

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-1(19)-72-80

Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Володимир Венжега, Володимир Винник

МОДЕРНІЗАЦІЯ УНІВЕРСАЛЬНО-ЗАТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК В3208Ф3 ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ

Актуальність теми дослідження. Технологія високошвидкісного фрезерування є однією з найбільш сучасних і ефективних альтернатив класичним методам обробки, що значно відрізняється якістю і швидкістю обробки, а також можливістю виготовлення виробів із важкооброблюваних матеріалів.

Постановка проблеми. Швидкісне фрезерування переважно реалізується за допомогою багатокоординатних верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), проте стійкий процес різання неможливо забезпечити на наявному обладнанні без модернізації системи ЧПК, приводу головного руху, який би забезпечував необхідну швидкість різання та використання спеціального інструменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними вимогами до системи ЧПК при високошвидкісній обробці є її швидкодія, можливість забезпечення гладких траєкторій руху інструменту для рівномірного навантаження на нього без численних врізань і виходів. Використання ефективного змащувально-охолоджувального середовища (ЗОТС) зменшує пружні віджимання в технологічній системі при її фіксованій жорсткості.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Впровадження високошвидкісного фрезерування на верстатах із ЧПК стримується відсутністю практичних рекомендацій і потребує додаткових досліджень, зокрема жорсткості верстата.

Постановка завдання. Дослідити можливість модернізації універсально-заточувального верстата з ЧПК моделі В3208Ф3 з метою розширення його технологічних можливостей для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання дисковою фрезою, оснащеною різальними елементами з кубічного нітриду бору.

Виклад основного матеріалу. Високошвидкісне фрезерування – сучасний високотехнологічний метод обробки, що дозволяє отримувати найменші перетини зрізу металу при використанні високих швидкостей знімання. Сутність цієї технології полягає у використанні певного діапазону швидкостей різального інструменту, що веде до істотного зниження опору матеріалу при його обробці, чим забезпечується обробка важкооброблюваних матеріалів. Особливістю такої технології є те, що тепло, яке виділяється при обробці, практично повністю зосереджено в стружці і не перебуває тривалий час у зоні обробки, через що фреза й деталь мало схильні до термічного впливу.

Висновки відповідно до статті. У роботі досліджено технологічні можливості універсально-заточувального верстата з ЧПК моделі В3208Ф3 з метою його використання для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання дисковою фрезою, оснащеною різальними елементами із кубічного нітриду бору та обґрунтовано модернізацію його системи ЧПК та вузлів.

Ключові слова: високошвидкісне фрезерування; фрези з різальними елементами з надтвердих матеріалів; точність обробки; продуктивність обробки.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

Актуальність теми дослідження. Нині значну роль у підвищенні ефективності виробництва мають методи високошвидкісної обробки, серед них і високошвидкісне фрезерування, які належать до прогресивних технологій. Їхня роль дуже важлива при виробництві в машинобудуванні та інших галузях, що визначають науково-технічний прогрес, тому що вони забезпечують високу точність та якість оброблених поверхонь і значно скорочують час на виготовлення виробів.

Постановка проблеми. При роботах на великих робочих подачах і високій швидкості різання, якими характеризується високошвидкісне фрезерування, необхідно забезпечити стійкий процес різання, що є неможливим на наявному стандартному обладнанні без його модернізації. Для реалізації методу високошвидкісної обробки на універсально-заточувальному верстаті з ЧПК моделі В3208Ф3, що має базову систему ЧПК 2С42, яка морально та фізично застаріла, потрібно провести її заміну, дослідити можливості верстата, вдосконалити деякі існуючі вузли та підібрати інструмент.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] проаналізовано перспективні напрями підвищення продуктивності обробки різанням, з'ясовано, що головний ефект високошвидкісної обробки полягає в підвищенні якості обробки й можливості ефективного використання сучасних верстатів із ЧПК. Підвищення швидкості різання за рахунок використання більш ефективного ЗОТС пов'язано зі зменшенням сил різання при точінні та розточуванні. Це, у свою чергу, призводить до зменшення пружних

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

відтискань у технологічній системі при фіксованій її жорсткості. Тобто перетворення ресурсу стійкості різального інструменту в ресурс збільшення швидкості різання одночасно приводить до збільшення точності обробки за виконаним розміром.

