту масової участі конструкції у коливаннях для різних типів скінченних елементів. Частотне дослідження збірок, де буде враховуватися кінематика збірок та тертя є задачею не тривіальною та в даному дослідженні не

Результати виконання частотного дослідження відображені на рис. 2. Зокрема там відображений список резонансних частот та масова участь коливання конструкції на резонансних частотах для балочної (а) та оболонкової (б) моделей. На рис. 2 показані результати дослідження перших 30-ти власних частот, але в цілому було виконано дослідження 65-ти мод конструкції, що в результаті дозволило отримати сумарну масову участь більше 90 % у коливаннях по кожній з 3-х осей для обох скінченно-елементних моделей.

Mode No.	Freq (Hertz)	X direction	Y direction	Z direction	Mode No.	Freq (Hertz)	X direction	Y direction	Z direction
1	108,99	4,51E-24	3,89E-16	0,57346	1	98,745	0,54703	2,77E-06	9,07E-06
2	117,01	0,56965	2,26E-17	4,04E-24	2	131,41	3,84E-05	1,56E-05	0,5662
3	148,74	9,33E-12	3,87E-24	1,27E-15	3	147,58	3,71E-04	2,47E-06	0,0013321
4	196,01	1,14E-10	1,52E-23	2,34E-17	4	217,4	1,58E-06	2,99E-07	0,0017388
5	257,16	1,29E-17	3,33E-07	1,55E-18	5	315,03	7,16E-04	3,40E-02	0,00025767
6	295,44	5,03E-15	0,11092	6,11E-16	6	327,56	0,010485	0,012868	7,80E-05
7	307,02	3,45E-16	0,00034714	5,13E-17	7	334,36	0,19269	0,0059936	2,10E-08
8	310,15	8,90E-05	7,68E-20	5,12E-23	8	340,07	2,94E-06	0,038757	4,81E-07
9	332,66	0,16524	9,80E-17	4,16E-25	9	343,89	4,52E-03	0,033934	1,42E-05
10	370,34	1,28E-16	0,23024	8,22E-15	10	355,7	0,0038144	0,12421	7,22E-06
11	372,86	0,00011316	5,81E-17	5,22E-22	11	358,35	0,0021769	0,10418	2,11E-07
12	413,17	0,012548	3,94E-16	5,88E-25	12	431,88	0,0066037	5,07E-05	6,91E-07
13	581,43	5,77E-26	1,50E-12	0,23575	13	584,22	7,16E-06	9,50E-02	5,31E-04
14	609,11	8,55E-16	0,064874	1,34E-13	14	604,05	1,79E-07	0,0054365	0,26675
15	634,33	3,63E-24	1,23E-15	1,87E-07	15	609,57	9,38E-06	0,018208	0,054198
16	639,69	5,53E-24	2,46E-14	5,15E-07	16	665,09	2,67E-04	0,12003	7,13E-07
17	704,15	6,39E-11	5,04E-21	8,46E-16	17	675,45	2,59E-06	0,0018006	9,96E-05
18	733,04	5,74E-17	5,41E-05	1,05E-13	18	708,17	6,52E-05	1,50E-05	8,30E-04
19	744,42	2,06E-24	4,88E-13	0,0056492	19	732,54	2,73E-05	4,93E-06	0,0019039
20	773,69	7,26E-17	0,00038491	5,01E-12	20	750,72	2,96E-05	1,21E-04	0,00011883
21	778,51	6,94E-14	9,17E-24	6,78E-15	21	794,58	3,26E-06	3,28E-05	1,62E-05
22	834,11	5,75E-14	0,17525	7,68E-15	22	820,6	1,54E-01	7,12E-05	5,73E-05
23	835,9	1,16E-25	2,67E-12	1,02E-03	23	825,11	0,0044231	1,72E-07	2,72E-04
24	865,53	1,42E-01	4,59E-14	1,09E-25	24	853,85	1,24E-05	9,18E-06	0,0034682
25	916,52	1,59E-24	1,19E-13	1,63E-02	25	900,31	1,36E-05	1,92E-05	0,0038721
26	921,82	1,14E-14	1,12E-22	5,63E-15	26	920,79	5,50E-06	4,69E-06	0,0041395
27	958,65	2,94E-14	6,13E-26	2,01E-15	27	968,56	3,18E-06	2,27E-06	0,022274
28	1 060	2,49E-25	1,13E-13	0,032174	28	980,53	2,48E-05	5,75E-09	4,45E-05
29	1 089,4	3,42E-16	4,17E-25	1,31E-18	29	1 004	6,59E-06	3,78E-06	2,52E-04

а)

б)

Рис. 2. Коефіцієнт масової участі для балочної (а) та оболонкової (б) моделей перших 30-ти мод.

