

СЕКЦІЯ 2. МАШИНОБУДУВАННЯ І КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.824

Долінчук А.О., студ.

Малишев І.П., асп.

Степчин Я.А., к.т.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

АНАЛІЗ НЕЛІНІЙНОСТІ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ МЕТАЛОРІЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Продуктивність та точність обробки деталей машин часто залежить від динамічних процесів, що виникають під час обробки різанням на верстаті. Постійне зростання вимог до інтенсифікації процесів обробки та якості оброблених поверхонь деталей машин призводить до необхідності оцінки та врахування усіх можливостей технологічної обробної системи (ТОС) для забезпечення усталеності процесу обробки та підвищення її швидкодії.

При розгляді динаміки ТОС, для спрощення математичного опису процесів, найчастіше використовують лінійні моделі з однією або декількома ступенями вільності. Але саме однією з особливостей виникнення та існування автоколивальних процесів є нелінійність параметрів пружної системи верстата та процесів, що відбуваються при різанні. Тому лінійні диференціальні рівняння опису поведінки обробної системи не можуть бути основою для визначення умов виникнення та рівнів існування автоколивальних процесів у ТОС. Для оцінки умов здійснення процесу різання при яких забезпечується встановлена якість та максимально можлива продуктивність обробки необхідний аналіз та врахування нелінійності динаміки ТОС.

Широке використання процесів високошвидкісної обробки для підвищення продуктивності процесів виготовлення деталей машин вимагає суттєвих змін у конструкції найбільш відповідальних вузлів металорізальних верстатів та точної оцінки динамічної стабільності роботи ТОС в умовах впливу цілої низки зовнішніх та внутрішніх чинників.

Таким чином, питання аналізу динамічних процесів у високошвидкісних обробних системах загалом і окремих її елементах – високоточних шпиндельних вузлах, зокрема, з оцінкою і подальшим врахуванням різних видів нелінійності їх характеристик, є важливою науковою проблемою і потребує докладного опрацювання.

Також важливим є визначення складових впливу нелінійності окремих конструкцій типових елементів вузлів верстатів на загальний відгук ТОС з врахуванням граничних умов процесу обробки.

При розгляді умов виникнення та підтримки автоколивань у ТОС під час обробки основним фактором впливу вважається дестабілізуючий вплив процесу різання або зовнішні періодичні навантаження. Для випадку високошвидкісної обробки різанням шпиндельний вузол верстата наближається за умовами своєї роботи до схеми роботи роторної системи. В цьому випадку автоколивання можуть обумовлюватися дією неконсервативних сил циркуляційного типу, які не пов'язані з зовнішніми періодичними навантаженнями або будь-якими резонансними співвідношеннями. До цього типу сил у шпиндельному вузлу високошвидкісного верстата можна віднести сили внутрішнього тертя, аеродинамічні та гідродинамічні сили в підшипниках ковзання та ущільненнях, електродинамічні та електромагнітні сили у електричних складових мотор-шпинделів.

Основною умовою виникнення циркуляційних сил є несиметричність матриці коефіцієнтів жорсткості, коли будь-яка складова неідеальної конструкції шпиндельного вузла – шпонкові або шліцьові пази, елементи підшипників кочення, конструкції вузла, несучільних по куту повороту складових електричних машин – призводить до виникнення вектору зміщення. Вектор циркуляційних сил завжди розташований перпендикулярно до вектору зміщення, тому його дослідження можна виконати тільки в системах з двома і більше ступенями вільності.

Загалом можливі кілька варіантів виникнення такого типу сил.

1. За рахунок сил внутрішнього тертя, як сил опору, що виникають в елементах системи, обумовлених тертям між окремими деталями по контактуючим поверхням або неідеальною пружністю матеріалу. Рівняння руху в нерухомих координатах з членами, що враховують вплив в'язкого внутрішнього та зовнішнього тертя, ваги масивного валу шпинделя та його невірноваженості (або зовнішньої поперечної сили, що імітує силу різання) матиме вигляд:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{u}_y + K_e \dot{u}_y + K_i(\dot{u}_y + \omega u_z) + c u_y &= m e_x \omega^2 \cos \omega t \\ m\ddot{u}_z + K_e \dot{u}_z + K_i(\dot{u}_z - \omega u_y) + c u_z &= m e_x \omega^2 \sin \omega t - Mg \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де $\ddot{u}$, $\dot{u}$, u – прискорення, швидкість та переміщення за кожною з осей координат відповідно, c – коефіцієнт жорсткості системи, K_i , K_e – коефіцієнти пропорційності, що враховують сили в'язкого внутрішнього та зовнішнього тертя відповідно, ω – частота обертання шпинделя, m – його маса, e_x – величина невірноваженості (загальний ексцентриситет).

Ці формально не пов'язані рівняння описують два поступальні (поперечні) рухи коливальної системи – масивного жорсткого шпиндельного валу на пружних опорах з демпфуванням.

З аналізу рівнянь (1) випливає, що сили внутрішнього тертя призводять до виникнення як сил демпфування так і циркуляційних сил.

З системи рівнянь (1) можна отримати умову усталеності коливальної системи, якщо вважати, що коефіцієнти K_e та K_i не залежать від частоти коливань:

$$\omega < \omega_{гpy} = \omega_0 \left(1 + \frac{K_e}{K_i}\right); \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (2)$$

де $\omega_{гpy}$, ω_0 – кутова швидкість втрати усталеності та власна частота системи відповідно.

З рівняння (2) слідує, що втрата усталеності у розглянутій системі може відбутися тільки при швидкості обертання валу, що перевищує його власну частоту, а сили зовнішнього тертя обумовлюють зсув границі усталеності у бік вищих швидкостей. На межі усталеності частота виникаючих автоколивань співпадає з власною частотою ротора ω_0 , що і характерно для автоколивань.

2. Виникнення циркуляційних сил в магнітному полі може бути представлено на прикладі ротора з електрообмоткою. У випадку центрального розташування ротора виникаюча сила Ампера у рухомій обмотці ротора створює момент, що вносить доданок до загального моменту. Якщо ротор зміщено, крім загального моменту виникне результуюча сила, направлена перпендикулярно площині витка в бік обертання поля. У випадку малих зміщень для усього ротора залежність для проекцій сили матиме вигляд:

$$P_y = -bu_z; \quad P_z = bu_y, \quad (3)$$

де b – коефіцієнт, що залежить від різниці кутових швидкостей $(\omega - \omega_m)$.

Формула (3) відповідає також силам, що виникають при дотиканні ротора та статора та присутності сил різання. Останній випадок більш докладно було розглянуто у роботах.

3. Виникнення циркуляційних сил за рахунок гіроскопічного ефекту визначається з рівнянь руху для випадку розгляду врівноваженого ізотропного ротора, що виконує тільки кутові переміщення (з врахуванням внутрішнього тертя):

$$\begin{cases} I\ddot{\varphi}_y + (K_i^\varphi + K_e^\varphi)\dot{\varphi}_y + I_0\omega\dot{\varphi}_z + \omega K_i^\varphi\varphi_z + c'\varphi_y = 0 \\ I\ddot{\varphi}_z + (K_i^\varphi + K_e^\varphi)\dot{\varphi}_z - I_0\omega\dot{\varphi}_y - \omega K_i^\varphi\varphi_y + c'\varphi_z = 0 \end{cases} \quad (4)$$

де K_i^φ та K_e^φ – коефіцієнти демпфування при кутових переміщеннях (не навколо осі обертання валу).

Тоді умова усталеності системи та частота автоколивань ω_a на межі усталеності матиме вигляд:

$$\omega < \omega_{гpy} = \omega_a \left(1 + \frac{K_e^\varphi}{K_i^\varphi}\right); \quad \omega_a = \omega_0 \sqrt{\frac{1}{1 - (1 + \frac{K_e^\varphi}{K_i^\varphi})\frac{I_0}{I}}}; \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{c'}{I}}. \quad (5)$$

З рівнянь (5) слідує, що гіроскопічний ефект підвищує усталеність системи, проте частота виникнення автоколивань ω_a вже не є постійною величиною, як в (2), а залежить від співвідношення між силами тертя.

Якщо врахувати умову, що в реальних системах сили зовнішнього тертя прикладені в опорах, то залежно від жорсткості опор і величини в'язкого тертя зростання опору в опорах збільшує усталеність до певного оптимального для системи рівня демпфування.

Висновки:

1. Автоколивання у ТОС на основі металорізального верстата з обертальним головним рухом можуть обумовлюватися дією неконсервативних сил циркуляційного типу: силами внутрішнього тертя, аеродинамічними та гідродинамічними силами в підшипниках ковзання та ущільненнях, електродинамічними та електромагнітними силами у електричних складових мотор-шпинделів.

2. Гіроскопічний ефект підвищує усталеність системи, проте критична частота виникнення автоколивань не є постійною величиною, а залежить від співвідношення між силами тертя.

3. Зростання опору в опорах збільшує усталеність до певного оптимального для системи рівня демпфування.

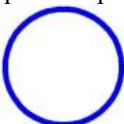
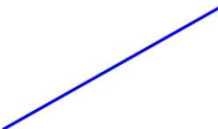
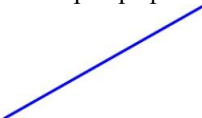
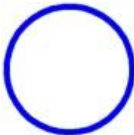
4. При врахуванні різних видів нелінійності динамічних систем характерних для шпиндельних вузлів металорізальних верстатів зовнішні навантаження в більшості випадків підвищують усталеність та знижують загальний рівень амплітуди автоколивань.

ІЄРАРХІЯ ГРАФІВ ДЕЯКИХ СТРУКТУРНИХ ОДИНИЦЬ ПЛОСКИХ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

Одним з розділів сучасної теорії механізмів є їх структурний аналіз, в рамках якого розглядають закономірності процесу утворення механізму, структурні одиниці, з яких складається механізм, питання існування механізму взагалі тощо. На структурних схемах виконують деякі вимоги до структурних схем, як то: ланки на схемі показують за допомогою простих геометричних фігур довільних розмірів (відрізків прямої, трикутниками, чотирикутниками і т.ін.); прямолінійним відрізком зображують ланку, що утворить з іншими ланками дві кінематичні обертальні чи поступальні пари; трикутником зображують ланку, що утворить з іншими ланками механізму три кінематичні пари; чотирикутником зображують ланку, що утворить з іншими ланками механізму чотири кінематичні пари і т.ін.; усі поступальні кінематичні пари на структурній схемі умовно зображують обертальними; кінематичні пари на структурній схемі зображуються невеликими колами тощо. Структурна схема механізму дає можливість розглянути структурні одиниці, перевірити можливість існування механізму та алгоритм його утворення, тощо. Але при цьому є малодослідженими властивості графів механізмів як дискретних з погляду структури об'єктів, тому є актуальним розгляд графів механізмів, їх структурних одиниць та властивостей.

