

# РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)-7-13

УДК 621.923

**Володимир Кальченко<sup>1</sup>, Віталій Кальченко<sup>2</sup>,  
Володимир Венжега<sup>3</sup>, Дмитро Машковцев<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [yvkalchenko74@gmail.com](mailto:yvkalchenko74@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>. ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

<sup>2</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [kalchenkovi@gmail.com](mailto:kalchenkovi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9850-7875>. ResearcherID: [G-9477-2014](https://orcid.org/0000-0002-9850-7875)

<sup>3</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [yivenzhega@gmail.com](mailto:yivenzhega@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8857-349X>. ResearcherID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

<sup>4</sup>аспірант, асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [mashkovtsevdmitro@gmail.com](mailto:mashkovtsevdmitro@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5591-4789>. ResearcherID: [HZL-3455-2023](https://orcid.org/0009-0008-5591-4789)

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА ТА КРУГА

*Проведено аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного вала та абразивного круга, а також розглянуто верстати, на яких здійснюється зазначена обробка. У роботі проаналізовано наявні способи обробки розподільних валів, зокрема високошвидкісне шліфування та шліфування зі схрещеними осями деталі та абразивного круга, а також розглянуті питання тримірного геометричного моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення кулачків і шийок розподільних валів. Дослідження процесів шліфування зі схрещеними осями дасть змогу підвищити якість та точність обробки поверхонь розподільних валів.*

**Ключові слова:** шліфування; торці деталей; розподільний вал; кулачок розподільного валу; шліфування зі схрещеними осями.

Рис.: 7. Бібл.: 7.

**Актуальність теми.** Унаслідок зростаючої конкуренції на ринку машинобудування та автомобільного транспорту якість обробки деталей є важливим показником. Зокрема, актуальним завданням для науковців є модернізація процесів та якості обробки кулачків та шийок розподільних валів у машинобудуванні та автомобілебудуванні. Так, точно оброблені розподільні вали забезпечують безперебійну роботу двигунів автомобілів протягом тривалого пробігу.

**Постановка проблеми.** Для виготовлення високоточних поверхонь кулачків і шийок розподільних валів необхідно використовувати новітні способи обробки їхніх поверхонь. Одним із таких способів є шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі, яке забезпечує високі точність та продуктивність обробки. Оскільки процеси шліфування розподільних валів і верстати, на яких здійснюється їх обробка, постійно змінюються та модернізуються, виникає необхідність проведення їх аналізу з метою визначення ефективності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес шліфування розподільного валу досліджується багатьма науковцями. Так, у роботі [2] описується процес шліфування опорних кулачків розподільного вала орієнтованим інструментом за один установ.

У роботі [4] представлено методи дослідження для кількісного визначення вібрацій та відхилення від форми під час шліфування розподільного вала. Розроблені методи застосовані для дослідження впливу різних параметрів на вібрації при високошвидкісному шліфуванні розподільного вала.

Питання управління процесом шліфування, які виникають при виготовленні колінчастих валів, розглядаються у [5]. Проведене дослідження зосереджено на вимірюванні таких параметрів, як лінійність, паралельність, биття та співвісність відповідних механічних частин шліфувальних верстатів.

У публікації [6] представлено структуру верстата для шліфування розподільного вала та наведено порівняльний аналіз двох методів шліфування розподільного вала, визначено переваги моторизованого шпинделя, опорного підшипника, системи подачі.

У роботі [7] запропоновано модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, зняття припуску та формоутворення опорних шийок і кулачків розподільних валів. При цьому шліфування опорних шийок та кулачків розподільного вала виконується за один установ кругом зі схрещеними осями його й деталі.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Попри наявність великої кількості досліджень способів шліфування розподільних валів недостатня увага приділена темі дослідження способів шліфування розподільного вала зі схрещеними осями деталі та круга.

**Мета статті.** Головною метою статті є аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного вала та абразивного круга.