Проаналізуємо масову участь по осях X, Y та Z. З рис. 2 (а) виходить, що на резонансній частоті 117,56 Гц (мода № 2) в коливання по осі X бере участь ~57 % маси конструкції, що визначає цю частоту як небезпечну з точки зору резонансу. Також небезпечною по даній осі є частота 332,66 Гц (мода № 9), так як в коливанні приймає участь ~17 % маси конструкції. По осі Z найбільш небезпечними з точки зору резонансу є моди 1,13 та 28 (108,99 / 581,43 / 1089,4 Гц відповідно) з масовою участю відповідно 57 %, 23 % та 3,2 %. По осі Y найбільш небезпечними з точки зору резонансу є моди 10,14 та 22.

Співставляючи дані результати із результатами масової участі для оболонкової моделі, бачимо, що резонансні частоти близькі по значеннях, але існує значна розбіжність у результатах масової участі. Це ще раз наголошує на важливості раціонального вибору типу скінченних елементів та відпрацювання скінченно-елементних моделей та постановки задач (формування граничних, кінематичних умов тощо) на верифікаційних прикладах.

Список використаної літератури:

1. Оптимізація вузлів і деталей верстатів та машин за допомогою модуля «Анализ напряжений» Autodesk Inventor: навч. посіб. [для студ. Вищ. навч. закл.] / В. М. Гейчук, К. М. Рудаков. – К.: НТУУ «КПІ», 2016.- 176.
2. Frequency Analysis // Dassault Systèmes. – 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://help.solidworks.com/2023/English/SolidWorks/cworks/c_Frequency_Analysis.htm?id=ffaf2c9bcd874d94a3025283c202efc8#Pg0.

О.В. Чернишов, ст. викладач
Д.В. Латишев, здобувач вищої освіти
Дніпровський державний технічний університет (м. Кам'янське)
В.А. Яновський, доц.
Д.О. Медвідь, студ., гр. ПМ-140
Державний університет «Житомирська політехніка»

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МИЙНИХ МАШИН БАРАБАННОГО ТИПУ

Металева стружка, що утворюється при обробці деталей різанням, є цінною сировиною для металургійної промисловості й порошкової металургії де вона використовується у вигляді пресованих пакетів. Пресування металевої стружки для потреб металургійної та порошкової металургії неможливо без її якісної очистки від залишків мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), що застосовуються при обробці різанням. Очистка стружки від залишків МОР здійснюється шляхом миття її в спеціальних мийних машинах з подальшою сушкою. Для цього необхідно мати спеціальне обладнання. На жаль, ефективне спеціальне обладнання для миття стружки в промисловості відсутнє, а застосування такого обладнання з інших галузей промисловості, як показав аналіз, малоефективне. Особливу складність при підготовці стружки до пакетування становить виконання наступних операцій: класифікація стружки за розміром, відділення стружки від МОР, миття стружки та її сушіння [1].

На кафедрі «Технологія машинобудування» Дніпровського державного університету (м. Кам'янське) розроблена конструкція машини барабанного типу для очищення (миття) металевої стружки від залишків МОР спеціальним миючим розчином в ультразвуковому середовищі. Розроблена методика визначення конструктивних параметрів для машин даного типу. Реалізація даної машини у виробничих умовах показала її високу ефективність.

Розроблена конструкція мийної машини представлена на рис. 1. Машина має бак 1 з миючим розчином, усередині якого розміщені завантажувальний лоток 2 і барабан 3. Усередині барабана, у верхній частині, розміщені пристрої для подачі миючого розчину 4 на центральній трубі 5, а в нижній частині труби 5 встановлені гідродинамічні ультразвукові вібратори 6. Барабан встановлений на роликах 7, один з яких є ведучим і отримує обертання від приводу через зірочку 8 і вал 9. У торці перфорованої частини барабана 3 встановлений лоток 10 та механізм розвантаження 11.