В роботах [1,2] запропоновано підходи для застосування теорії графів для зображення структур таких дискретних об'єктів, як механізми. Зокрема, зроблено спроби показати графи як плоских важільних механізмів, так і структурних груп та механізму I класу, з яких розглянуті механізми складаються. Але, якщо підходити комплексно, необхідно мати графи всіх структурних одиниць, з яких складаються механізми – ланок, кінематичних пар, кінематичних ланцюгів з будь-яким ступенем рухомості, механізмів різної структури, тощо. В роботі [3] представлено графи деяких, в основному плоских механізмів, які складаються з n -рухомих груп.

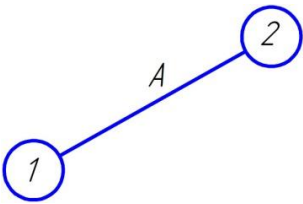
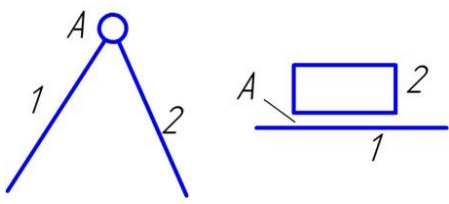
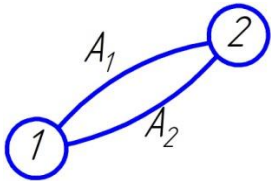
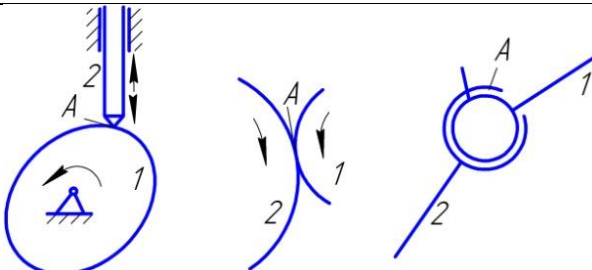
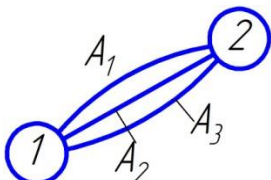
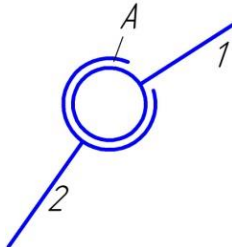
Найбільш простими елементами (структурними одиницями), з яких складаються механізми, є ланки та кінематичні з'єднання. В таблиці 1 представлено зображення ланок та кінематичних з'єднань на структурних схемах та у вигляді графів.

Зображення структурного об'єкту		Таблиця 1
На графі	На кінематичній схемі	Структурний об'єкт
Вершина графа 		Ланка
Ребро графа 		Кінематичне з'єднання

Як видно, на структурній схемі ланку показують у вигляді відрізка, якщо вона утворює з іншими ланками дві кінематичні пари. На графі ланку показують у вигляді кола – вершини графа. Кінематичне з'єднання на структурній схемі показують у вигляді кола, яке ображує обертальну пару, що дозволяє тільки один (обертальний) рух однієї ланки відносно іншої. На графі кінематичне з'єднання будемо зображувати у вигляді відрізка, тут один відрізок означає також один допустимий рух однієї ланки відносно іншої.

В табл.2 показано зображення кінематичних пар III-V класів на кінематичній схемі та на графі механізму. Як видно, кінематичні пари V класу (обертальні та поступальні) мають один граф, який складається з двох вершин та одного ребра. Вершини 1 і 2 означають ланки, які утворюють дану кінематичну пару, а ребром A зображують один відносний можливий рух ланок. Таким чином, 5 заборонених рухів в кінематичній парі V класу на графі не зображують, що є досить зручним, оскільки більшість кінематичних пар, які використовуються в сучасних механізмах, це кінематичні пари IV та V класів.

Таблиця 2

Зображення структурного об'єкту		Кінематичні пари
на графі	на кінематичній схемі	
		V класу: обертальна поступальна
		IV класу: кулачок-пальцевий, зубчасте зачеплення, сферична з пальцем
		III класу (сферична)

Кінематична пара IV класу (в табл.2 кулачок-пальцевий, зубчасте зачеплення, сферична пара з пальцем, циліндрична пара (в таблиці не представлена)) накладає 4 зв'язки на відносний рух ланок, тому дозволеними залишаються: $6-4=2$ рухи, вони показані на графі кінематичної пари IV класу двома ребрами – A_1 та A_2 . Як і у випадку кінематичних пар V класу, зображення графу для всіх кінематичних пар IV класу має один і той же вигляд.

Кінематична пара III класу представлена у вигляді кульової опори, яка обумовлює 3 обертальні рухи ланок відносно осей x , y , та z . Граф даної кінематичної пари представляє собою дві вершини 1 та 2, з'єднані між собою ребрами A_1 , A_2 та A_3 . Шарова опора найчастіше зустрічається в механічних системах роботів та маніпуляторів.

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 Ассура) 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. Теория механизмов и машин: Учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений / [М.З. Коловский, А.Н. Евграфов, Ю.А. Семенов, А.В. Слоущ]. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 560 с.

ОСОБЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ
ТА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Широке використання електроерозійної обробки на сьогодні обумовлене її динамічним розвитком як в Україні так і за її межами. З'являються нові види сплавів високої твердості, які все частіше застосовуються в конструкціях і потребують спеціальних ефективних методів обробки. Разом з тим в промисловості існує постійна тенденція до створення і використання деталей складної форм.

Титан – найбільш розповсюджений конструкційний матеріал, який характеризується особливими фізико-механічними властивостями. Механічна обробка деталей з титанових сплавів істотно утруднена через високе відношення межі текучості до межі міцності, низьку теплопровідність, високу хімічну активність щодо газів при підвищених температурах та неоднорідність властивостей зрізаного шару.

Суттєвими недоліками традиційної механічної обробки різанням є: порушення цілісності волокон металу; утворення розтягуючих напружень; взаємодія поверхневого шару сплаву з атмосферними газами, внаслідок чого відбуваються хімічні перетворення, що погіршують експлуатаційні характеристики матеріалів; зниження мікротвердості та шорсткості поверхні.

Особливим недоліком є проникнення атмосферного водню в структуру поверхневого шару та його хімічна взаємодія із титаном (утворенням гідридів), що значно знижує міцність поверхневого шару і призводить до утворення мікротріщин. У зв'язку з цим електроерозійне різання має переваги, оскільки при цьому обробка ведеться в рідкому діелектрику, тому доступ газів атмосфери до зони обробки значно утруднений.

Алюміній та його сплави, як правило, не є традиційними матеріалами для електроерозійної обробки. Це пов'язано з тим, що алюмінієві сплави мають невелику твердість та міцність і досить добре обробляються різанням. Обробка алюмінієвих сплавів має свої особливості, одна з яких описана у роботі Кабалдіна Ю.Г. «Повышение устойчивости процесса электроэрозионной обработки и качества обработанной поверхности на основе подходов искусственного интеллекта» (2007). Автор проводив дослідження теплових явищ при обробці трьох видів матеріалів: сталь 45, титановий сплав ОТ-4, алюмінієвий сплав АК-4.

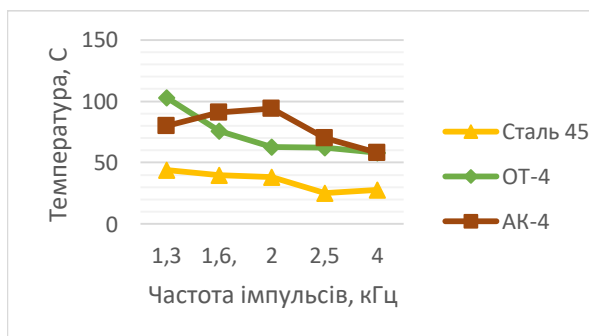


Рис. 1. Залежність температури від зміни частоти імпульсів

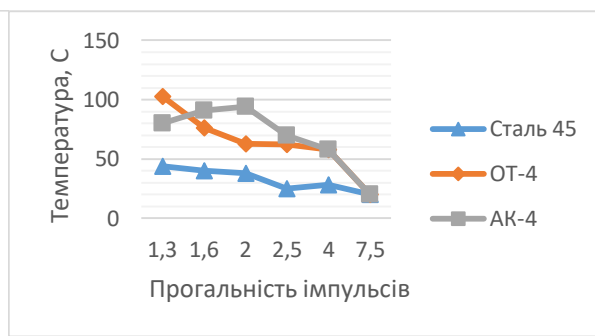


Рис. 2. Залежність температури від прогальності імпульсів

Як видно наведених рисунків концентрація теплової енергії при електроерозійній обробці деталей з алюмінієвого та титанового сплаву співставна, а в окремих випадках навіть переважає. Це парадоксальне явище через те, що коефіцієнт питомої теплопровідності алюмінію на порядок вище, ніж титану, і майже втричі більше, ніж у сталі.

Отже, можна зробити висновок, що застосування електроерозійної обробки для титанових та алюмінієвих сплавів є доцільним і перспективним.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ КОНУСНИХ ВИРІЗІВ НА ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ВЕРСТАТІ WI-30E

Сучасний етап розвитку матеріалознавства характеризується появою нових матеріалів з унікальними властивостями, які потребують нових технологій обробки, що забезпечують високу продуктивність та якість обробленої поверхні.

Обробка цих матеріалів традиційними механічними способами викликає численні технологічні проблеми, а деякі з них взагалі не підлягають механічній обробці. Тому актуальним є застосування електроерозійного способу, який відкрив нові технологічні можливості в галузі струмопровідних матеріалів. Технологія електроерозійної обробки (ЕЕО) розвивається завдяки інтенсивному зростанню випуску магнетронів.