У роботі [2] розглядалось питання про введення коефіцієнта технологічної ефективності, яким враховувалось можливе збільшення швидкості різання. Проте в цій роботі доведено, що підвищення стійкості самого інструменту не дає значного приросту швидкості різання. Обґрунтовано технологічні переваги методів високошвидкісної обробки та застосування високошвидкісних інструментальних шпинделів.

У [3] підвищення ефективності технології фінішної обробки деталей пар тертя поршневих насосів пропонується за рахунок високошвидкісної обробки.

У [4] обробку довгомірних валів пропонується реалізувати за способом фрезоточіння. Як різальний інструмент застосовується фреза дискового типу, оснащена різальними елементами з надтвердих матеріалів (НТМ) цільної або збірної конструкції. У цьому випадку фрезоточіння має такі переваги:

- чистовий різець обробляє заготовку з точністю до 8-го квалітету і шорсткістю R_a до 1,6...3,2 мкм, фрезоточіння дозволяє поліпшити обидва параметри на 1-2 класи, оскільки на відміну від різця фреза має кілька різальних крайок, а значить більший ресурс стійкості;
- при точінні на різець будуть діяти великі навантаження, для усунення яких доводиться знижувати подачу, зменшуючи продуктивність, а фреза здатна працювати в умовах високих навантажень при великій подачі;
- при обробці різцем для дроблення стружки доводиться використовувати стружколоми, при обробці ж фрезою стружка знімається кожним зубом фрези і дробиться на окремі частинки;
- можлива обробка на токарних верстатах заготовок із наявністю твердої кірки (поковок, виливок), а також важкооброблюваних матеріалів, оскільки зуб фрези в цьому випадку буде плавно різати під кірку, що допомагає істотно знизити знос фрези та збільшити її стійкість;

- фрези, оснащені НТМ, можуть замінити операцію шліфування, забезпечуючи розмірну стійкість, оскільки на відміну від шліфувального круга не мають процесу викришення.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Відсутність рекомендацій і технологічних досліджень з високошвидкісного різання матеріалів стримує розвиток цього прогресивного напрямку на верстатах із ЧПК.

Метою цієї роботи є дослідження технологічних можливостей універсально-заточувального напівавтомата з ЧПК моделі ВЗ208ФЗ для високошвидкісного фрезерування з використанням інструментів, оснащених надтвердими матеріалами.

Виклад основного матеріалу. Універсально-заточувальний напівавтомат з ЧПК моделі ВЗ208ФЗ у базовій комплектації призначений для заточування і доведення циліндричних інструментів по переднім і заднім поверхням, розташованих на периферії і торцю, шліфувальними кругами в умовах дрібносерійного і одиничного виробництва.

Він складається з таких основних частин: станини 1; столу 2; каретки з колоною 3; механізмів поперечної 4, поздовжньої 5 та вертикальної 6 подачі; шліфувальної бабки 7; бабки виробу 8. Керування забезпечується системою ЧПК 2С42, за чотирма координатами (за трьома одночасно). Кінематична схема верстата наведена на рис. 1.

