

УДК 621.923.42
DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/03>

Кальченко В.І.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

Кальченко В.В.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

Венжега В.І.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

Винник В.О.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

Скляр В.М.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

Кальченко Д.В.

Національний університет «Чернігівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШВИДКІСНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ КУЛАЧКІВ РОЗПОДІЛЬЧОГО ВАЛА ПЕРИФЕРІЄЮ ОРІЄТОВАНОГО ІНСТРУМЕНТА НА МОДЕРНІЗОВАНОМУ ВЕРСТАТІ В3208Ф4

Стаття присвячена розробленню та дослідженню нового способу високошвидкісного фрезерування кулачків розподільних валів зі схрещеними осями інструмента й деталі на модернізованому для цього універсально-заточувальному верстаті з ЧПК моделі В3208Ф4, що забезпечить підвищення точності оброблених поверхонь і продуктивності обробки.

Технологія високошвидкісного фрезерування є однією з найбільш сучасних та ефективних альтернатив класичним методам обробки, що значно відрізняється якістю і швидкістю обробки, а також можливістю виготовлення виробів із важкооброблюваних матеріалів. Високошвидкісне фрезерування – сучасний високотехнологічний метод обробки, що дає змогу отримувати найменші перетини зрізу металу під час використання високих швидкостей знімання. Сутність цієї технології полягає у використанні певного діапазону швидкостей ріжучого інструменту, що призводить до істотного зниження опору матеріалу під час його обробки, чим забезпечується обробка важкооброблюваних матеріалів. Особливістю цієї технології є те, що тепло, яке виділяється під час обробки, практично повністю зосереджено в стружці й не перебуває тривалий час у зоні обробки, через що фреза й деталь мало схильні до термічного впливу. Швидкісне фрезерування переважно реалізується за допомогою багатокординатних верстатів з 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 й використання спеціального інструменту.

Запропонована методика фрезерування криволінійних поверхонь на верстатах із ЧПК може бути застосована для процесів фрезерування різноманітних циліндричних поверхонь складного профілю зі схрещеними осями інструмента й деталі.

Ключові слова: високошвидкісне фрезерування, точність обробки, продуктивність обробки, модульне тривимірне геометричне моделювання, орієнтований інструмент, формоутворення, розподільний вал, кулачок.

Постановка проблеми. Під час робіт на великих робочих подачах і високій швидкості різання, якими характеризується високошвидкісне фрезерування, необхідно забезпечити стійкий процес різання, що неможливо 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 верстату, удосконалити деякі наявні вузли та підібрати інструмент.

Високошвидкісне фрезерування є продуктивним способом обробки зовнішніх циліндричних поверхонь. Дослідження, удосконалення й упровадження нових способів фрезерної обробки сприятиме забезпеченню більш високої точності та якості оброблених поверхонь за високої продуктивності фрезерування.

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 з ЧПК. Підвищення швидкості різання за рахунок використання більш ефективного ЗОТС пов'язано зі зменшенням сил різання під час точіння та розточування. Це, у свою чергу, призводить до зменшення пружних відтискань у технологічній системі при фіксованій її жорсткості. Тобто перетворення ресурсу стійкості ріжучого інструменту в ресурс збільшення швидкості різання водночас призводить до збільшення точності обробки за виконанням розміром.

У роботі [2] запропоновано спосіб обробки поверхонь обертання великого діаметра (наприклад, валків прокатних станів) двома торцевими фрезами, осі яких схрещуються з віссю оброблюваної заготовки. Обробка при цьому здійснюється з поздовжньою подачею фрези вздовж осі заготовки. Однак у наведених дослідженнях висвітлено питання обробки лише відносно довгих поверхонь із поздовжньою подачею інструменту та коротких у разі її відсутності. У роботі А.О. Етін [3] для окремих випадків наведено залежності, за якими можна визначити похибки обробки в поздовжньому й поперечному перерізах заготовки при фрезеруванні циліндричних

деталей. Також дослідження процесів фрезерування тіл обертання описані в праці [4]. У роботах [5; 6] проведено дослідження фрезерування деталей типу тіл обертання набором дискових фрез (спосіб Rotomille). Перевагою такого способу є можливість отримати поверхню деталі за один установ. Однак цей спосіб не отримав широкого застосування. Істотними недоліками є складність виготовлення й експлуатації інструменту, а також те, що забезпечення високої жорсткості системи супроводжується зменшенням кругових подач, що призводить до зменшення продуктивності обробки.