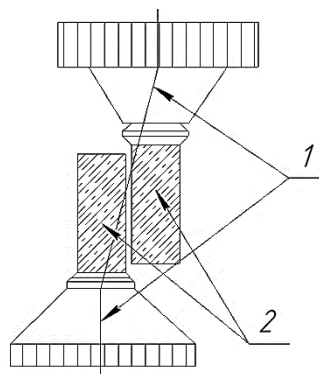


Рис. 1. Приклад протягу дроту через верхню і нижню машини. 1 – дрот; 2 – верхня та нижня головки

Електроерозійні верстати економічно вигідно застосовувати при обробці деталей складної форми. За допомогою ЕЕО можна отримати поверхні, які принципово неможливо виготовити іншими методами.

Не дивлячись на широке застосування електроерозійної обробки даний процес потребує подальших ґрунтовних досліджень.

Актуальною проблемою під час ЕЕО є обробка малогабаритних деталей криволінійного профілю. Оскільки електрод-інструмент має невеликий діаметр (порядку 0,25 мм), він знаходиться під високими навантаженнями під час процесу різання.

Спосіб обробки конусного розрізу відрізняється від способу обробки вертикального. Незважаючи на те, що товщина заготовки незмінна, умови обробки та налаштування верстата відрізняються.

Під час різання конуса верхня і нижня напрямні дроту не знаходяться на одній вертикальній лінії (рис. 1), це зменшує тиск води на заготовку. Дріт має набагато більший натяг. В результаті це призводить до ускладнення видалення шламу та легкого розриву дроту.

Коли кут конуса збільшується, розрив ріжучого дроту під час виконання роботи трапляється частіше. Збільшення змивного стакану також зменшує тиск води на заготовку.

Відмінність технологічних налаштувань електроерозійного верстату мод. WI-30E для конічного різання порівняно із вертикальним різанням наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Час ввімкнення, с	Час вимкнення, с	Час на ввімкнення дуги, с	Час на вимкнення дуги, с	Напруга сервоприводу, В	Напр уга дроту, В	Швидк ість подачі дроту, мм/с	Т иск води, Па
-2~-3	+3~-+4	-2~-3	+3~-+4	+5~-+7	-1~-3	Без змін	Бе з змін

При великому куті конусності (більше 15°) дрот торкається краю головки, що викликає його обривання.

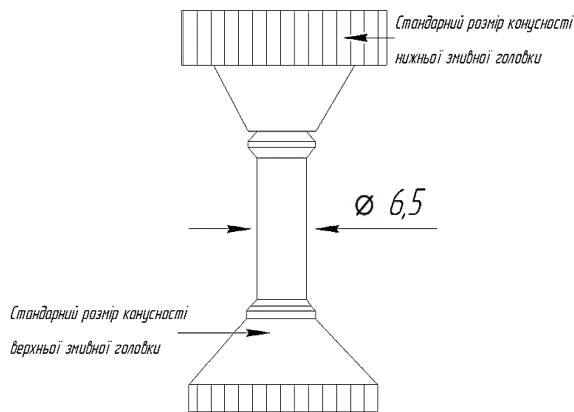


Рис. 2. Стандартний вибір верхньої та нижньої змивної головки (конус менше 15°)

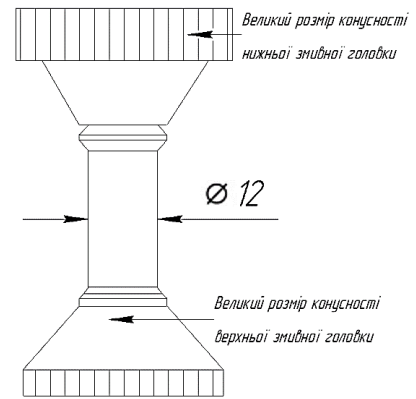


Рис. 3. Вибір верхньої та нижньої змивної головки (конус більше 15°)

Незважаючи на те, що кут конусності 15° задано в програмі, насправді в області кутового зрізу кут буде більше 15°.

Якщо говорити про максимальний кут, то дослід показує, що чим більша товщина заготовки, тим менший кут конусності можна обробляти. У таблиці 2 наведено максимальний кут на основі зазору 0,2 мм між головою та заготовкою. Якщо зазор збільшується, робочий кут зменшується.

У таблиці 2 наведено співвідношення між товщиною заготовки та оброблюваним кутом конусності.

Таблиця 2

Товщина заготовки	Кут конусності	Товщина заготовки	Кут конусності
80 мм і	±30°	200 мм	±14°
100 мм	±25°	250 мм	±12°
120 мм	±20°	300 мм	±10°
150 мм	±18°		

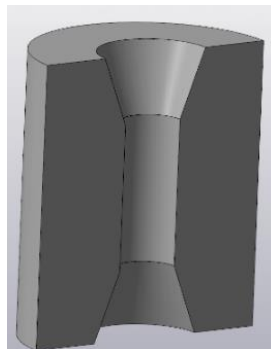


Рис. 4. Оброблювана деталь

У ході роботи було проведено дослідження можливості одночасного виконання подвійної конусної вирізки (рис. 4). Робота показала, що даний спосіб призводить до неможливості проведення одночасної вирізки конуса верхньою і нижньою машиною через частий розрив дроту, а кожне нове налаштування верстату потребує додаткового часу, що призводить до низької продуктивності даного методу.

Таким чином, було показано, що більш раціонально спочатку вирізати один конус верхньою машиною, а потім інший – нижньою.

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБКИ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розвиток сучасної промисловості передбачає застосування нових конструкційних матеріалів, що мають високі експлуатаційні показники у поєднанні зі зниженою, порівняно з традиційними матеріалами, масою та доступною вартістю. До них відносять композиційні матеріали на полімерній основі, армовані скляними, вуглецевими, борними та органічними волокнами і тканинами. Вони мають високу міцність та відрізняються відносно малою щільністю. Широке застосування в різних галузях промисловості знаходять вироби з полімерів, зміцнених скляними волокнами або тканинами, наприклад, склотекстоліти марок СТ, СТФ, СТБ і т.д., проте при механічній обробці виробів з таких матеріалів виникають певні труднощі: різальний інструмент швидко зношується, що знижує якість обробленої поверхні, продуктивність обробки та збільшує витрати виробництва.

Особливі властивості композитів можна звести до наступного:

- 1) яскраво виражена анізотропія властивостей;
- 2) відносна складність отримання поверхонь високої якості внаслідок високої міцності композиційних матеріалів, а також через їх шарувату структуру, оскільки при затупленні різального інструменту на оброблюваній поверхні утворюються дефекти;
- 3) висока твердість наповнювача та його абразивний вплив на ріжучий інструмент;
- 4) низька теплопровідність композитів, яка суттєво впливає на співвідношення складових теплового балансу під час різання;
- 5) деструкція полімерного сполучення при різанні, яка знижує поверхневу енергію металу і призводить до виникнення механохімічного адсорбційного зносу інструменту;
- 6) високі пружні властивості композиційних матеріалів, що викликає підвищене зношування інструменту по задній поверхні через інтенсивні контактні явища.

У зв'язку з цим проблема механічної обробки композиційних матеріалів із гарантованою якістю обробленої поверхні та високою продуктивністю обробки є актуальною для сучасної промисловості.

Точінням обробляють термопласти (полівінілхлорид, органічне скло, поліаміди) й реактопласти. Різці оснащують пластинками із швидкорізальних сталей і твердих сплавів. Передній і задній кути різця більші, ніж у різців для обробки металів. Рекомендується застосовувати високі швидкості різання (для термопластів до 800 м/хв) і малі подачі (0,08...0,20 мм/об). Для термопластів використовують охолоджувальні емульсії.

Отвори в полімерних матеріалах виготовляють спіральними свердлами з широкими та глибокими гвинтовими канавками. Щоб уникнути заклинювання свердла в термопластах, вибирають кут при вершині $2\varphi = 70^\circ$ і кут нахилу гвинтової канавки $\omega = 15...17^\circ$. Термопласти обробляють свердлами із швидкорізальних сталей, терморезистивні пластмаси – свердлами із швидкорізальних сталей і твердих сплавів. Рекомендується свердло періодично видаляти з отвору й очищувати від стружки. Отвори діаметром понад 8 мм обробляють за 2...3 проходи та охолоджують переважно стиснутим повітрям.

При фрезеруванні високоміцних композиційних матеріалів застосовують тверді сплави наступних марок: BK15, BK8, BK3M, оскільки вони мають високу міцність, теплостійкість та твердість. Полімерні матеріали, схильні до розшарування, рекомендується фрезерувати за подачею. Композиційні матеріали шліфують м'якими кругами з швидкістю різання в межах від 20 до 40 м/с [1].

Для високоякісної механічної обробки композиційних матеріалів компанія Karnasch Professional Tools розробила спеціальну серію різальних інструментів. Останні розробки включають фрези із CVD-покриттям, які знайшли широке застосування в авіаційній, аерокосмічній та автомобільній промисловості. Ці інструменти завдяки лазерній обробці мають гострі різальні кромки, що сприяє чистовому розрізанню волокон, збільшує стійкість інструменту до 300 % і дозволяє уникнути розшаровування матеріалу, а також дозволяє досягти найкращої якості поверхні. Спеціальна геометрія свердел по вуглепластику/склопластику (CFK/GFK) також дозволяє здійснювати свердління без розшарування матеріалу [2].

Список використаної літератури:

1. Обробка різанням полімерних матеріалів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studopedia.org/4-117672.html>
2. Інструмент для обробки композитів KARNASCH [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.karnasch.ru/composites-tools>

ОГЛЯД ПРОПОЗИЦІЙ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ВІД РІЗНИХ ВИРОБНИКІВ ДЛЯ ОБРОБКИ ЧАВУНІВ

Механічна обробка деталей з чавунів досі продовжує відігравати ключову роль у виробництві машинобудівної продукції за рахунок їх високої конкурентоспроможності. Важливим аспектом її досягнення є використання продуктивних різальних інструментів з високим економічним ефектом, особливо, коли потрібно здійснювати обробку деталей з великими площами.

Найбільш продуктивними для такої обробки є збірні торцеві фрези з механічним кріпленням до корпусу змінних непереточуваних пластин (ЗНП). Їх застосування значно економить додатковий час на заміну інструменту, що затупився, за рахунок швидкої заміни зношених лез без зняття інструменту. Також перевагою є можливість використання ЗНП з різних інструментальних матеріалів та геометричних параметрів для однієї і тієї ж фрези.