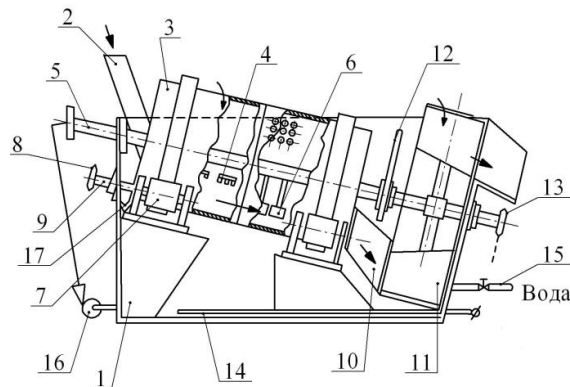


Рис. 1. Машина для миття стружки

1 – бак; 2 – завантажувальний лоток; 3 – барабан; 4 – зволожуючий пристрій; 5 – труба для подачі мийної рідини; 6 – ультразвукові вібратори; 7 – ролики; 8 – зірочка; 9 – вал; 10 – лоток; 11 – механізм розвантаження; 12 – перегородка розділу; 13 – вал; 14 – електронагрівач; 15 – труба для подачі холодної води; 16 – насос; 17 – маслозбірник

Між барабаном і механізмом розвантаження встановлена перегородка 12, що розділяє механізм миття і розвантаження стружки і є основою для кріплення труби 5 і вала 13. Внизу бака встановлені електронагрівальні елементи 14 і 15 труба для подачі холодної води, а також насос 16 для подачі рідини в трубу. Для відведення масла з бака встановлений маслозбірник 17.

Мийна машина працює наступним чином: стружка завантажується в лоток 2 і по ньому переміщується в барабан 3. При обертанні барабана стружка, інтенсивно перемішуючись, пересувається по барабану і піддається миттю струменями пристрою 4, а потім рідиною, що знаходиться в барабані 3, з накладенням ультразвукових коливань, створюваних гідродинамічними вібраторами 6. Чиста стружка по лотку 10 вивантажується в механізм 11, за допомогою якого видаляється з машини. Періодично в бак 1 по трубі 15

подається холодний мийний розчин, рівень якого в баку піднімається, і верхні шари рідини разом з мастилом попадають в мастилозбірник 17 та зливаються за межі бака.

Послідовне розташування зволожуючих пристроїв і гідродинамічних ультразвукових вібраторів дозволяє збільшити в 2–2,5 рази продуктивність мийної машини та підвищити якість миття стружки. Експерименти показали надійність роботи даної машини при очищенні від мастил та МОР всіх видів подрібненої стружки. Однією з переваг даної мийної машини є використання дешевих малогабаритних та простих у виготовленні гідродинамічних ультразвукових вібраторів.

Для визначення продуктивності, а також основних конструктивних параметрів миючих машин барабанного типу необхідно знати час руху матеріалу стружки в порожнині барабана. З цієї метою побудована номограма для визначення основних конструктивних параметрів миючої машини барабанного типу (рис. 2).