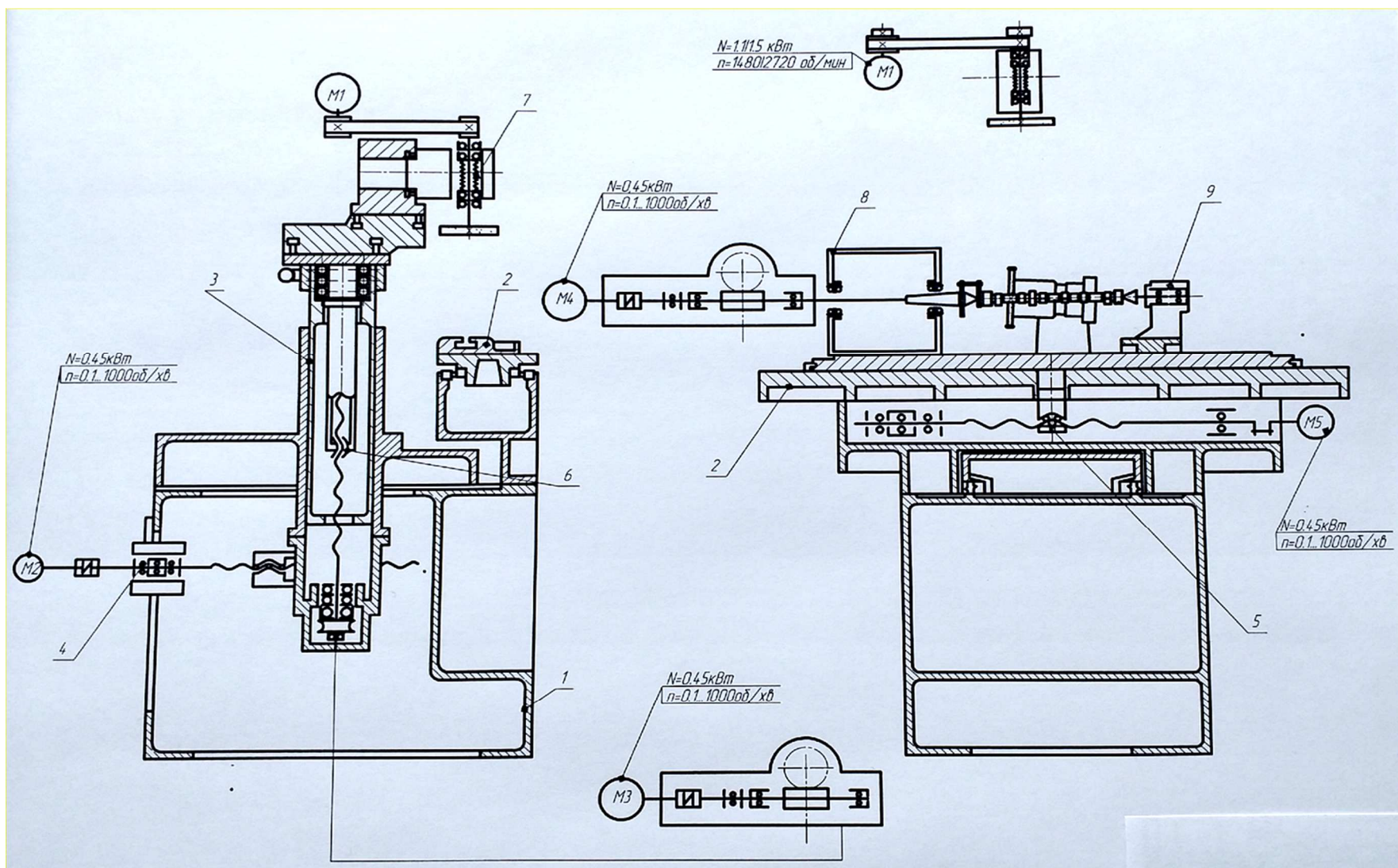


Рис. 1. Кінематична схема верстата В3 208Ф3

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Конструкція верстата забезпечує такі переміщення робочих органів:

- обертання шліфувального круга;
- вертикальне переміщення шліфувальної головки;
- поперечне переміщення шліфувальної головки;
- поздовжнє переміщення столу;
- обертання виробу.

Обертання шпинделя здійснюється від електродвигуна М1 через поліклінову передачу зі змінними шківками. Вертикальне переміщення шліфувальної бабки – від електродвигуна М3 через черв'ячну передачу на передачу гвинт-гайка 6. Поперечне переміщення каретки і поздовжнє переміщення столу відбувається завдяки приводам з двигунами М2 і М5, що передають обертання на передачу гвинт-гайка кочення прямо через з'єднувальні муфти. Обертання виробу здійснюється від електродвигуна М4 через черв'ячну передачу.

Випробування верстата на відповідність нормам точності по ТУ2 5544518.112-86 показали наступні результати:

- радіальне биття конічного отвору шліфувального шпинделя – 2 мкм при допуску 3 мкм;
- осьове биття шліфувального шпинделя 2 мкм при допуску 3 мкм;
- неперпендикулярність поперечного переміщення шліфувальної головки поздовжньому переміщенню стола 15 мкм (допуск 20 мкм);
- неперпендикулярність вертикального переміщення шліфувальної головки до робочої поверхні стола в напрямку поздовжнього переміщення стола й поперечного переміщення шліфувальної головки – 15 мкм при допуску 20 мкм;
- одновисотність розташування осі шліфувального шпинделя відносно робочої поверхні стола при повороті шліфувальної головки навколо вертикальної осі 35 мкм при допуску 45 мкм;
- дискретність переміщення за координатами X, Y, Z становить 0,001 мм і кутового переміщення шпинделя виробу – 0,001 град.