У роботі [7] наведено геометричний аналіз похибок формоутворення при фрезеруванні поверхонь обертання торцевою фрезою.

Відома фірма Junker (Німеччина) [8; 9] виконує обробку розподільних валів вузьким шліфувальним кругом 1, висота якого менша за довжину опорних шийок (рис. 1).

Під час обробки кулачків інструмент здійснює зворотно-поступальний рух у площині, яка проходить через вісь обертання інструмента 1 і деталі 2. Подача по контуру та глибина різання при цьому змінюються за координатою обробки, що зменшує продуктивність обробки й точність обробленої поверхні.

Постановка завдання. Мета статті – розробити й дослідити новий спосіб високошвидкісного фрезерування кулачків розподільних валів зі схрещеними осями інструмента й деталі на модернізованому для цього універсально-заточувальному верстаті з ЧПК моделі В3208Ф4, що забезпечить підвищення точності оброблених поверхонь і продуктивності обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Універсально-заточувальний напівавтомат з ЧПК

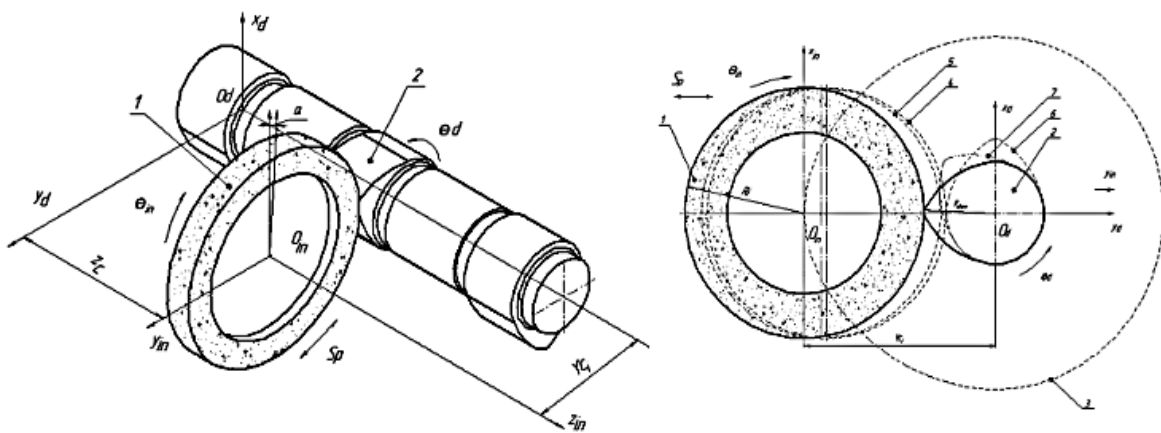


Рис. 1. Схема шліфування кулачка розподільчого вала фірмою Junker

моделі В3208Ф3 у базовій комплектації призначений для заточування й доведення циліндричних інструментів по передніх і задніх поверхнях, розташованих на периферії й торцю, шліфувальними кругами в умовах дрібносерійного й одиничного виробництва.