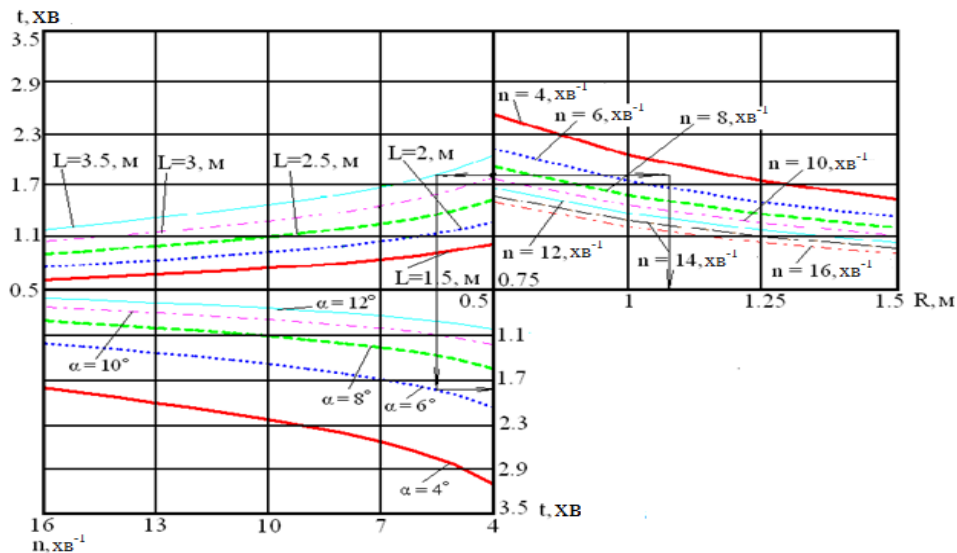


Рис. 2. Номограма для визначення конструктивних параметрів мийних машин барабанного типу

Так, наприклад, для руху матеріалу стружки по порожнині барабана 1,8 хв. на осі t в середині графіка знаходимо значення 1,8 і від нього проводимо пряму паралельно осі n (частоти обертання барабана) до перетину з кривою на графіку, яка відповідає довжині барабана 3,5 м, потім повертаємо лінію вниз перпендикулярно до перетину її з горизонтальною віссю, яка виходить із точки t дорівнює 1,8 хв в нижній частині графіка. Перетин цих двох ліній потрапляє на криву, що відповідає значенню кута $\alpha = 6^\circ$. При цьому вісь n перетинається у точці, яка відповідає частоті обертання барабана 5,5 хв⁻¹. Потім з точки $t = 1,8$ хв проводимо лінію паралельну осі R праворуч графіка, де значення кривої частоти обертання барабана відповідає 5,5 хв⁻¹, і з цієї точки опускаємося вниз на вісь R . Значення радіуса барабана при цьому відповідає 1,1 м.

Таким чином, при довжині барабана 3,5 м, куті нахилу 6° , радіусі барабана 1,1 м та частоті обертання 5,5 хв⁻¹ матеріал стружки перебуватиме в барабані протягом 1,8 хв.

Продуктивність такої машини, знаючи час знаходження матеріалу в барабані, можна визначити за формулою:

$$P = \varphi \frac{\pi D^2}{4} \varpi_m \rho,$$

де P – продуктивність, кг/год; φ – коефіцієнт заповнення поперечного перерізу барабана матеріалом, частка одиниці; D – внутрішній діаметр барабана, м; ϖ_m – середня швидкість поступального руху матеріалу; ρ – насипна щільність матеріалу; $\varpi_m = L_0/t$, де L_0 – довжина барабана; t – час знаходження частинок у барабані.

Список використаної літератури:

1. Підвищення ефективності процесу очищення металевої стружки від мастильно-охолоджуючих рідин за допомогою миючих розчинів / Чернишов О.В., Музичка Д.Г., Трикіло А.І., Яновський В.А. // Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського. Вип. 5/2018 (112). – С.103–109.

АРИАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ТЕКСТУРИ ПОВЕРХНІ

Вимірювання шорсткості механічно оброблених поверхонь, зазвичай, здійснюється профільним методом. Згідно ДСТУ ISO 4287:2012 [1] для цього методу визначається шість параметрів оцінки шорсткості (висотні: Ra – середнє арифметичне відхилення профілю, Rz – висота нерівностей профілю по 10 точках, $Rmax$ – найбільша висота профілю; крокові: S – середній крок місцевих виступів профілю, Sm – середній крок нерівностей профілю по середній лінії; висотно-кроковий: tp – відносна опорна довжина профілю, де p – значення рівня перерізу профілю).

Профільний метод вимірювання та оцінки мікрогеометрії має обмеження, які пов'язані з неврахуванням форми мікроелементів, їх розташуванням, а також відсутністю можливості оптимізації цих параметрів для забезпечення функціональних властивостей поверхонь. Тому паралельно із застосуванням профільного методу використовується також ареальний метод оцінки шорсткості поверхонь. Такі вимірювання можуть виконуватися, наприклад, за допомогою сучасних оптичних 3D-профілометрів.