Високошвидкісне фрезерування (ВФ) – сучасний високотехнологічний метод обробки, що дозволяє отримувати найменший перетин зрізу металу при використанні високих швидкостей знімання. Сутність цієї технології полягає у використанні певного діапазону швидкостей різального інструменту, що веде до істотного зниження опору матеріалу при його обробці. Особливістю такої технології є те, що тепло, що виділяється при обробці, практично, повністю зосереджено в стружці й не перебуває тривалий час в зоні обробки, через що фреза і деталь, практично, не схильні до термічного впливу.

При звичайній обробці зі збільшенням швидкості різання і зменшенням товщини стружки безперервно підвищується температура оброблюваної заготовки, стружки й інструменту. Але якщо підвищити швидкість подач в 5-10 разів, як це має місце при високошвидкісному фрезеруванні, то температура інструменту підвищується незначно. Причина цього полягає в тому, що швидкість подачі перевищує швидкість теплопровідності оброблюваного різанням основного матеріалу. Фреза «випереджає» поширення тепла. Тим самим тепло, що утворюється в зоні контакту, в основний метал заготовки і фрези переважно не попадає, а основна доля тепла від різання відводиться зі стружкою. Завдяки цьому значно збільшується стійкість інструменту. Дослідження японських фахівців показали, що під час високошвидкісної обробки (ВШ) 75 % тепла відводиться із стружкою, 20 % – через інструмент і 5 % – через оброблювану деталь. Деталь у процесі різання нагрівається незначно, що позитивно впливає на точність обробки. Ця особливість дозволяє використовувати високошвидкісне фрезерування для обробки загартованих конструкційних сталей, не боячись при цьому їх термічного відпуску.

Також з'являється можливість обробляти дюралюмінієві сплави без їх термічного розміцнення. При обробці алюмінієвих сплавів зменшення сил різання має місце при швидкості близько 700 м/хв, а найбільш ефективним є діапазон від 1400 до 1600 м/хв. У деяких випадках швидкість оптимальної обробки може досягати 8000 м/хв і більше.

Істотні переваги можуть бути досягнуті за допомогою високошвидкісного фрезерування виробів з важкооброблюваних матеріалів.

Такі швидкості різання на цьому верстаті можуть бути забезпечені приводом головного руху з двигуном М1, що має дві частоти обертання 1480 і 2720 об/хв, через поліклінову передачу зі змінними шківками.

З появою надтвердих матеріалів (НТМ) можливості високошвидкісної обробки значно розширилися. При порівнянні швидкостей різання фрезами, оснащеними композитом і твердим сплавом очевидна перевага композитів перед твердими сплавами при рекомендованих для композитів перетинах зрізу. Фрезерування чавунів і сталей інструментом із композиту принципово відрізняється від обробки твердосплавними фрезами: при обробці інструментами, оснащеними композитами, швидкість різання сталей в 4-8 разів, а чавунів в 10-30 разів вище; подача на зуб відповідно в 2-5 разів, а сили різання в 2-4 рази менше, питома витрата електроенергії на деталь залишається незмінною, відхилення від площинності й параметр шорсткості обробленої поверхні на 2-4 класи нижчий; відсутній наклеп, продуктивність в 1,5...3 рази вища.

Як різальний інструмент можна запропонувати дискові фрези з різальними елементами із надтвердих матеріалів (рис. 2).

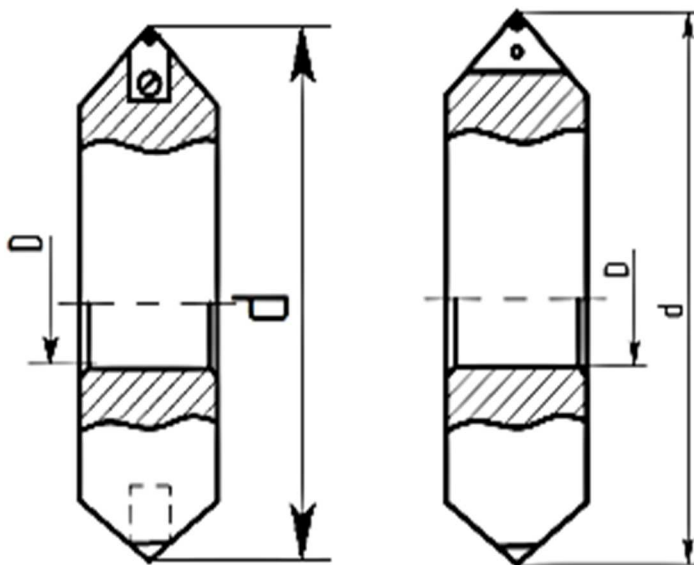


Рис. 2. Інструмент для швидкісного фрезерування

Через великий об'єм зрізаного при високошвидкісному фрезеруванні матеріалу, слід застосовувати фрези з невеликою кількістю зубців, що дозволяє стружці вільно розташовуватися між зубцями. Також бажано застосування фрез і різальних пластин із великими кутами передньої заточки, які створені спеціально для високошвидкісної обробки.