Сучасний світовий ринок різальних інструментів пропонує широкий асортимент інструментів для обробки чавунів. Провідні позиції на ньому займають такі компанії як ISCAR, Sandvik Coromant, MITSUBISHI, TAEGUTEC, та ін. Всі ці компанії мають кожен свою систему пошуку необхідних інструментів у відповідності до оброблюваного та інструментального матеріалів, умов обробки та надають свої рекомендації для їх вибору. Використовуючи додатки, які пропонуються ними, можна підібрати оптимальні режими різання, які забезпечують максимальну продуктивність та якість обробленої поверхні. Однак деякі з них є недосконалими і часто не враховують усі фактори, які впливають на процес механічної обробки. Однією з причин є те, що весь час з'являються все нові і нові матеріали, як інструментальні, так і оброблювальні, і для них не достатньо довідникових даних, та й ті можуть відрізнятися у різних виробників.

Для обробки чавунів виробники різальних інструментів пропонують твердосплавні матеріали з покриттями та без, кераміку та матеріали на основі кубічного нітриду бору. При їх обробці важливо досягнути мінімального удару при врізанні та мінімальних вібрацій, так як вони є пористими і крихкими матеріалами.

Останні дослідження зарубіжних та вітчизняних вчених показують, що найкращими матеріалами, які б задовольняли даним вимогам, є матеріали на основі кубічного нітриду бора, зокрема гексаніт-Р. Особливо актуальне його застосування при обробці чавунів високої твердості та при великих швидкостях різання. Однак вартість пластин на основі CBN у 4 рази більша, наприклад, у порівнянні з вартістю подібних пластин з твердих сплавів навіть з захисними покриттями. Але стійкість таких пластин може бути вищою у 4–5 разів, ніж пластин з твердого сплаву. Разом з тим, продуктивність обробки ними може бути більшою у 3 рази. Додатковою можливістю підвищення продуктивності обробки деталей різанням є застосування ЗНП з Wireg-геометрією, завдяки яким можна збільшувати подачу без погіршення якості поверхні. Собівартість готової продукції в машинобудуванні в значній мірі залежить від собівартості обробки, а та в свою чергу, від вартості інструментів необхідних для її виробництва, від продуктивності обробки та від стійкості інструмента. Тому, для рентабельності виробництва потрібно якісно прорахувати усі складові кінцевої вартості продукції, які від них залежать. Виробники пропонують пластини з різною кількістю різальних кромок (від 1 до 16), відповідно, чим більше їх, тим довше вони можуть використовуватися за рахунок їх повороту, тим самим зменшуючи виробничі витрати.

Компанія Sandvik Coromant має найбільшу пропозицію торцевих фрез зі ЗНП для обробки чавунів. До асортименту її продукції входять пластини три-, чотири-, п'яти-, шести-, семи- і навіть восьмикутної форми та круглої форми, які можуть бути як односторонніми, так і двосторонніми. Причому вони можуть бути виготовлені з усіх перелічених вище матеріалів для обробки чавунів. Так, наприклад, при виборі фрези R245-100Q32-12M для обробки чавунів можна підібрати комплект пластин з чотирма різальними кромками в матеріалах H13A (твердосплавний без покриття), 1010 (твердосплавний з PVD покриттям TiAlN), 4220 (твердосплавний з CVD покриттям TiCN+Al₂O₃+TiN), 6190 (кераміка), CB50 (матеріали на основі CBN групи ВН). Нею можна здійснювати як важку чорнову обробку, так і фінішну чистову обробку. Вибір такої фрези є хорошим економічним рішенням на виробництві, так як змінюючи пластинки можна обробляти широкий діапазон матеріалів, використовуючи один і той самий корпус. Кут у плані цієї фрези 45°, а тому осові і радіальні сили різання практично стають рівними, це значно зменшує споживану потужність.

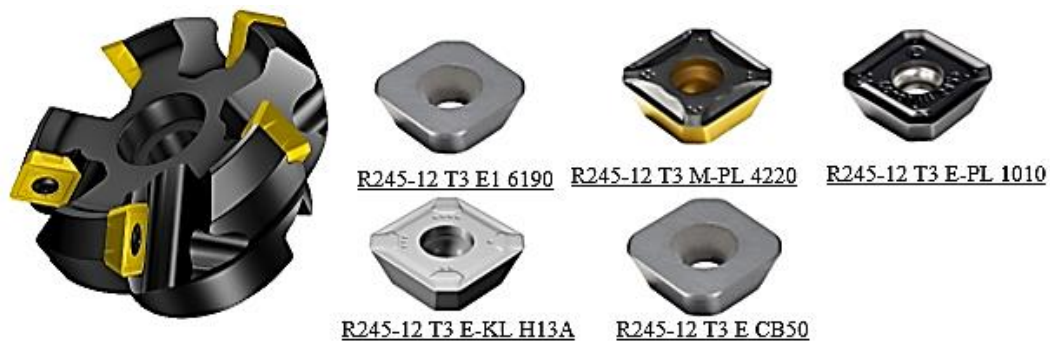


Рис.1. Торцева фреза R245-100Q32-12M для обробки чавунів компанії Sandvik Coromant

Аналогічно для фрез CoroMill 200 можна підібрати комплекти пластин круглої форми в перелічених інструментальних матеріалах. Перевагою їх використання є безударне врізання, надійність, точність та висока продуктивність. Застосування таких фрез зменшує потужність різання та схильність до появи вібрацій.

Компанія Iscar пропонує для обробки чавунів торцenasадні фрези HELIOCTO з восьмикутними, круглими та сегменто-радіусними пластинами з легким та надійним їх кріпленням. Можливість встановлення пластин різної форми робить їх універсальними і дозволяє здійснювати різні фрезерувальні роботи, однак негативним моментом є обмеженість вибору інструментальних матеріалів з яких виготовлені різальні пластини.



Рис.2. Торцева фреза HOF D100-06-32-R07 компанії Iscar

Корейська компанія TaeguTeg пропонує універсальну торцева фрезу Chase2Mold з двосторонніми круглими пластинами звичайної та ребристої форми з шістнадцятьма надійними різальними кромками. Їх застосування дозволяє працювати при великих навантаженнях та в системах малої жорсткості, і заощаджувати кошти за рахунок тривалого використання пластин, з можливістю їх повороту по мірі затуплення. Пластини виготовлені з твердосплавних матеріалів з захисними покриттями, та вибір їх невеликий.

Розробники інструментів компанії Mitsubishi Materials розробили багатофункціональну фрезу для високоефективної обробки VPX серії з тангенціальними пластинами придатними для обробки широкого спектру матеріалів на високих подачах. Завдяки їх неодноразовим удосконаленням виробники назвали її перлиною технології Mitsubishi Materials.

Всі ці інструменти забезпечують високу продуктивність обробки, але вартість їх часто може бути не виправдано високою, що призводить до подорожчання виробництва. Перед їх вибором потрібно робити розрахунки передбачуваних виробничих витрат, які б враховували стійкість інструменту, продуктивність обробки ними, витрати на електроенергію та додаткові витрати, і на їх основі здійснювати вибір. Цей вибір може бути затяжним у часі і складність його полягає ще в тому, що кожен виробник пропонує свої позначення інструментальних матеріалів часто не розшифровуючи їх. А на ряді підприємств вони не можуть ефективно працювати, так як не адаптовані для існуючих на них умов виробництва. Негативним моментом є вкрай низька їх взаємозамінність. Використання на підприємствах інструментів вітчизняного виробництва могло б значно скоротити собівартість готової продукції, але на сьогоднішній день їх номенклатура вкрай мала і не здатна забезпечити потреб виробництва. Тому потрібно проводити ретельний аналіз існуючих пропозицій та робити зважений вибір інструментів адаптованих до певних умов.

ОБРОБКА ДЕТАЛЕЙ З НЕРІВНОМІРНОЮ ГЕОМЕТРИЧНОЮ ПОВЕРХНЕЮ З ДИНАМІЧНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ІНСТРУМЕНТА

В умовах постійного розвитку технологій в машинобудівній промисловості в напрямку використання нових матеріалів, що мають кращі механічні властивості, більшої популярності набуває використання в металообробці нових надтвердих матеріалів та інших композитів. При зношуванні інструментів в процесі різання матеріалів виникає потреба у покращенні показників якості та точності обробки. Зменшення собівартості виготовлення продукції стає все більш актуальним та потребує детального розгляду та пошуку вирішення проблем.

Для вдосконалення технології обробки доцільно застосовувати різальні інструменти (РІ), оснащені полікристалічними та композиційними матеріалами. Це надтверді матеріали на основі нітриду бору більш відомого, як полікристалічний кубічний нітрид бору (ПКНБ), які одержують в умовах високого тиску за підвищених температур. Прикладання високого тиску зумовлено переходом надтвердого КНБ в його гексагональну модифікацію. Поширення використання в машинобудуванні і ремонтному виробництві зміцнюючих покриттів призвело до появи технології механічної обробки деталей з важкооброблюваними покриттями. Найбільша ефективність механічної обробки покриттів, нанесених електродуговим, плазмовим наплавленням, газотермічним напиленням досягається шляхом застосування РІ, який оснащений матеріалами на основі КНБ. Загартований стан покриттів, їх структурна і хімічна неоднорідність, різна твердість матеріалу покриття, низькі пластичні властивості багатьох покриттів, наявність пор і тріщин, шлаків і твердих включень створюють значні труднощі під час механічної обробки наплавлених поверхонь твердосплавним інструментом та шліфуванням.

Гексаніт-Р, киборіт, амборіт широко застосовуються при обробці поверхонь з нанесеними покриттями [1]. Обробка таких покриттів супроводжується підвищенням температури в зоні різання до 1000-1200°C, що суттєво впливає на працездатність РІ і стан обробленого поверхневого шару. Оброблюваність наплавлених матеріалів можна значно покращити за рахунок мікролегування їх хімічними елементами [2]. Є певні труднощі в отриманні поверхневого шару з високими показниками якості. Застосування РІ із матеріалів на основі КНБ при обробці загартованих поверхонь порівняно з твердосплавним інструментом дозволяє:

- підвищити продуктивність праці в 1,5-5 раз за рахунок зменшення штучного часу обробки деталей;
- зменшити обсяг фінішних операцій (хонінгування, шліфування, доводка);
- покращити якість поверхневого шару при заміні шліфування лезовою обробкою.