Він складається з таких основних частин: станини, столу; каретки з колоною, механізмів поперечної, поздовжньої та вертикальної подачі; шліфувальної бабки та бабки виробу. Керування забезпечується системою ЧПК 2С42, по чотирьох координатах (за трьома водночас). Конструкція верстата забезпечує такі переміщення робочих органів:

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

У роботі [10] проведено дослідження точнісних і жорсткісних характеристик універсально-заточувального верстату моделі В3208Ф3 з базовою системою ЧПК 2С42 з метою використання його для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання. Обґрунтовано та запропоновано низку рішень з переобладнання системи ЧПК сучасною від персонального комп'ютера, окремих вузлів приводу головного руху, використання як інструменту дискових фрез, оснащених різальними пластинами з кубічного нітриду бору.

Установлено, що найбільша техніко-економічна ефективність застосування інструменту з НТМ досягається під час його експлуатації в оптимальних умовах, які характеризуються високими швидкістю різання, жорсткістю й вібронестійкістю

верстата і системи верстат-приспосовування-інструмент-заготовка, стабільністю розмірів і фізико-механічних характеристик заготовок. Вимога високих жорсткості й вібронестійкості обладнання та всієї системи верстат-приспосовування-інструмент-деталь зумовлено не тільки тим, що інструмент з НТМ застосовують, як правило, для виготовлення деталей з високою точністю й низькою шорсткістю, а й дуже істотною залежністю стійкості ріжучого інструменту з НТМ від згаданих характеристик верстата. Велике значення мають жорсткість верстата, рівномірність обертання шпинделя й руху подачі, а також кінематична точність обертання шпинделя. Важливим фактором є не тільки жорсткість самого шпинделя та механізму його кріплення, а й загальна жорсткість верстата. Експериментальні дослідження показали, що при торцевому фрезеруванні жорсткість приводу верстата впливає на опір викришування різальних крайок, тоді як загальна жорсткість верстата впливає на знос ріжучих інструментів.

Схема процесу фрезерування розподільного вала 2, повернутим на кут β інструментом 1, представлена на рис. 2а.

На рис. 2б зображено переріз А-А, при чистовій обробці зрізання всього припуску t відбувається периферією фрези, вісь повороту фрези знаходиться в точці А для забезпечення роботи всієї периферії фрези.

При обертанні розподільного вала 1 на кут θ_{det} (рис. 3а, 3б) точка контакту 3 фрези 2 з кулачком розподільного вала 1 переміщується за рахунок синхронних вертикального й поперечного рухів інструмента S_{inst} , вона завжди перебуває в горизонтальній площині, яка проходить через вісь обертання фрези та центр кривизни деталі, це