Ефективність фрез, оснащених НТМ на основі алмазу й нітриду бору найбільшою мірою проявляється на багатокоординатних верстатах, оснащених сучасними системами керування, оскільки вони дозволяють реалізувати режими різання, близькі до оптимальних для інструменту з НТМ, і тим самим забезпечити продуктивність обробки, відповідну отриманню найбільшого економічного ефекту та плавний вхід і вихід інструменту на знижених подачах, чим підвищується надійність процесу.

Встановлено, що найбільша техніко-економічна ефективність застосування інструменту з НТМ досягається при його експлуатації в оптимальних умовах, які характеризуються високими швидкістю різання, жорсткістю і вібростійкістю верстата й системи верстат-пристосування-інструмент-заготовка, стабільністю розмірів і фізико-механічних характеристик заготовок. Вимога високих жорсткості й вібростійкості обладнання і всієї системи верстат-пристосування-інструмент-деталь обумовлено не тільки тим, що інструмент з НТМ застосовують здебільшого для виготовлення деталей із високою точністю і низькою шорсткістю, але й дуже істотною залежністю стійкості ріжучого інструменту з НТМ від згаданих характеристик верстата. Велике значення мають жорсткість верстата, рівномірність обертання шпинделя і руху подачі, а також кінематична точність обертання шпинделя. Важливим фактором є не тільки жорсткість самого шпинделя і механізму його кріплення, а й загальна жорсткість верстата. Експериментальні дослідження показали, що при торцевому фрезеруванні жорсткість привода верстата впливає на опір викришування різальних крайок, у той час як загальна жорсткість верстата впливає на знос різальних інструментів. Тому проведемо перевірку напівавтомата ВЗ208 ФЗ на жорсткість.

1. Відносне переміщення фрези, закріпленої на шпинделі шліфувальної головки, і столу під радіальним навантаженням за схемою рис. 3. Відповідно до схеми фреза навантажується силою $P = 137$ Н, діючою у вертикальній площині під кутом 20° до вертикальної осі фрези. Стіл попередньо закріплюється зведенням упорів. Переміщення фрези вимірюється індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм. Навантаження проводиться 3 рази, причому точка прикладення сили P зміщується по колу приблизно на 120° . Величина відносного переміщення приймається як середнє арифметичне та складає 14 мкм при допустимому значенні 18 мкм.