**Виклад основного матеріалу.** На Харківському верстатобудівному заводі [1] виготовляють спеціальні шліфувальні напівавтоматичні верстати з ЧПК (ХШЗ-57Ф2, ХШЗ-57Ф2-01, ХШЗ-57Ф2-02) (рис. 1, а), які призначені для обробки профілю кулачків розподільного вала.

За рахунок змінної швидкості обертання розподільного вала протягом одного оберту при шліфуванні забезпечується сталість об'єму металу, що знімається. Широкий діапазон швидкостей обертання заготовки та подачі шліфувального круга, можливість зупинки подачі на певний час дозволяє здійснювати різні цикли шліфування профілю кулачка.

Такі верстати доцільно використовувати для одиничного, серійного та масового виробництва, а також можна проводити послідовне врізне шліфування кулачків розподільного вала за напівавтоматичним циклом [1] (рис. 1, б).

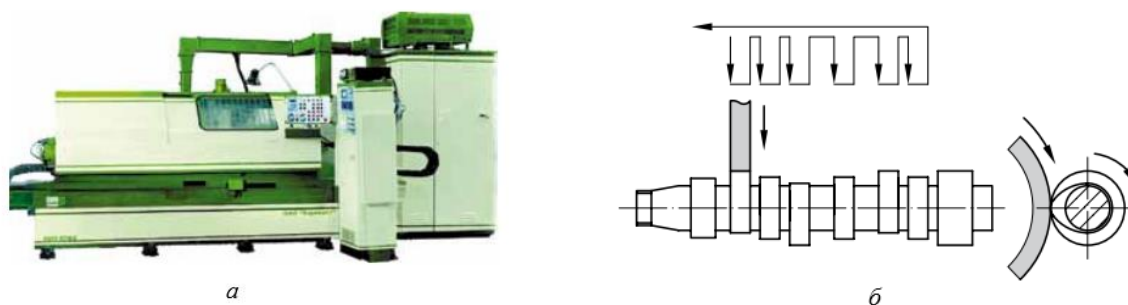
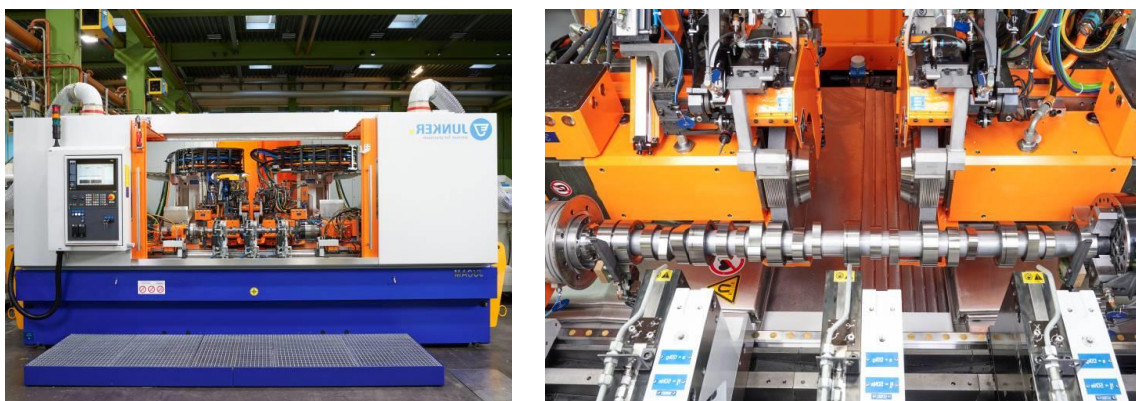


Рис. 1. Верстат для шліфування профілю кулачків розподільних валів (а);  
схема контакту заготовки та шліфувального круга (б)