Трудомісткість та енергоємність токарної обробки менша порівняно з іншими видами обробки деталей типу вал з нерівномірним профілем після наплавлення. При обробці деталей, що мають нерівномірну геометричну поверхню, виникає питання доцільності вибору найбільш прийняттого способу обробки таких поверхонь, а також матеріалу ріжучої частини РІ, враховуючи навантаження, які виникають при контакті з нерівномірною поверхнею. Деталі після штамповки, лиття або наплавлення чи напилення зношених поверхонь мають нерівномірну поверхню, тому для подальшої обробки таких поверхонь важливо підібрати правильний матеріал і геометричну форму РІ, в залежності від виду і структури наплавленого матеріалу, так як він є пористим. Обробка в даному випадку проходить в умовах переривчастого різання або різання з биттям, виникають динамічні навантаження в зоні різання. Важливим аспектом при обробці таких поверхонь є використання різальної частини РІ з надтвердих матеріалів більшої міцності, стійкості і, де б виникали менші динамічні навантаження, що в свою чергу знімало б достатній припуск матеріалу без сколів, з отриманням необхідної шорсткості та якості поверхні, а в деяких випадках малий припуск для фінішної обробки.

Багаточисельними дослідженнями процесів різання встановлено, що на параметри шорсткості найбільший вплив мають радіус при вершині РІ (r_a) та величина подачі (S). Із збільшенням подачі жорсткість зростає, а збільшення r_a призводить до її зниження, із затупленням різця вплив r_a на шорсткість поверхні зменшується. В процесі обробки поверхонь з покриттями глибина різання (h) практично не впливає на шорсткість поверхні, що пов'язано зі слабким впливом глибини різання на процес пластичного деформування при різанні. Враховуючи вищевикладене, автори планують отримати реальні результати якості обробки циліндричних деталей з нерівномірною геометричною поверхнею в умовах динамічного навантаження інструмента.

Список використаної літератури:

1. Лезовий інструмент із надтвердих матеріалів : довід. / Н.П. Вінніков та ін. ; за заг. ред. акад. Н.В. Новікова. - К., Техніка, 1988. – 118 с.
2. Коломісць В.В., Рідний Р.В., Лук'янов І.М., Клименко С.А. Підвищення оброблюваності наплавлених матеріалів інструментами із ПСТМ на основі нітриду бору// Інструментальний світ. -2001, № 10-11. – с. 52-54.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТИТАНУ І ТАНТАЛУ В СФЕРІ МЕДИЦИНИ

Використання в медицині різних металів практикується давно. Вони поєднують в собі такі корисні властивості як міцність, довговічність, гнучкість, пластичність та пружність. Однак далеко не всі метали придатні для застосування в медичній сфері, головними причинами тут виступають схильність їх до корозії та вступ у реакцію з живими тканинами.

Своєрідним компромісом між цими двома полюсами є такі метали, як титан і тантал. Вони є міцними, ковкими та майже не схильними до корозії, мають високу температуру плавлення та головне ці метали абсолютно нейтральні в біологічному відношенні, за рахунок чого сприймаються організмом як власна тканина і практично не викликають відторгнення. Саме за цими причинами титан і тантал часто називають «медичними металами», а також ряд їх сплавів набувають найширшого поширення в багатьох лікарських галузях. Розрізняючись за низкою параметрів та взаємно доповнюючи одне одного вони розкривають перед сучасною медициною неосяжні перспективи.

Титан (Ti) – легкий метал сріблястого відтінку, що ззовні нагадує сталь (рис. 1). Цей метал одночасно є легким і володіє високою механічною міцністю, яка вдвічі перевищує аналогічний показник Fe і вшестеро – Al, титан також має низький коефіцієнт теплового розширення, що дозволяє застосовувати його в широкому температурному діапазоні. Тантал (Ta) – важкий тугоплавкий метал сріблясто-блакитного «свинцевого» відтінку (рис.2).



Рис. 1. Титан



Рис. 2. Тантал

Даний конструкційний матеріал, поєднуючи в собі високі показники твердості та пластичності, у чистому вигляді добре піддається механічній обробці будь-якими способами (штампування, прокатка, кування, протяжка, скручування, різання, тощо).

При низьких температурах він обробляється без сильного наклепу, піддаючись деформаційним впливам (стиснення 98,8 %) і не потребуючи при цьому попереднього відпалу.

Тантал входить до рідкісних металів: його запаси в земній корі становлять приблизно 0,0002 %. Це спричиняє високу вартість даного конструкційного матеріалу. Настільки поширене застосування танталу у вигляді тонких плівок, що наносяться на основний метал захисних антикорозійних покриттів, що мають у 3-4 рази більшу твердість, ніж чистий відпалений тантал.

Титан та його сплави, що застосовуються в медицині, виготовляються у вигляді наступних форм-напівфабрикатів: титанового листа; титанового прутка та кола; титанового дроту та нитки; титанової стрічки та фольги; титанової труби та трубки.

Розглядаючи титанову нитку та дріт то її найчастіше використовують у відновлювальній хірургії та стоматологічній імплантології з метою виробництва шовних матеріалів, скріп для лікування переломів, нейрохірургічних кліпсів, сітчастих судинних трубок, очних протезів та інших медичних виробів.

Титанова стрічка та фольга належать до категорії плоского прокату. Стрічка з Ti та його сплавів – матеріал незамінний у медичних сферах ендопротезування, виробництво пластин ортопедичного призначення для щелепо-лицевої хірургії та усунення наслідків черепно-мозкових травм.

Труби з Ti та його сплавів є легкими, гігієнічними та стійкими до корозії, які використовуються при виготовленні медичної апаратури, виробництва спеціальних меблів для операційних, інвалідних колясок та інших виробів.

Отже, значення металів у людській життєдіяльності стрімко зростає. Револьюційні зміни відбуваються на тлі інтенсивного розвитку наукового матеріалознавства та практичної металургії. Останні десятиліття такі промислові метали, як титан і тантал, можна назвати конструкційними матеріалами нового тисячоліття.

ШЛЯХИ СТВОРЕННЯ ДОСЛІДНИХ УСТАНОВОК

Кожен дослідник у своїй роботі стикається із необхідністю створення різного роду установок для проведення дослідів. В більшості випадків немає вже готового обладнання під виконання експериментів для конкретної дослідницької роботи. Перед кожним з нас в такому випадку постає питання яким чином зібрати установку для виконання експерименту, що задовольняла б наступним критеріям: швидкість складання; достатній функціонал; дешевизна (в розумних масштабах); тощо. Таких критеріїв насправді кожен дослідник може поставити ще багато.

Технологія та методологія за якою проводитиметься експеримент на момент пошуку шляхів реалізації дослідної установки повинна бути повністю сформована (в ідеальному випадку), або мати чітко сформовані її основні етапи. Перед створенням дослідної установки необхідно провести предметний пошук, формалізувати вимоги до неї й на основі цих даних визначитись яким шляхом йти для досягнення поставленої мети. На цьому етапі перед дослідником відкривається безліч шляхів реалізації даної ідеї. Опишемо три основні.

Перший шлях найменш трудозатратний – придбання обладнання для проведення дослідів, що реалізує в собі максимум необхідного функціоналу, й в той же час потребує мінімальної модифікації для реалізації потреб експерименту. Фактично така установка створюється із кількох готових модулів модифікованих за потреби. Навіть якщо весь необхідний функціонал не представлений в одному пристрої з кількох готових виробів можна зібрати установку що реалізовуватиме необхідний функціонал. Зазвичай при реалізації подібного рішення за основу беруть пристрій, що реалізує максимум необхідних функцій або такий в котрому функціонал легко розширити, й купують модулі що реалізують ту чи іншу функцію.

Переваги рішення: низькі трудові затрати; швидкість створення установки; документація та гарантія від виробника; фундаментальний компонент або необхідна технологія вже реалізовано і налагоджено.

Недоліки рішення: можлива складність модифікації; висока вартість; функціонал пристрою може заважати експерименту; необхідність відключення систем безпеки (систем захисту оператора); режими роботи можуть відрізнятись необхідних, що потребує внесення змін в конструкцію (в розумних межах).

Другий шлях повністю протилежний першому – створення установки “з нуля”. Звісно це складний, багатоетапний процес котрий часто стає викликом для дослідника. Цей шлях вимагає наявності фундаментальних конструкторських й інженерних знань. В основному таким способом створюються лише частини конструкції або технічне забезпечення альтернативи яким нема на ринку. Інші ж частини та функціональні блоки установки замовляються у готовому вигляді.

Переваги рішення: створення апаратури “під ключ” – готовий пристрій має весь необхідний функціонал, задовольняє всі поставлені вимоги в повній мірі; легкість модернізації; простота налагодження залежить лише від конструктора; відсутність “зайвого” функціоналу.

Недоліки цього шляху: складність проектування та виготовлення конструкції установки; в деяких випадках висока ціна виготовлення складових частин; великі затрати по робочому часу на виготовлення та збірку конструкції; складність масштабування установки та її технології виготовлення.

На перший погляд здається, що описані шляхи в повній мірі задовольняють всі потреби в розробці. Проте реальність формує третій шлях. Третій шлях безпосередньо поєднує в собі два попередніх – створення агрегату для виконання дослідження шляхом глибокої модифікації та додавання функціоналу до існуючого пристрою. Відмінності від першого шляху полягає в тому, що додаткові конструкції та системи виготовляються самостійно.

Переваги рішення: оптимальне поєднання вартості робочого часу на проектування реалізацію, та інтеграцію додаткових систем й вартості базового прилад; низькі затрати робочого часу при порівнянні з шляхом номер два; цільова технологія реалізована з заводу в одному із придбаних засобів.

Недоліки рішення: вирішення складних конструкторських та інженерних завдань; необхідно мати навички роботи з інструментом; складність втручання в готові конструкції.

Як показує практика кожен з описаних шляхів в процесі роботи над створенням дослідної установки може в тій чи іншій мірі видозмінюватись набуваючи атрибутів іншого, в залежності від ситуації з фінансуванням та реальною пропозицією ринку.

Звісно рекомендації по вибору шляху розробки в повній мірі підійдуть не всім. В деяких випадках навіть неможливо уявити повноцінну реалізацію на практиці. Проте в глобальному масштабі визначення шляху створення дослідної установки допомагає уникнути проблем при її створенні. А слідування конкретному шляху в свою чергу більше систематизує й як результат полегшує роботу дослідника.

ГЕОМЕТРИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ РІШЕННЯ РІВНЯННЯ КОНТАКТУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ПРОФІЛЮ ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ОБРОБКИ ГВИНТОВИХ ПОВЕРХОНЬ

На даний час гвинтові поверхні широко застосовуються в елементах машин і механізмів від елементів з'єднання до складових різних механізмів типу черв'ячні передачі, шнеки та інші. Щодо таких елементів, як черв'яки механічних передач, шнеки машин для литва пластмас, шнеки компресорних машин, гвинтові канавки різального інструменту та інші, до яких пред'являються високі вимоги, як по точності робочих гвинтових поверхонь так і по вимогам до параметрів поверхні, що б забезпечити необхідну довговічність та працездатність механізму де вони використовуються. Це враховується при проектуванні технологічного процесу виготовлення таких деталей і його забезпечення, а саме для отримання необхідних параметрів гвинтових поверхонь, які мали необхідну точність і зносостійкість поверхні використовують, як усталений технологічний процес типу: попередня механічна лезова обробка, термообробка і фінішна операція – фасонне шліфування. Відповідно операція шліфування гвинтових поверхонь, є заключною і від неї в цілому залежить необхідна точність і працездатність робочих гвинтових поверхонь. На даний час ця операція виконується методом шліфування інструментом дискової форми на осях, що перехрещуються, де точність отримуваної поверхні залежить від точності профілювання форми інструменту в основному залежить точність отримуваної поверхні.

Проте на даний час ця задача, вирішується тільки при профілюванні – визначення вихідної інструментальної поверхні (ВІП) інструменту-круга [1, 2, 3], а перевірка виконання умов формоутворення таких поверхонь по [4] зазвичай не проводиться.

Метою даної роботи є аналіз розв'язку рівняння контакту при визначення профілю інструменту для обробки гвинтових поверхонь його особливості та геометрична інтерпретація, що дозволить розширити межі застосування способу формоутворення гвинтових поверхонь дисковим інструментом.

При визначенні ВІП використовують класичні - аналітичні методи [1, 2, 3, 4] чи графічні [3,4], для вирішення поставленої задачі зручніше скористатись аналітичним методом визначення профілю ВІП, так як цей метод дозволяє провести дослідження всіх трьох умов формоутворення поверхонь [4].

Зазвичай рішення рівняння контакту в аналітичному вигляді існує як окремий випадок, в загальному його вираження через елементарні функції неможливо виразити тому застосовують чисельні алгоритми для знаходження відповідних значень. Згідно [3] розв'язок рівняння контакту має наступний вигляд (рис. 1, а) і носить періодичний характер.

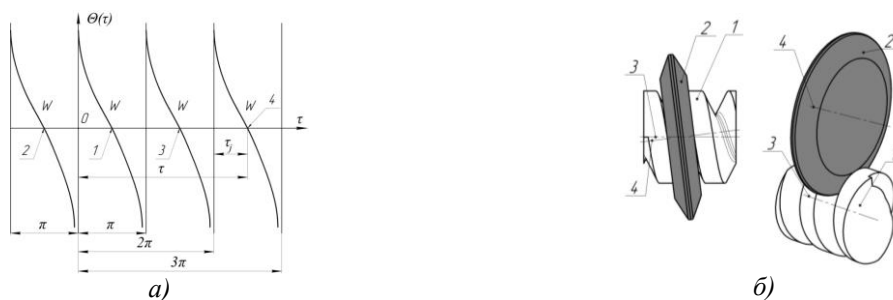


Рис. 1 – а) вид періодичної функції рівняння контакту при обробці гвинтових поверхонь по [3], 1, 2, 3, 4 – періодичні розв'язки рівняння контакту; б) вид розташування деталі по відношенню до дискового інструменту при обробці, якщо розв'язок рівняння контакту відповідає т.1 (рис. 1, а), 1 – деталь з гвинтовою поверхнею, 2 – дисковий інструмент, 3 – вісь деталі, 4 – вісь інструменту.

Аналізуючи розв'язок рівняння контакту і її геометричну інтерпретацію то відповідно до рис. 1 наближення розв'язку т. 1 – є класичним способом обробки гвинтових поверхонь, що зараз в основному реалізовано при обробці гвинтових поверхонь дисковим інструментом при якому зовнішній максимальний радіус дискового інструменту є найменшим, який розташований на осі 4 (рис. 1, б). Одним і методів вирішення проблеми може бути використати періодичність рішення рівняння контакту т.2. 3. 4 (рис. 1, а), що дасть змогу розширити варіанти вирішення цих задач.

Для прикладу було розраховано дисковий інструмент для обробки гвинтової канавки з профілем в торцевому перерізі, що показано на рис. 2а, рис. 2б, який складається з 3-х ділянок які плавно спряжені між собою, деталі з такою гвинтовою поверхнею використовуються, як прес-форми для мундштучного пресування виробів порошкової металургії та інші вироби спеціального призначення, де використовуються складні гвинтові поверхні.

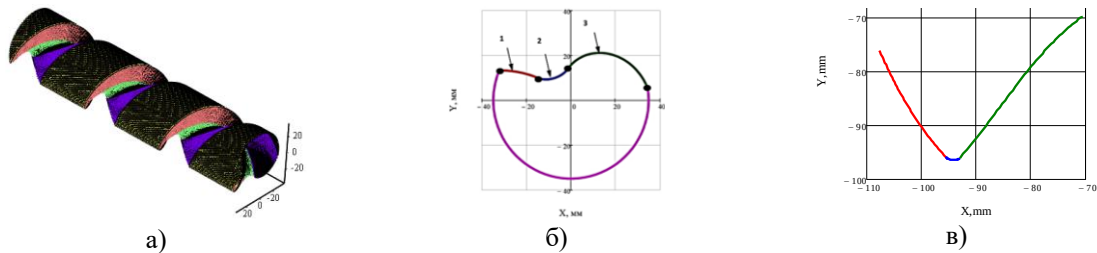


Рис. 2. Гвинтова поверхня її торцевий перевіз і профіль інструменту призначений для її обробки: а) гвинтова поверхня; б) 1, 2, 3- твірні ділянки торцевого перерізу гвинтової поверхні, в) профіль інструмента отриманий при початкову наближенні т. 4. (рис. 1).

Основні параметри гвинтової поверхні наступні, крок – 100 мм, установочні параметри інструменту, кут розвороту осі – 65° , міжосьова відстань – 100 мм. Для такої гвинтової поверхні згідно прикладу наведеного в [4] було проведено розрахунок профілю дискового інструменту призначеного для обробки такої поверхні, відповідно було розраховано профіль інструменту при початковому наближенні т. 1 (рис. 1, а) і т. 4. (рис. 1, а). За результатами розрахунків отримали наступні профілі дискового (рис. 2, в).

Відповідно до представленого рішення схема формоутворення (обробки) даної гвинтової поверхні показана на рис. 3.

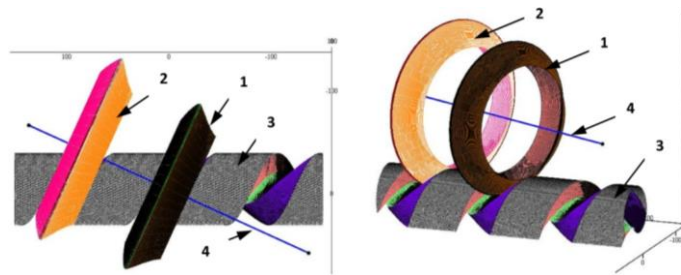


Рис. 3. Обробка гвинтової поверхні двома інструментами, що спрофільовані при використанні періодичності рішення рівняння контакту: 1 – інструмент т. 1 (рис. 1), 2 – інструмент т. 4. (рис. 1), 3 – деталь з гвинтовою поверхнею, 4 – вісь інструмента

Згідно результатів розрахунків є можливість обробки гвинтової поверхні одночасно двома дисковими інструментами, які розташовані на одній осі-оправці. Також ця схема може розшири технологічні можливості обробки, а саме інструмент 1 (рис. 3) може використовуватись для попередньої обробки, а інструмент 2 (рис. 3) для чистової обробки, типовим прикладом може бути чорнове шліфування і чистове, або чистове шліфування і фінішна обробка типу полірування. Така схема обробки має більшу продуктивність ніж її виконувати окремо на різних верстатах. Щодо недоліків такого способу оброблення, то питання формоутворення згідно [1, 4] за такою схемою, ще не досліджувались детально і потребує подальших досліджень, що дасть змогу розширити межі застосування такого способу.

Список використаної літератури:

1. Панкратов Ю.М. САПР режущих инструментов. / Ю.М. Панкратов.- С-Пб. Лань, 2021 – 336 с.
2. Liu, Guanyi, et al. "Relief grinding of planar double-enveloping worm gear hob using a four-axis CNC grinding machine." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 89.9 (2017): 3631-3640.
3. Лашнев С.И. Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей / С.И. Лашнев. – М.: Машиностроение, 1965. – 153 с.
4. Равська Н.С. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці / Н.С. Равська, П.П. Мельничук, Т.П. Ніколаєнко, О.А. Охріменко. – К.: Вид. СКД-Друк, 2013. – 215 с.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗУ ЗБІРОК ЗВАРНИХ ДЕТАЛЕЙ В СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION

SolidWorks Simulation розглядає модель (деталь, збірку) як сітку дискретних та пов'язаних між собою елементів і прогнозування поведінки моделі відбувається за рахунок співставлення інформації, котра отримана від всіх елементів в процесі моделювання [1]. Це визначає актуальність розробки підходів до вибору типу та параметрів скінченно-елементної сітки. Крім того при виконанні частотного дослідження постає питання забезпечення кінематики збірки в умовах не функціональності болтових з'єднувачів в даному типі дослідженні. Тому в даній роботі аналізується питання дискретизації параметричної моделі (збірки, котра складається із зварних деталей та з'єднувачів-болтів (рис.1.)) та питання реалізації імітування кінематики збірки з метою виконання частотного дослідження.