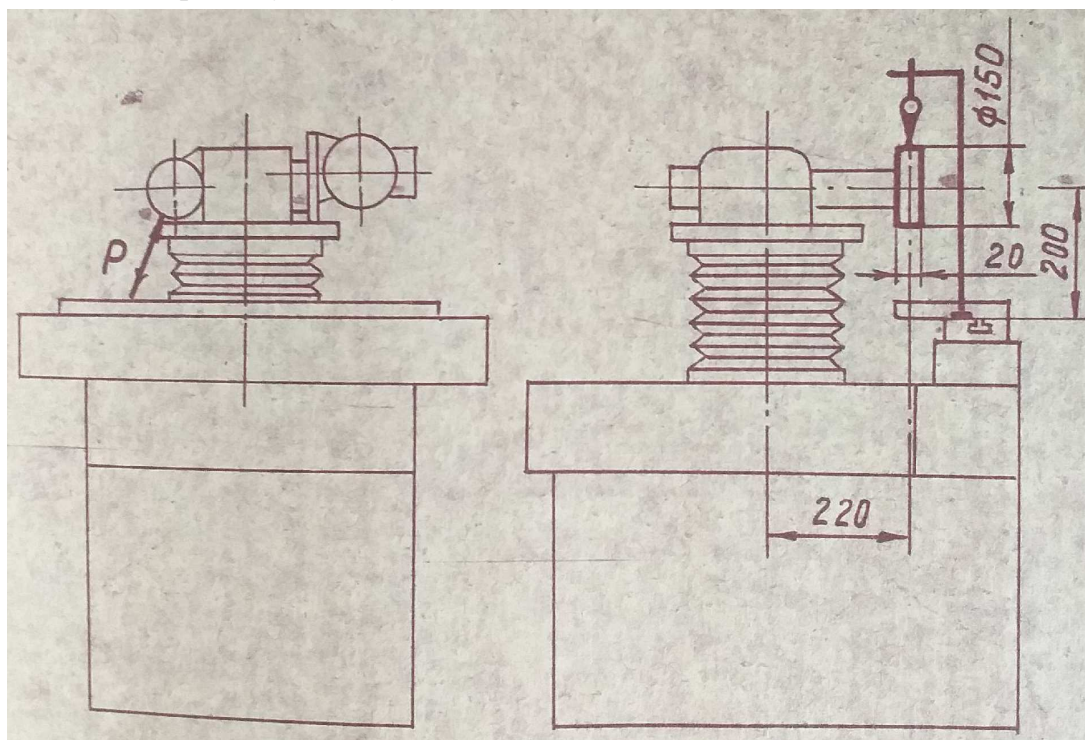


Рис. 3. Схема перевірки відносного переміщення фрези, закріпленої на шпинделі шліфувальної головки під навантаженням

2. Відносне переміщення фрези, закріпленої в шпинделі шліфувальної бабки і столу під дією осьового навантаження за схемою рис. 4.

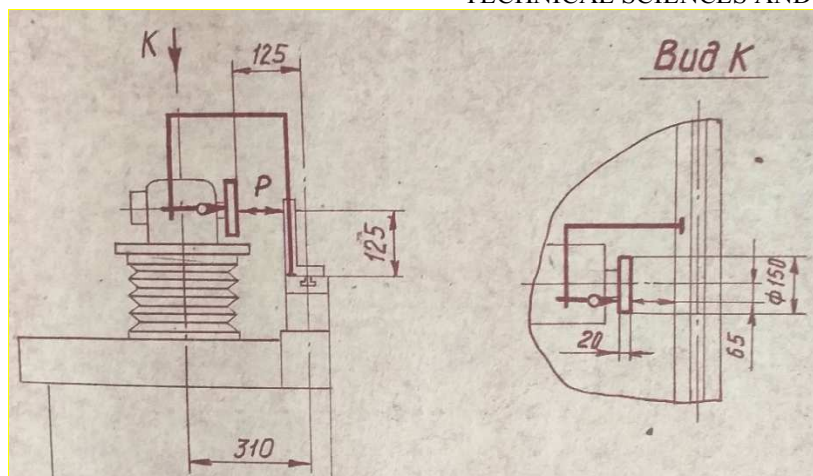


Рис. 4. Схема перевірки осьового переміщення фрези, закріпленої на шпинделі шліфувальної головки під навантаженням

Відповідно до схеми (рис. 4) фреза навантажується силою $P = 137$ Н, діючою у напрямку осі шпинделя на радіусі 65 мм. Стіл попередньо закріплюється зведенням упорів. Переміщення фрези вимірюється індикатором годинникового типу з ціною поділки 1 мкм, закріпленим на столі напівавтомата. Навантаження проводиться 3 рази, причому точка прикладення сили P зміщується по колу приблизно на 120° . Величина відносного переміщення приймається як середнє арифметичне та складає 30 мкм при допустимому значенні 35 мкм.

3. Відносне переміщення шпинделя шліфувальної голівки і шпинделя бабки виробу за схемою рис. 5.

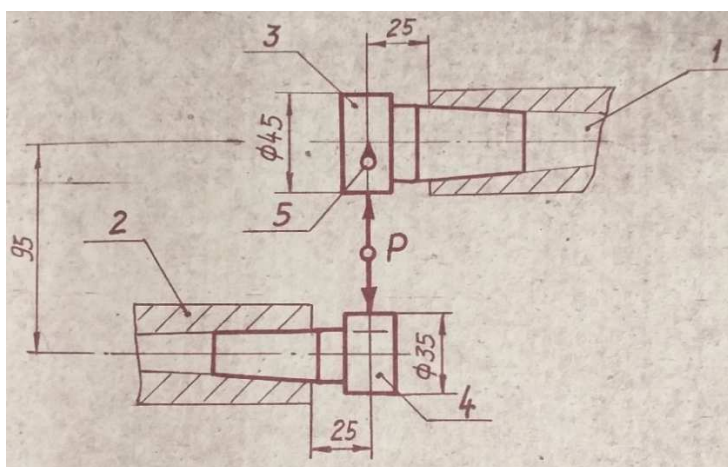


Рис. 5. Схема перевірки відносного переміщення шпинделя шліфувальної головки і шпинделя бабки виробу