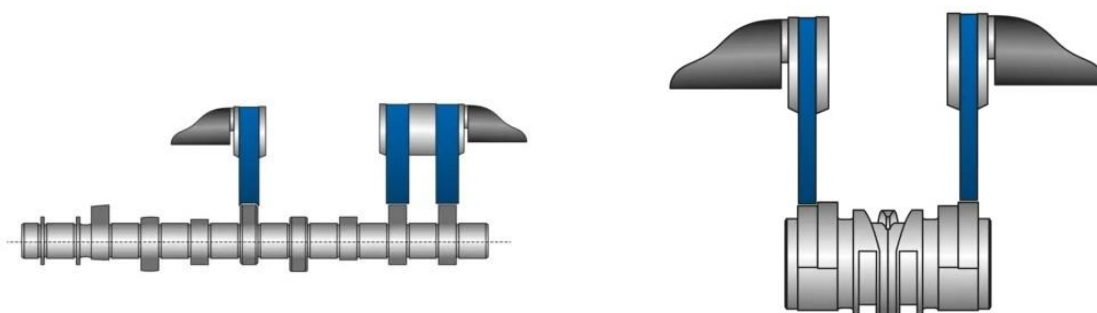
У [2] пропонується здійснювати процес шліфування опорних кулачків розподільного вала орієнтованим інструментом за один установ, що підвищує точність та продуктивність обробки.

Фірма Junker (Германія) [3] виготовляє верстати для шліфування розподільних валів: JUCAM1000, JUCAM3000, JUCAM5000, JUCAM6S, JUCAM6L (рис. 2), JUCAM6XL, які здійснюють високоточну обробку поверхні кулачків розподільних валів. При нециліндричному зовнішньому шліфуванні шліфувальний круг повторює контур кулачка (рис. 3). У верстатах використовуються алмазні круги для високої продуктивності шліфування з незмінним рівнем якості та тривалим терміном служби.

У [4] проведені експериментальні дослідження вібрацій при високошвидкісному шліфуванні розподільного валу та їх вплив на точність обробленої поверхні. Визначено, що швидкість шліфування 120 м/с дає найнижчі вібрації, а при збільшенні глибини шліфування вібрації зростають. Отримані результати важливі при проектуванні технологічних систем.



*Рис. 2. Шліфувальний верстат JUCAM 6L*



*Рис. 3. Зовнішнє нециліндричне шліфування кулачків розподільного вала*

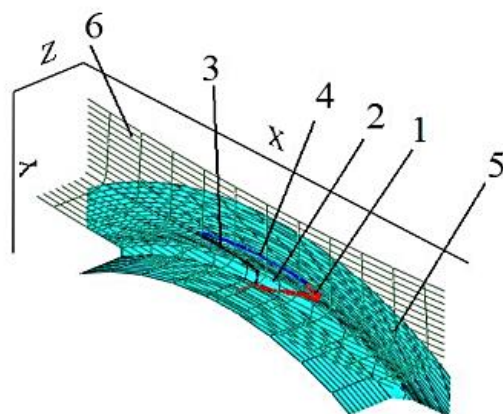
Робота [5] присвячена проблемам управління процесом шліфування, які виникають при виготовленні колінчастих валів. Під час дослідження вимірювались лінійність, паралельність, биття та співвісність відповідних механічних частин верстата. На основі отриманих результатів надані рекомендації з метою забезпечення стабільної якості виготовлених колінчастих валів. Приведені в роботі дослідження та методи можуть бути використані при шліфуванні розподільних валів.

Структуру верстата для шліфування розподільного вала представлено у [6]. У роботі також приведено порівняння емуляції шліфування та трасування дотичних точок шліфування розподільного вала для двох методів шліфування, визначено переваги моторизованого шпинделя, опорного підшипника, системи подачі та застосування шліфувального круга CBN для високошвидкісного шліфування. Представлено результати статичного та модального аналізу перевірки міцності каркаса шліфувального круга та оптимізації конструкції, що є важливою основою для подальшого удосконалення способів обробки.

Робота [7] присвячена питанням модульного тривимірного геометричного моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення опорних шийок та кулачків розподільних валів.