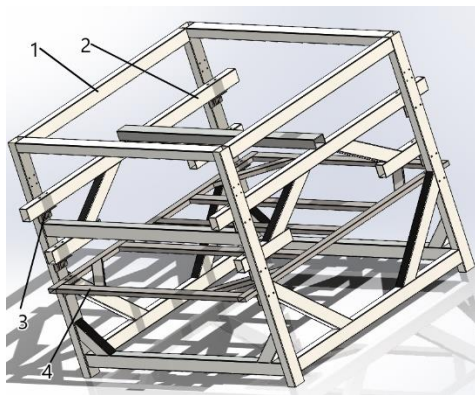


Рис. 1. Досліджувана модель:

1 – зварний каркас; 2 – зварна траверса, що кріпиться до 1 за допомогою кутників 3 та болтових з'єднувачів; 4 – зварний стіл, що кріпиться до 1 за допомогою кутників 3 та болтових з'єднувачів

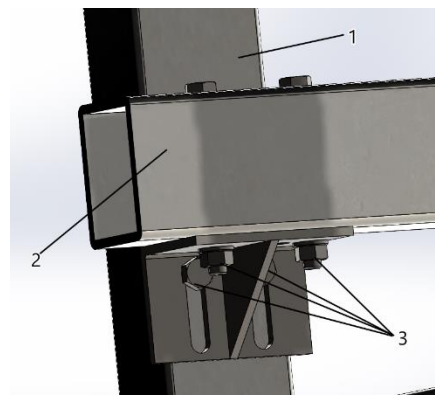


Рис. 2. Болтові з'єднання в моделі:

1, 2 – деталі зварного каркасу, котрі з'єднуються; 3 – болтові з'єднувачі

Відпрацювання сходимості скінченно-елементної сітки (СЕС) доречно виконувати на статичному дослідженні перед виконанням частотного. При цьому необхідно врахувати 2 фактори: 1) з'єднувач-болт не функціональний в статичних лінійних дослідженнях зварних конструкцій (за умови дискретизації балочними скінченними елементами); 2) підходи до використання елементів управління сіткою у статичному та частотному дослідженнях різні (для частотного дослідження доречно ущільнювати сітку в місцях малої жорсткості, на котрі опираються частини деталі з великою масою). Отже, конструкції такого типу як на рис. 1, доречно дискретизувати або об'ємними або оболонковими скінченними елементами (СЕ).

Результати дискретизації твердотілими (об'ємними) і оболонковими СЕ складового елемента зварної рами (труба прямокутна 80x60x3,5 довжиною 700 мм), показані на рис. 3. Як видно з рис. 3, при однаковому розмірі СЕ у оболонковій сітці вузлів СЕ в ~3 рази менше. Крім того з рис. 3. виходить, що при використанні твердотілих СЕ, вся товщина стінки труби перекривається всього одним СЕ, що є небажаним. Тому в подальшому була використана оболонкова СЕС. Як вже зазначалося, з'єднувачі-болти не функціональні в частотному дослідженні SolidWorks Simulation і реалізувати такі вузли, як показано на рис. 2., за допомогою віртуальних з'єднувачів-болтів, неможливо. Тому в даній роботі для виконання частотного дослідження зварної конструкції (збірки деталей) з імітацією зусилля затягування болтів та кінематику руху деталей збірки, запропоновано використовувати болти з термопружними вставками [2]. Для перевірки запропонованого підходу виконано частотні дослідження для тестової конструкції (рис. 4, а) з використанням болтового з'єднувача з термопружною вставкою та контактними умовами, котрі дозволяють імітувати кінематику з'єднання (рис. 4, б); а також без болтового з'єднувача з глобальним контактом типу «Зв'язані», котрий не дозволяє реалізувати кінематику з'єднання (рис. 4, в)

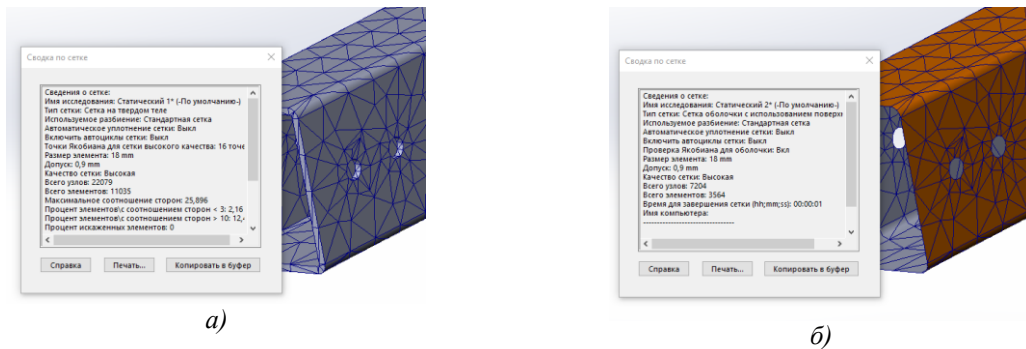


Рис. 3. Дискретизація прямокутної труби 80х60х3,5 довжиною 700 мм твердотілими CE (а) та оболонковими CE (б)

В результаті виконаного частотного аналізу конструкції (рис. 4, б) з імітацією болтового з'єднання та кінематики збірки, отримано наступні значення перших п'яти резонансних частот (Гц): 1 – 157,41; 2 – 614,55; 3 – 667,65; 4 – 775,12; 5 – 839,57. Для конструкції без імітації кінематики збірки та болтового з'єднання отримано наступні значення перших п'яти резонансних частот (Гц): 1 – 165,98; 2 – 622,24; 3 – 687,6; 4 – 854,77; 5 – 1006,3.

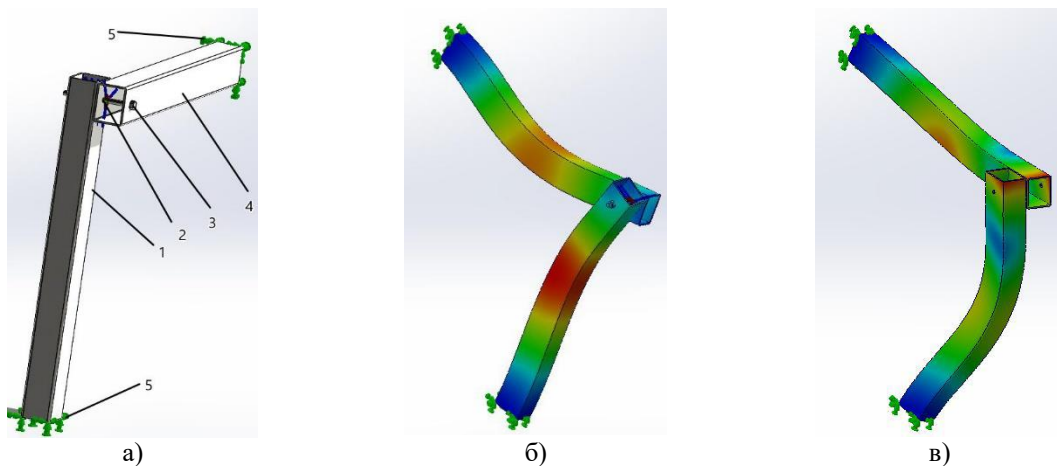


Рис. 4. Тестова конструкція та форма коливань на 4-й резонансній частоті для моделі з болтовим з'єднанням (а) і без (б)

За результатами частотного дослідження зроблені наступні висновки:

- імітація зусилля затягування болтів за рахунок термопружної вставки та забезпечення кінематики збірки за рахунок контактних умов типу «Контакт», дозволяє отримати більш точні значення резонансних частот; це пояснюється тим, що у всіх випадках значення частот вищі для збірки без забезпечення кінематики руху так як останнє «штучно» збільшує жорсткість з'єднання при сталій масі, а, отже, і збільшує значення резонансних частот;
- забезпечення кінематики збірки впливає не лише на значення резонансних частот, а і на відповідну їм форму коливань.

Таким чином запропонований підхід імітації болтового з'єднання у каркасних зварних конструкціях підвищує точність частотного аналізу.

Список використаної літератури:

1. Создание сетки [Електронний ресурс] // Dassault Systemes. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://help.solidworks.com/2022/Russian/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm?id=6f4cb897b0be48d3b2c96699d2899509#Pg0.
2. Особливості реалізації різьбового затягування торцевої фрези з конічним хвостовиком 7:24 в Solidworks Simulation [Електронний ресурс] / Л.Є. Глембоцька, Т.П. Зубрицький, О.Л. Мельник, М.М. Плисак // Житомир: ЖДТУ. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/05/1.pdf>.

ЗАСТОСУВАННЯ ЛЕЗОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ ІЗ СИНТЕТИЧНИХ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Сучасні тенденції розвитку закономірностей процесів механічної обробки на сьогоднішній день базуються на результатах наукових досліджень, і на вивченні механіки, термодинаміки, теплофізики та інших комплексних фізико-хімічних властивостей, що дає досягання високих експлуатаційних показників при мінімальних витратах. В свою чергу, виникає необхідність у розробці нових технологічних методів підвищення стійкості інструменту з метою отримання високої точності та якості деталей машин і механізмів.

Найчастіше із сучасних матеріалів, що застосовуються для підвищення інтенсивності взаємодії інструменту з виробом, використовують інструменти із надтвердих синтетичних матеріалів – алмазів і кубічного нітриду бору (КНБ). В промисловій обробці – полікристалічний кубічний нітрид бору (ПКНБ). Особливістю ПКНБ для інструмента є сполучення високої твердості і теплостійкості. По твердості полікристали на основі алмаза і КНБ значно перевершують відомі інструментальні матеріали, а саме: швидкорізальну сталь, мінералокераміку та інші тверді сплави. Наприклад, композит 01 по мікротвердості перевершує мінералокераміку на $5 \cdot 10^{10}$ Па.

Для ефективного впровадження інструментів з надтвердих синтетичних матеріалів необхідно насамперед раціонально визначити область їхнього застосування. Вітчизняною промисловістю визначене серійне виробництво різців із двох основних видів полікристалічних надтвердих матеріалів – ельбору (на основі КНБ) і карбонадо (алмаза). Кожний з них має свою область застосування, обумовлену фізико-механічними властивостями. Ельбор хімічно інертний до чорних металів, а алмаз має з ними хімічну спорідненість, о головним чином й визначає границю між областями застосування цих двох матеріалів.

У даний час при обробці загартованих сталей твердістю більш HRC 40-45 застосування інструментів з ельбору значно ефективніше, ніж інструментів із твердого сплаву і мінералокераміки. Застосування ельбору дає можливість:

- 1) Замінити операцію шліфування загартованих сталей чи обробку чавунів і важкооброблюваних матеріалів твердосплавним інструментом;
- 2) При заміні операції внутрішнього шліфування чи розточення твердосплавними різцями обробкою з ельбору збільшити продуктивність у 2-3 рази і підвищити якість обробки;
- 3) Замінити різбошліфування в деталях із загартованих сталей точінням. Різці забезпечують підвищення якості і продуктивності обробки;
- 4) При заміні плоского шліфування торцевим фрезеруванням підвищити продуктивність праці в 1,8-2,5 рази.