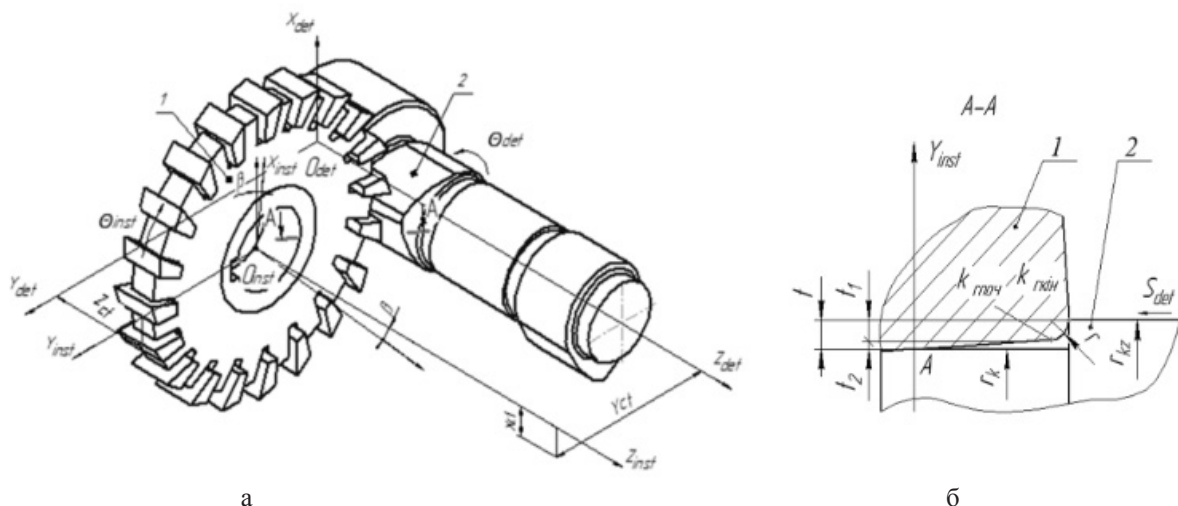


Рис. 2. Фрезерування розподільного вала зі схрещеними осями інструмента й деталі

забезпечує постійну глибину різання й подачу по контуру [11; 12].

Нерівномірне обертання розподільного вала при фрезеруванні кулачка стабілізує зняття припуску та подачу по контуру (рис. 4б) порівняно з методом обробки з рівномірним обертанням (рис. 4а).

Це дасть змогу при фрезеруванні поверхонь на верстатах з ЧПК враховувати тільки форму деталі, виключаючи вплив радіуса інструмента і його знос на точність формоутворення, завдяки чому підвищується продуктивність і якість обробки.

Модульну 3D-модель поверхні фрези описуємо циліндричним інструментальним модулем:

$$\bar{r}_{lf} = MC^I_{Z_{lf}(k)\Theta_{lf}\cdot R_{lf}(k)} \cdot \bar{e}_4, \quad (1)$$

де \bar{r}_{lf} – радіус-вектор інструментальної поверхні фрези; $MC^I_{Z_{lf}(k)\Theta_{lf}\cdot R_{lf}(k)}$ – циліндричний інструментальний модуль формоутворення фрези; \bar{e}_4 – радіус-вектор початку координат [13]; $Z_{lf}(k)$ – k-та осьова координата інструментальної поверхні фрези, Θ_{lf} – кут повороту інструмента

навколо осі $O_{inst}Z_{inst}$, $R_{lf}(k)$ – k-тий радіус інструментальної поверхні фрези.

Інструментальний циліндричний модуль формоутворення фрези описується добутком однокоординатних матриць:

$$MC^I_{Z_{lf}(k)\Theta_{lf}\cdot R_{lf}(k)} = M^3(Z_{lf}(k)) \cdot M^6(\Theta_{lf}) \cdot M^2(R_{lf}(k)), \quad (2)$$

де $M^1, M^2, M^3, M^4, M^5, M^6$ – однокоординатні матриці, що описують переміщення вздовж осей $X_{inst}, Y_{inst}, Z_{inst}$ та повороти навколо них $O_{inst}X_{inst}, O_{inst}Y_{inst}, O_{inst}Z_{inst}$ відповідно [14].

Номинальна поверхня оброблюваної деталі описується добутком радіус-вектора інструментальної поверхні фрези, модуля орієнтації та модуля формоутворення:

$$\bar{r}_{df} = MC^F_{Z_{ct}(\Theta_{df})\Theta_{df}\cdot Y_{ct}(\Theta_{df})} \cdot MS^O_{\beta\cdot X_{ct}} \cdot \bar{r}_{lf}, \quad (3)$$

де β – кут нахилу фрези відносно вісі $O_{inst}Y_{inst}$; X_{ct}, Y_{ct} – міжосьова відстань фрези й деталі в вертикальній і горизонтальній площині відповідно;