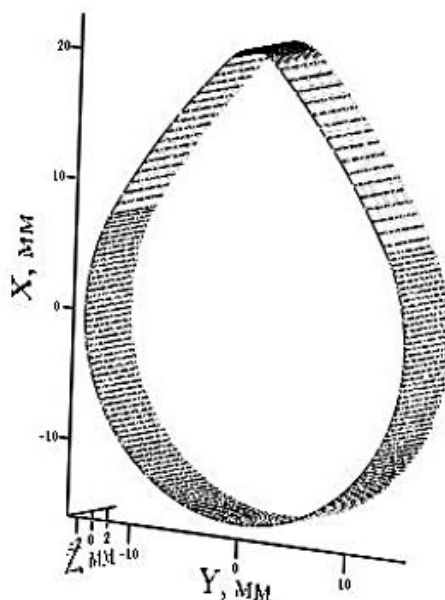
На рисунку 4 зображена схема глибинного шліфування зі схрещеними осями абразивного круга 2 та розподільного вала 1. При такому способі обробки торцем круга знімається чорновий припуск, а чистове шліфування виконується його периферією за рахунок повздовжнього переміщення.





*Рис. 6. Пляма контакту розподільного валу зі шліфувальним кругом*

На рисунку 7 зображена 3D-модель кулачка розподільного валу, яка утворилася за рахунок переміщення лінії контакту по еквідистанті поверхні деталі [7].



*Рис. 7. 3D-модель кулачка розподільного вала*

Отримані у [7] моделі можуть бути використані при розробці нових та удосконаленні існуючих способів шліфування розподільних валів зі схрещеними осями інструмента та деталі.

**Висновки.** Розподільні вали є компонентами двигунів внутрішнього згорання, коробок перемикачів передач та інших вузлів автомобілів, тракторів тощо. Точність їх обробки визначає ресурс, продуктивність та надійність роботи. У роботі розглянуто способи шліфування розподільних валів.

Аналіз проведених досліджень та публікацій показав, що ефективним способом обробки розподільного валу є шліфування із схрещеними осями заготовки та абразивного круга. А при його застосуванні на верстатах із ЧПК підвищується точність та продуктивність обробки завдяки можливості виключення впливу радіуса інструмента.

### Список використаних джерел

1. Шліфувальні верстати завод «Харверст». Харківський верстатобудівний завод «Харверст». – Харків, 20 с.
2. Шліфування розподільних валів кругами з CNB. Проспект фірми «Junker maschinen» на верстати «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. – Germany, 2006. – 8 с.
3. CAM GRINDING. Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCAM 1S», «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6XS», «JUCAM 6S», «JUCAM 6L», «JUCAM 6XL». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. – Germany, 2017. –12 p.
4. Experimental Analysis of Process Parameter Effects on Vibrations in the High-Speed Grinding of a Camshaft / Tao Liu, Zhaohui Deng, Lishu Lv, Shuailong She, Wei Liu, Chengyao Luo // *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 66(3). – Pp. 175-183.
5. Вивчення геометрії шліфувальних верстатів, які використовуються для обробки великогабаритних колінчастих валів / З. Сементковській, М. Руцький, Д. Морозов, Р. Мартиновський, О. Свентокшиський, О. Шелковий, Ю. Гуцаленко // *Різання та інструмент в технологічних системах*. – 2019. – Вип. 91. – С. 207-219.
6. Summary of the Camshaft Grinding Machine and the Finite Element Analysis of grinding wheel rack frame Jinwei Fan, Hongliang Wang and Lanqing Zhang, 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology (MMECEB 2015).
7. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного валу і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко, О. С. Следнікова // *Різання та інструмент в технологічних системах*. – 2015. – Вип. 85. – С. 98–106.