Згідно ареального методу (ISO 25178-2:2021 [2]) визначається 24 типи параметрів текстур поверхні, які поділяються на наступні 5 категорій. Параметри висоти: S_q – середньоквадратичне значення висоти поверхні; S_{sk} – асиметрія поверхні; S_{su} – ексцес поверхні; S_p – максимальна висота піку поверхні; S_v – максимальна висота провалу поверхні обмеженого масштабу; S_z – максимальна висота поверхні; S_a – середнє арифметичне значення висоти поверхні. Просторові параметри: S_{al} – довжина автокореляції; S_{tr} – співвідношення геометричних розмірів структури; S_{td} – напрямки текстури. Гібридні параметри: S_{dq} – середньоквадратичний градієнт поверхні; S_{dr} – розгорнуте співвідношення граничної площі поверхні обмеженого масштабу; S_{pc} – середнє арифметичне висоти викривлення. Функціональні параметри: S_k – висота ядра; S_{pk} – знижена висота піку; S_{vk} – знижена висота впадин; S_{mr1} – коефіцієнт змінання (відношення «піків» області матеріалу на лінії перетину, яка відокремлює виступи, що виступають, від поверхні ядра, до області оцінювання); S_{mr2} – коефіцієнт змінання (відношення «впадин» області матеріалу на лінії перетину, яка відокремлює виступаючі жолоби від поверхні ядра, до області оцінювання); S_{xp} – максимальна висота піку. Параметри функціонального обсягу: V_{vv} – об'єм порожнин; V_{vc} – об'єм порожнин ядра; V_{mp} – об'єм матеріалу піку поверхні; V_{mc} – об'єм матеріалу ядра поверхні.

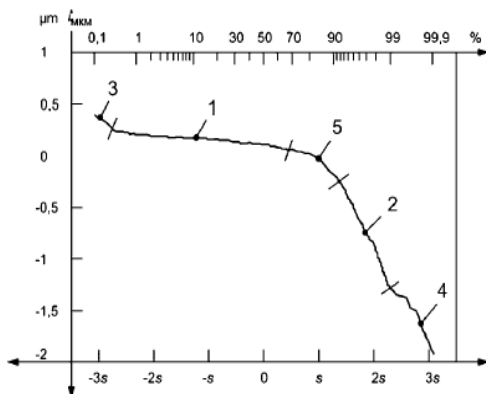


Рис. 1. Крива ймовірності коефіцієнту змінання матеріалу [2]. (1 – область плато, 2 – область впадини, 3 – залишки або піки, що виходять за певні межі; 4 – глибокі насічки або впадини, що виходять за певні межі; 5 – нестабільна ділянка (вигин), включена в точку переходу плато-впадин на підставі комбінації двох розподілів)

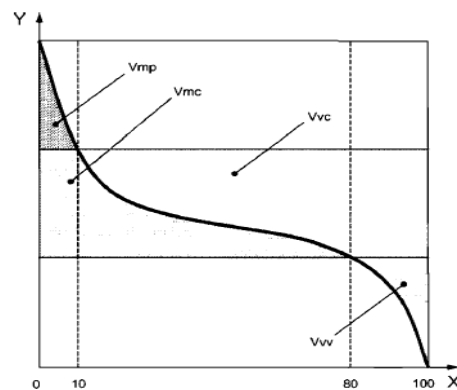


Рис. 2. Параметри об'єму порожноти та матеріалу [2]

Отже, для розвитку сучасних технологій механічної обробки прецизійних поверхонь з метою отримання більшої кількості характеристик мікрорельєфу цих поверхонь варто застосовувати ареальний метод описання просторої мікроструктури, як додатковий.

Список використаної літератури:

1. ДСТУ ISO 4287:2012. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Терміни, визначення понять і параметри структури.
2. ISO 25178-2:2021. Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Areal, Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.

ВПЛИВ СТРУКТУРИ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ВИСОКОМІЦНИХ ЧАВУНІВ З ВЕРМИКУЛЯРНИМ ГРАФІТОМ НА ЇХ ОБРОБЛЮВАНІСТЬ РІЗАННЯМ

Чавуни з вермикулярним графітом (CGI) мають гарні фізико-механічні характеристики, при їх невеликій вартості. CGI мають високі показники твердості, міцності, стійкості до стирання, поглинання ударів і теплопровідності. Це робить їх ідеальними матеріалами для виготовлення деталей які працюють в умовах циклічних і знакозмінних навантажень, підвищеного поверхневого зносу, при значних ударних, Межа міцності на розрив і втомну міцність CGI майже вдвічі вища у порівняні з сірим чавуном (GI), модуль пружності вищий приблизно на 35 %, але теплопровідність GI приблизно на 25 % більша, ніж у CGI. Вони є чудовими матеріалами для виробництва деталей, які одночасно піддаються і термічним, і механічним навантажнням. Їх використовують для виготовлення деталей будь-яких розмірів, мас й перетинів. CGI чавуни застосовуються в автомобілебудуванні для виготовлення блоків циліндрів дизельних двигунів, гальмівних дисків, випускних колекторів, колінчастих і розподільчих валів тощо. В машинобудуванні – для виготовлення супортів, станин, різцетримачів, шпинделів, станин прокатних станів і кувальних молотів, прокатних валків тощо.