Різці з надтвердих полікристалічних матеріалів застосовують при точінні деталей тіл обертання і корпусних деталей із загартованих вуглецевих, легованих, нержавіючих і жароміцних сталей і сплавів, замінюючи в деяких випадках чи зменшуючи трудомісткість операцій шліфування і доведення. Різці із синтетичних алмазів використовують при точінні деталей із силуміну типу АЛ2, АЛ9, кольорових сплавів, сплавів титана.

Заточення інструмента, оснащеного полікристалами синтетичних надтвердих матеріалів, може вироблятися на універсально-заточувальних верстатах у триповоротних тисках алмазними чашковими колами зернистістю 100/80.

Перспективи розвитку технологій механічної обробки пов'язані насамперед з:

- вдосконаленням теорії механічної обробки на основі уявлень про закономірності процесів;
- створенням системи вибору матеріалу інструменту з урахуванням структурного стану матеріалу виробу;
- розширенням гами композитів і покриттів для оснащення інструментів, які здатні адаптуватися до умов навантаження в зоні обробки;
- розробленням smart-інструментів;
- розширенням номенклатури виробництва інструментів, у тому числі багатолезових;
- розробленням 3D-технологій формоутворення інструментів.

Знання закономірностей процесів в зоні обробки, врахування принципів технологічного забезпечення якості, дозволяють розробляти високопродуктивні технології обробки виробів, формувати в поверхневому шарі виробів стан, який забезпечує їм необхідні експлуатаційні властивості. З огляду на це, проблему вдосконалення процесів механічної обробки слід розглядати, насамперед, як актуальне матеріалознавче завдання.

ВПЛИВ КОСОКУТНОЇ ГЕОМЕТРІЇ НА СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ТОРЦЕВОМУ ФРЕЗЕРУВАННІ

Одним із шляхів інтенсифікації металообробки є удосконалення існуючих та розробка нових конструкцій різальних інструментів, на основі аналізу кінематики та процесу обробки. Застосування інструментів косокутного безвершинного різання, дає можливість підвищити продуктивність та якість обробки.

Рядом досліджень встановлена висока ефективність використання торцевих ступінчастих фрез косокутного різання для напівчистої та чистої обробки плоских поверхонь деталей. Використання розроблених торцевих фрез вимагає великого обсягу експериментальних досліджень для визначення раціональної геометрії інструментів та оптимальних режимів експлуатації. Відомі ряд робіт з досліджень процесу різання косокутними різальними інструментами, 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.

Метою дослідження було визначення впливу кутів нахилу λ головних різальних кромки ножів косокутних торцевих фрез при обробці деталей із сірого чавуну СЧ21 та загартованої сталі У8 (46 HRC) на складові сили різання P_x , P_y , P_z шляхом моделювання процесу косокутного торцевого фрезерування у Deform-3D.

Умови моделювання: косокутне фрезерування сірого чавуну СЧ21 та загартованої сталі У8 (46 HRC); швидкість різання $v = 2,5$ м/с; подача $S_z = 0,625$ мм/зуб; глибина різання $t = 0,12$ мм; інструмент – одноступінчаста 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 кромки 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 , для двох оброблюваних матеріалів зображені на рисунку 1.

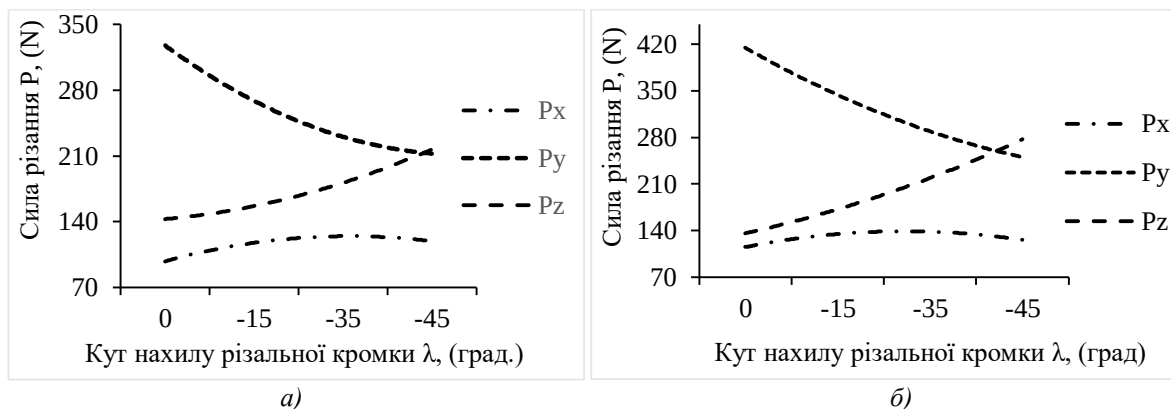


Рис. 1. Залежність складових P_x , P_y , P_z сили різання від кута нахилу різальної кромки λ при обробці: а) сірого чавуну СЧ21, б) загартованої сталі У8 (46 HRC)

Висновок: у результаті комп'ютерного моделювання були отримані залежності складових P_x , P_y , P_z сили різання від кута нахилу різальної кромки λ . Результати моделювання процесу обробки сірого чавуну СЧ21 та вуглецевої сталі У8, дають можливість зробити висновки, що застосування від'ємних значень кута нахилу різальної кромки λ значно зменшує радіальну складову сили різання P_y , збільшує тангенціальну складову P_z та незначно впливає на осьову складову P_x . Результати розрахунку сил різання дозволяють враховувати їх значення при проектуванні різальних інструментів та прогнозуванні деформації технологічної системи та якості обробки плоских деталей.

Свінціцький М.А., студ.
Андрусенко С.М., студ.
Ночвай В.М., доц. каф. МІ, к.т.н.
Полонський Л.Г., проф. каф. МІ, д.т.н., проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ДІСОЛЬВЕРА МЕТОДОМ ГАЗОПОЛУМЕНЕВОГО НАПИЛЕННЯ

Технологічне обладнання хімічної промисловості часто виходить з ладу в результаті абразивного спрацювання робочих поверхонь деталей. Так для виробництва дисперсійних фарб використовують дісольвер-змішувач, який може перемішувати легко сумісні один з одним компоненти рамної (якірної) мішалки і одночасно перемішувати сипучі компоненти фарби (пігменти й наповнювачі) фрезерною мішалкою, розташованою ексцентрично стосовно центрального валу рамної (якірної) мішалки. Як правило, перемішування рамною (якірною) мішалкою здійснюється при малих обертах (60-120 об/хв), перемішування ж сипучих компонентів на фрезі виконується при швидкості обертання валу 1000-1200 об/хв. У випадку відсутності зазначеного вище багатоцільового дісольвера-змішувача для виробництва дисперсійних фарб використовують дісольвер з центральним валом з фрезою без рамної мішалки.

В роботі виконано дослідження умов експлуатації дісольвера, який призначений для змішування фарб, шпаклівок, затірок різної густини. Деталлями дісольвера-змішувача, які швидко спрацьовуються, є фреза дискова та лопатки імпелера. Деталі виготовлені з листової сталі 40Х13 товщиною 4 мм. Діаметр фрези та імпелера 250 мм. Спрацювання деталей нерівномірне. Більше спрацювання мають ділянки деталі, які в процесі роботи рухаються з більшою лінійною швидкістю.

В результаті виконаних дослідно-експериментальних робіт та проведених досліджень фізико-механічних властивостей покриттів, отриманих методом газополуменевого напилення, розроблено технологію зміцнення деталей дісольвера-змішувача. До деталей, що швидко спрацьовуються, відносяться фреза дискова та лопатки імпелера. Розроблений технологічний процес зміцнення деталей дісольвера-змішувача складається з наступних основних операцій: підготовка деталей; підготовка порошку; нанесення покриття на поверхні деталей, що підлягають зміцненню; вихідний контроль.

Для зміцнення деталей методом газополуменевого напилення вибрано наступне обладнання: установка абразивно-струменевої обробки деталей мод. УСОД-1,6; стіл зварювальника з системою витяжної вентиляції; пальник для напилення мод. ГН-2; установка мод. 029 для визначення зернового складу та розділення порошоків на фракції з набором сит; редуктор ацетиленовий ДАП-1-65; редуктор кисневий ДКП-1-65; балони для робочих газів; пірометр «Промінь»; твердомір мод. ТК14-250.

Підготовка деталей полягає в очищенні від бруду та мастила, знежирюванні поверхні, активації і формуванні шорсткості поверхні. З метою активації та формування шорсткості поверхні, очищені і сухі деталі піддають дробоструминній обробці на установці УСОД 1,6. В якості абразивного матеріалу вибрано електрокорунд марок 12А, 13А, 14А, 15А з розміром зерна 0,5...1,5 мм. Шорсткість обробленої поверхні повинна бути в межах R_z 10...160 мкм.

Для розробки зносостійких покриттів деталей дісольвера-змішувача вибрано самофлюсівний порошок марки ПГ-10Н-01. Підготовка порошку полягає в просушуванні при температурі 130...150 °С на протязі 2...3 годин та просіюванні на ситі 100 мкм.

Процес нанесення покриття виконують на столі зварювальника, оснащеного системою витяжної вентиляції. Спочатку виконують попереднє нагрівання поверхні виробу до повного відходу на ній конденсату (120...140°C), потім нагрівають поверхню до температури 350°C і наносять шар порошку з одночасним оплавленням покриття. Товщина шару покриття 1 мм. Для нанесення і оплавлення покриттів застосовано пальник ГН-2. Робочі гази: ацетилен та кисень. Нанесення покриттів виконували при наступних режимах: тиск ацетилену – 0,01 Мпа; тиск кисню – 0,2 Мпа; витрати ацетилену – 350 л/год; витрати кисню – 350 л/год; витрати порошку – до 2 кг/год). Напилення виконують в нейтральному полум'ї.

Механічна обробка деталей полягає в очищенні поверхонь, які не підлягають зміцненню, від частинок порошку за допомогою металевої щітки.

Після отримання покриття виконано вихідний контроль його якості: візуальний огляд; контроль твердості покриття; контроль товщини шару покриття; контроль шорсткості поверхонь; контроль форми деталей. Вимірювання твердості покриттів виконано з використанням приладу ТК-14-250. Твердість покриття становить 55...62 HRC_e.