У конус шпинделя шліфувальної головки 1 замість фрези закріплюється оправка 3. В отвір шпинделя бабки виробу 2 встановлюють оправку 4 з навантажувальним пристроєм. За допомогою ексцентричної плити шліфувальну бабку зміщують у крайнє ліве положення. Бабку встановлюють на верстаті таким чином, що торець оправки 4 знаходився на відстані 100 мм від центру столу. Стіл, шліфувальна бабка і бабка виробу устанавлюється в нульове положення і закріплюється. Перед кожним виміром шпиндель шліфувальної головки повертають, а стіл і шліфувальну бабку устанавлюють так, щоб їх взаємне положення відповідало кресленню. Останнє перед виміром переміщення шліфувальної бабки повинно бути тільки в сторону столу. Між шпинделем шліфувальної бабки і бабки виробу створюється плавно зростаюча до 137 Н сила P , направлена по лінії, що з'єднує шпинделі. Сила P заміряється динамометром. Одночасно в тому ж напрямку за допомо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

гою індикатора годинникового типу вимірюється переміщення шпинделя шліфувальної головки відносно шпинделя бабки виробу. Величина відносного переміщення приймається як середнє арифметичне та складає 40 мкм при допусковому значенні 45 мкм.

Висновки відповідно до статті. У роботі проведені дослідження точнісних та жорсткісних характеристик універсально-заточувального верстата моделі В3208Ф3 з базовою системою ЧПК 2С42 з метою використання його для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання. Обґрунтовано та запропоновано рішення з переобладнання системи ЧПК сучасною від персонального комп'ютера, окремих вузлів приводу головного руху, використання як інструмента дискових фрез, оснащених різальними пластинами із кубічного нітриду бору.

Список використаних джерел

1. Левченко Я. К., Маршуба В. П. Умови ефективного застосування високошвидкісної обробки. *Машинобудування*. 2012. № 9. С. 52–60.
2. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / под общ. ред. Ф. В. Новикова, А. В. Якимова: в 10 т. Т. 2. «Теплофизика резания материалов». Одесса: ОНПУ, 2003. 625 с.
3. Новиков Ф. В., Яценко С. М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов. *13-я Международная научно-техническая конференция «Физические и компьютерные технологи»*. Харьков: ХНПК «ФЭД». 2007. С. 8–20.
4. Гречишников В. А., Приходько А. С., Романов В. Б. Фрезы, оснащенные СТМ для обработки тел вращения сложной формы на токарном станке. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2017. № 08. Ч. 2. С. 69–74.
5. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. Москва: Машиностроение. 1976. 178 с.
6. Кауппінен В., Паро Дж. Високошвидкісне фрезерування - кілька прикладів. *Дослідження та розробки в механічній промисловості: матеріали пленарної доповіді III Міжнародної конференції*. Герцег-Нові, Сербія і Чорногорія, 2003. С. 19–23.
7. Жедь В. П., Боровский Г. В., Музыкант Я. А., Ипполитов Г. М. Режущие инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение: справочник. Москва: Машиностроение, 1987. 320 с.