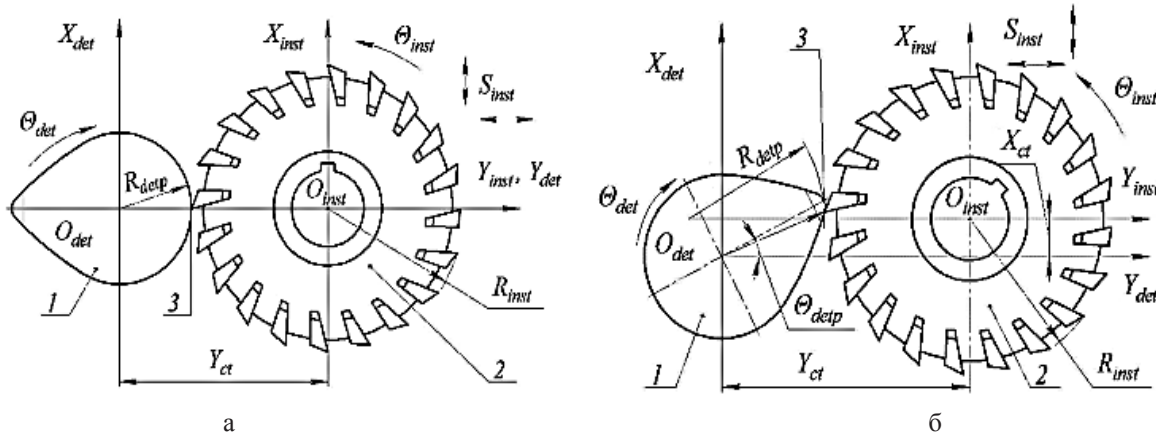


Рис. 3. Схема обробки кулачка

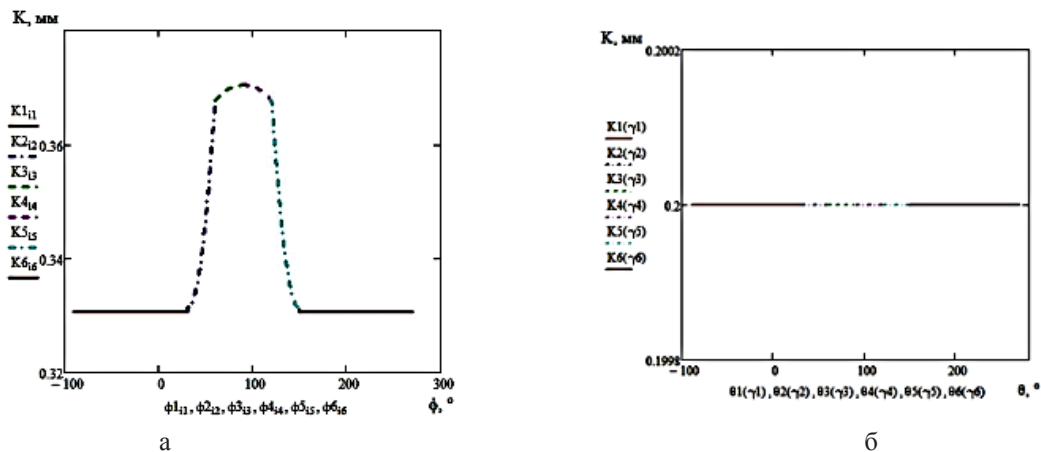
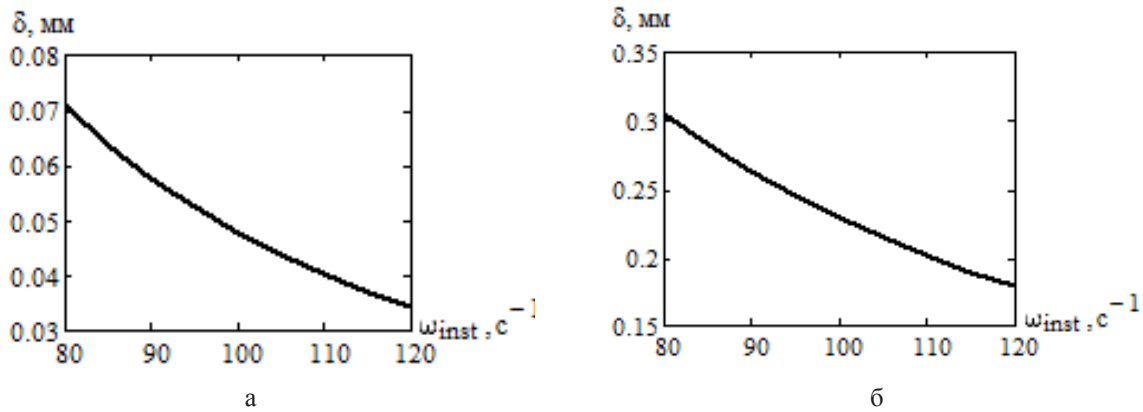
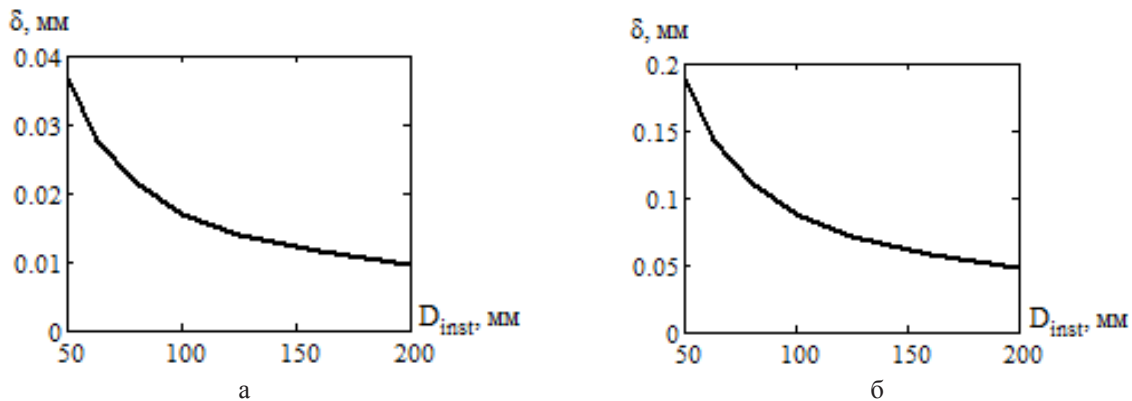