Однак, великим недоліком цих чавунів є дуже погана їх оброблюваність з великими витратами різального інструменту. У багатьох роботах вітчизняних та зарубіжних науковців, для оцінки оброблюваності чавунів з вермикулярним графітом, їх часто порівнюють з сірими чавунами, і проводять дослідження для виявлення взаємозв'язків між їх структурою і модифікацією графіту в них, та їх хімічним складом і стійкістю інструментів при їх обробці. Хімічний склад чавунів з вермикулярним графітом: 3,1...3,8 % C; 0,015...0,028 % Mg; 2,0...3,0 % Si; 0,2...1,0 % Mn; до 0,025 % S і 0,08 % P. Деякі дослідження показують, що між залізом і графітом існує сильна адгезія, внаслідок чого при обробці CGI утворюється напівсуцільна стружка. Тому сили різання при обробці CGI, значно більші ніж при обробці GI. Це тому, що на ріжучій кромці відсутній шар MnS. В мікроструктурі чавуну сірка має прямий вплив на формування марганцево-сірчаного шару на ріжучій кромці, який при обробці сірих чавунів захищає ріжучу кромку від абразивного зносу. При обробці різанням CGI утворення MnS шару не відбувається, а тому стійкість ріжучого інструменту при цьому значно менша, ніж при різанні GI. Головним режимом зношування в системі CBN-CGI (кубічний нітрид бору – чавун з вермикулярним графітом) при високих швидкостях різання є термохімічний (дифузія та окислення). Він виникає внаслідок суворих умов контакту інструменту зі стружкою (високі температури та нормальні та зсувні напруження). При обробці CGI твердосплавними інструментами найпоширенішими видами руйнування інструменту є: адгезійний знос, тріщини, викришування та відколи. Механізм зношування керамічних інструментів подібний до тих, які мають місце при обробці в системі CBN-CGI (дифузія та окислення). Як для керамічних інструментів, так і для інструментів з надтвердих матеріалів стійкість інструменту збільшується всього в 2–3 рази при обробці CGI, в той час як при обробці GI вона збільшується у 6 разів. Така обробка буде не економічною, так як їх вартість у 5–6 разів більша ніж вартість інструментів з твердосплавних матеріалів. У деяких роботах зазначено, що збільшення швидкості різання до 800м/хв робить обробку надтвердими матеріалами більш ефективною і дозволяє отримати кращу якість поверхні. Однак, в різних роботах вибір раціональних режимів різання має дуже суперечливий характер, і потребує додаткового вивчення. Підвищувати ефективності обробки CGI можна також за рахунок раціонального вибору геометричних параметрів різання та ступінчастих схем різанням. В одній з робіт зазначається, що за рахунок застосування контрольованої низькочастотної модуляції (~100 Гц), що накладається на процес різання в напрямку подачі стійкість різального інструменту може бути збільшена у 20 разів.

На підставі аналізу літературних джерел в тезах даної доповіді викладено існуючі уявлення про структурні особливості високоміцних чавунів з вермикулярним графітом. Розглянуто вплив хімічного складу і структури на їх оброблюваність різанням та експлуатаційні властивості і стан поверхневого шару заготовки, та можливості її покращення.

Список використаної літератури:

1. B. Tasdelen, M. Escursell, G. Grenmyr, L. Nyborg / Machining of gray cast irons and compacted graphite iron. / Swedish Production Symposium 2007
2. L.R.R. da Silva, F.C.R. Souza, W.L. Guesser, M.J. Jackson, A.R. Machado / Critical assessment of compacted graphite cast iron machinability in the milling process / Journal of Manufacturing Processes / August 2020, 63-74 pp.