### References

1. Grinding machines “Harverst” plant. Kharkiv Machine Building Plant “Harverst”. Kharkiv.
2. Grinding of camshafts with cubic boron nitride wheels. Prospectus of the company "Junker maschinen" for machines “JUCAM 1000”, “JUCAM 3000”, “JUCAM 5000”, “JUCAM 6000”. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. (2006). Germany.
3. CAM GRINDING. Prospect firm “Junker maschinen” on machines “JUCAM 1S”, “JUCAM 1000”, “JUCAM 3000”, “JUCAM 5000”, “JUCAM 6XS”, “JUCAM 6S”, “JUCAM 6L”, “JUCAM 6XL”. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. (2017). Germany.
4. Tao Liu, Zhaohui Deng, Lishu Lv, Shuailong She, Wei Liu, Chengyao Luo. (2020). Experimental Analysis of Process Parameter Effects on Vibrations in the High-Speed Grinding of a Camshaft. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 66(3), 175-183.
5. Sementkovskii, Z., Rutskyi, M., Morozov, D., Martynovskiy, R., Sventokshyskyi, O., Shelkovyi, O., & Hutsalenko, Yu. (2019). Vyvchennia heometrii shlifivalnykh verstativ, yaki vykorystovuiutsia dlia obrobky velykohabarytnykh kolinchastykh valiv [Study of the geometry of grinding machines used for large scale crankshaft machining]. *Rizannia ta instrument v tekhnolohichnykh systemakh – Cutting and tools in technological systems*, 91, 207-219.
6. Summary of the Camshaft Grinding Machine and the Finite Element Analysis of grinding wheel rack frame Jinwei Fan, Hongliang Wang and Lanqing Zhang, 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology (MMECEB 2015).
7. Kalchenko, V.I., Kalchenko, D.V., & Slednikova, O.S. (2015). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia prypusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy rozpodilnoho valu i kruha [Modular 3D-modeling of tools, the process of allowance removal and forming during grinding with crossed axes of the camshaft and wheel]. *Rizannia ta instrument v tekhnolohichnykh systemakh – Cutting and tools in technological systems*, 85, 98–106.

Отримано 15.03.2023

**Volodymyr Kalchenko<sup>1</sup>, Vitaliy Kalchenko<sup>2</sup>, Volodymyr Venzheha<sup>3</sup>, Dmytro Mashkovtsev<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [yvkalchenko74@gmail.com](mailto:yvkalchenko74@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>. **ResearcherID:** [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [kalchenkovi@gmail.com](mailto:kalchenkovi@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9850-7875>. **ResearcherID:** [G-9477-2014](https://orcid.org/0000-0002-9850-7875)

<sup>3</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Motor Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [vivenzhega@gmail.com](mailto:vivenzhega@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8857-349X>. **ResearcherID:** [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

<sup>4</sup>Postgraduate, assistant at the Department of Motor Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [mashkovtsevdmitro@gmail.com](mailto:mashkovtsevdmitro@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-5591-4789>. **ResearcherID:** [HZL-3455-2023](https://orcid.org/0009-0008-5591-4789)

## ANALYSIS OF GRINDING METHODS WITH CROSSED AXES OF THE CAMSHAFT AND ABRASIVE WHEEL

*An analysis of the methods of grinding camshafts with crossed axes was carried out. The camshaft is the main part of the engines and gearboxes of motor transport, therefore the reliability, correctness and durability of the assembly depends on the accuracy of their manufacture. Therefore, for the manufacture of camshafts, there is a need for high-precision specialized machines for their processing. As a result of the influence of the accuracy of processing camshafts on their competitiveness in the market, there is a need to improve and modernize their processing.*

*This article provides an overview of modern machines for grinding the surfaces of camshafts, in particular machines of the Kharkiv Machine Building Plant and Junker (Germany). An overview of publications devoted to the issue of surface treatment of camshafts and crankshafts is also given. In particular, the study of the process of grinding the camshaft with an approximate tool for one institution, the characteristics and waviness of vibrations during grinding, the problems of managing the grinding process and the measurement of parameters affecting the grinding process are considered. An analysis of the existing modular three-dimensional geometric modeling of tools, the processes of removing the allowance and forming the support necks of the camshafts during grinding in one facility with crossed axes of the tool and the part was carried out. The advantage of this method is the ability to take into account the shape of the part and not take into account the radius of the tool when grinding the surfaces of camshaft cams on CNC machines. This increases the quality and productivity of camshaft surface treatment.*

**Keywords:** grinding; ends of parts; camshaft; camshaft cam; grinding with crossed axes.

*Fig.: 7. References: 7.*