Рис. 4. Подача по контуру

Рис. 5. Залежність відхилення від круглості δ кулачка від частоти обертання ω_{inst} Рис. 6. Залежність відхилення від круглості δ кулачка від частоти обертання ω_{inst}

Θ_{Df} – кут повороту деталі; Z_{ct} – подача, яка описує рух деталі вздовж осі $O_{det}Z_{det}$ стосовно фрези.

Під час обробки кулачка координати X_{ct} , Y_{ct} змінюються й залежать від кутової координати повороту кулачка, під час обробки ділянки кулачка, центр якої співпадає з віссю розподільного вала X_{ct} , дорівнює нулю, а Y_{ct} не змінюється.

Отримані графіки залежності величини відхилення від круглості δ при фрезеруванні ділянки кулачка, центр якої співпадає із центром кулачка (рис. 5а; 6а), та при обробці ділянки кулачка найбільшого радіуса (рис. 5б; 6б) – від частоти обертання інструменту ω_{inst} (рис. 5а, 5б), діаметра фрези D_{inst} (рис. 6а, 6б).

Аналіз графіків рис. 6 показує, що при високошвидкісному фрезеруванні збільшення частоти обертання інструменту призводить до значного зменшення відхилення від округлості обробленої поверхні.

Висновки. Розроблено новий спосіб високошвидкісного фрезерування кулачків на модернізованому універсально-заточувальному верстаті з ЧПК від персонального комп'ютера моделі В3208Ф4 периферією орієнтованого інструменту з різальними елементами з надтвердих матеріалів, що дає змогу знизити теплонапруженість процесу, так як тепло, що виділяється під час обробки, практично повністю зосереджено в стружці й не перебуває тривалий час у зоні обробки, через що фреза й деталь мало схильні до термічного впливу. Оброблені так поверхні деталей мають значно менші відхилення від округлості, що наближує цей процес до шліфування. Запропонований спосіб може бути застосований для фрезерування розподільчих валів двигунів внутрішнього спалювання, валів коробок перемикання швидкостей автомобілів і тракторів, що підвищує продуктивність і точність обробки, їх надійність і ресурс.