References

1. Levchenko, Ya. K., Marshuba, V. P. (2012). Umovy efektyvnoho zastosuvannya vysokoshvydkisnoyi obrobky [Conditions for effective application of high-speed processing]. *Mashynobuduvannya – Engineering*, 9, 52–60 [in Ukrainian].
2. Novikov, F. V., Yakimov, A. V. (2003). *Fiziko-matematicheskaia teoriya protsessov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroyeniia* [Physical and mathematical theory of material processing processes and engineering technology]. (Vol. 2 “Thermophysics of cutting materials”). Odessa: ONPU [in Russian].
3. Novikov, F. V., Yatsenko, S. M. (2007). Povyshenie effektivnosti tekhnologii finishnoi obrabotki detalei par treniia porshnevykh nasosov [Improving the efficiency of the technology of finishing processing of friction pair parts of piston pumps]. Proceeding from *13-ia Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaya konferentsiia «Fizicheskie i kompiuternye tekhnologii» – 13th International Scientific and Technical Conference “Physical and Computer Technologists”* (pp. 8–20). Kharkov: KHNPК “FED” [in Russian].
4. Grechishnikov, V. A., Prikhodko, A. S., Romanov, V. B. (2017). Frezy, osnashchennyye STM dlya obrabotki tel vrashcheniya slozhnoy formy na tokarnom stanke [Milling cutters equipped with STM for machining bodies of revolution of complex shape on a lathe]. *Izvestiia Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki – Bulletin of Tula State University. Technical science*, 08 (2), 69–74 [in Russian].
5. Makarov, A. D. (1976). *Optimizatsiia protsessov rezaniia* [Optimization of cutting processes]. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].
6. Kauppinen, V., Paro, Dzh. (2003). Vysokoshvydkisne frezeruvannya – kilka prykladiv [High-speed milling – some examples]. Proceeding from *Doslidzhennya ta rozrobky v mekhanichnii promyslovosti: materialy plenarnoyi dopovidi III mizhnarodnoyi konferentsiyi – Proceedings of the Plenary Report of the Third International Conference* (pp. 19–23). Hertseh-Novi, Serbiia i Chornohoriia [in Ukrainian].
7. Zhed, V. P., Borovskiy, G. V., Muzykant, Ya. A., Ippolitov, G. M. (1987). *Rezhushchiye instrumenty, osnashchennyye sverkhтвердыми i keramicheskimi materialami i ikh primeneniye: spravochnik* [Cutting tools equipped with superhard and ceramic materials and their application: a reference book]. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].

UDC 621.923.42

Vitaliy Kalchenko, Vladimir Kalchenko, Vladimir Venzhega, Vladimir Vinnik

MODERNIZATION OF THE UNIVERSAL-BINDING MACHINE WITH CHPC VZ208F3 WITH THE PURPOSE OF EXTENSION OF TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES FOR HIGH-SPEED FRESH MACHINE

Urgency of the research. High-speed milling technology is one of the most up-to-date and effective alternatives to classic machining methods, which is significantly different in quality and speed of machining, as well as the ability to manufacture products from difficult-to-process materials.

Target setting. High-speed milling is predominantly implemented using multi-coordinate numerically controlled numerical control (CNC) machines, but a steady cutting process cannot be ensured on existing equipment without upgrading the CNC system, the main movement drive, which would provide the required cutting speed and use of a special tool.

Actual scientific researches and issues analysis. The main requirements for the CNC system for high-speed machining is its speed, the ability to provide smooth trajectories of the tool for uniform load on it without numerous cuts and outputs. The use of an effective lubricant-cooling medium reduces elastic pressures in the process system with its fixed rigidity.

Uninvestigated parts of general matters defining. The introduction of high-speed milling on CNC machines is constrained by the lack of practical recommendations and requires additional research, in particular the rigidity of the machine.

The purpose of the article. Investigate the possibility of modernization of the universal grinding machine of the CNC model VZ208F3 in order to expand its technological capabilities for high-speed milling of the surfaces of rotation by a circular milling cutter equipped with cutting elements from cubic boron nitride.

The presentation of the main material. High-speed milling is a state-of-the-art, high-tech machining method that allows you to obtain the smallest cross-section of a metal slice when using high speeds of removal. The essence of this technology is to use a certain range of speeds of the cutting tool, which leads to a significant reduction in the resistance of the material during its processing, which ensures the processing of difficult materials. A feature of this technology is that the heat released during machining is practically completely concentrated in the chips and does not stay in the machining zone for a long time, making the milling cutter and the workpiece virtually unaffected by heat.

Conclusions and suggestions. The technological possibilities of the universal sharpening machine from the CNC of the VZ208F3 model with the purpose of its use for high-speed milling of surfaces of rotation by a disk milling cutter, equipped with cutting elements from cubic boron nitride and substantiation of its systems are substantiated.

Keywords: high-speed milling; milling cutters made of ultra-hard materials; precision machining; machining performance. Fig.: 5. References: 7.

Кальченко Віталій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Vitalii – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: kalchenkovi@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9850-7875>

ResearcherID: G-9477-2014

Кальченко Володимир Віталійович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kalchenko Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vvkalchenko74@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

ResearcherID: G-6752-2014

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Venzhega Volodymyr – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: vivenzhega@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

ResearcherID: H-3560-2014

Винник Володимир Олександрович – аспірант, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Vinnik Volodymyr – PhD student, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net