Список літератури:

1. Левченко Я.К., Маршуба В.П. Умови ефективного застосування високошвидкісної обробки. *Машинобудування*. 2012. № 9. С. 52–60.
2. Полетаев В.А., Волков Д.И. Особенности стружкообразования при фрезеровании и фрезоточении тел вращения. *Инженерный журнал*. 2001. № 7. С. 18–21.

3. Этин А.О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. Москва : Машиностроение, 1964. 324 с.
4. Полетаев В. А. Конструктивные особенности приводов подачи станков для кругового фрезерования. *Инженерный журнал*. 2001. № 8. С. 63–64.
5. Технология механической обработки артиллерийских снарядов. Москва : Оборонгиз, 1948. 658 с.
6. Грязев М.В., Степаненко А.В. Перспективные технологии обработки поверхностей вращения фрезерованием. *Известия ТулГУ. Серия «Технические науки»*. 2010. Вып. 2. Ч. 1. С. 130–136.
7. Грязев М.В., Степаненко А.В. Фрезерование наружных цилиндрических поверхностей торцовой фрезой. *Известия ТулГУ. Серия «Технические науки»*. 2010. Вып. 2. Ч. 1. С. 140–148.
8. Шлифование распределительных валов кругами из кубического нитрида бора. Проспект фирмы «Junker maschinen» на станки «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrach. Germany, 2006. 8 с.
9. CBN crankshaft grinding. Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCRANK 1000», «JUCRANK 3000», «JUCRANK 5000», «JUCRANK 6S/L/XL». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrach. Germany, 2012. 12 p.
10. Модернізація універсально-заточувального верстата з ЧПК ВЗ 208 ФЗ для високошвидкісного фрезерування поверхонь обертання / В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.І. Венжега, В.О. Винник. *Технічні науки та технології*. 2020. № 1 (19). С. 9–17.
11. Кальченко В.І., Кальченко Д.В., Следнікова О.С. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільчого вала і круга. *Резание и инструмент в технологических системах*. Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. Вып. 85. С. 98–106.
12. Модульне 3D моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при фрезеруванні кулачків зі схрещеними осями інструменту і деталі / О.С. Следнікова, В.О. Винник, В.М. Скляр, О.О. Аксьонова. *Технічні науки та технології*.
13. Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография. Чернигов : ЧДТУ, 2009. 256 с.
14. Решетов Д.Н., Портман В.Т. Точность металлорежущих станков. Москва : Машиностроение, 1996. 336 с.

Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Wenzhega V.I., Vinnik V.A., Sklar V.M., Morochko V.V. RESEARCH PROCESS OF SPEED MILLING OF CAMSHAFT ROLLS IN THE PERIPHERY OF THE ORIENTED TOOL ON THE MODERNIZED MACHINE WZ208F3

The article is devoted to the development and research of a new method of high-speed milling of camshafts camshafts with crossed axes of a tool and details on the modernized for this purpose the universal-sharpening machine of the CNC model VZ208F4, which will improve the accuracy of machined surfaces and productivity.

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. High-speed milling is a state-of-the-art, high-tech machining method that allows you to obtain the smallest cross-sections of metal 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 processing is almost completely concentrated in the chip and does not stay for a long time in the treatment area, which is why the milling cutter and the workpiece are slightly exposed to heat. 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 the use of a special tool.

The proposed method of milling curvilinear surfaces on CNC machines can be applied for milling processes of various cylindrical surfaces of complex profile with crossed axes of the tool and parts.

Key words: *high-speed milling, precision machining, machining performance, modular three-dimensional geometric modeling, tool oriented, shaping, camshaft, cam.*