

УДК 621.9.06

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-2(16)-16-22

Геннадій Пасов, Володимир Венжега, Валерій Бакалов

ШЛІФУВАННЯ ФАСОННИХ ПОВЕРХОНЬ НА ВЕРСТАТІ ВЗ-208-ФЗ

Актуальність теми дослідження. Шліфування фасонних поверхонь на обладнанні з широкими технологічними можливостями дає змогу здійснювати продуктивну та точну обробку складних деталей. Застосування його в машинобудуванні можливо як в основному виробництві, так і в ремонтно-відновлювальному.

Постановка проблеми. Нині одним зі шляхів виходу з тяжкої кризи є становлення машинобудування та металообробки. У загальному обсязі металообробки безперервно збільшується відсоток деталей зі складними поверхнями, які суттєво впливають на техніко-економічні показники машин. До таких деталей відносять: лопатки газових та парових турбін, зірочки диференціалів автомобілів, прес-форми, валки трубопрокатних станів, корпусні деталі суден, ракет, літаків, дискові, циліндричні, торцеві кулачки та інші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливі труднощі при обробці фасонних поверхонь викликає обробка точних фасонних поверхонь в умовах серійного, а також масового виробництва. Обробка цих поверхонь відрізняється від обробки простих поверхонь яскраво виявленою нестационарністю, рівень якої суттєво впливає на обрання технологічного процесу обробки цих поверхонь, а також обладнання для їх обробки. Тому перед обранням технології та обладнання необхідно проаналізувати закономірності, які властиві процесу обробки фасонних поверхонь. З урахуванням зміни номенклатури поверхонь, які оброблюються, а також для підвищення точності обробки доцільно використовувати верстати з числовим програмним керуванням.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У процесі зняття припуску та формоутворення необхідної поверхні інструмент переміщується не по нормалі. На верстаті моделі МА-369-ФЗ шліфувальний круг переміщується тільки в одному напрямку, тобто буде зворотно-поступальний рух. При цьому необхідно враховувати радіус шліфувального круга. Необхідно запропонувати таке обладнання, яке дозволить вирішити цю проблему.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є дослідження можливості шліфування фасонних поверхонь на верстаті ВЗ-208-ФЗ.

Виклад основного матеріалу. На верстаті моделі ВЗ-208-ФЗ є можливість вести обробку шліфувальним кругом, який переміщується по двох координатах, тобто здійснюється схема обробки з площинно-поступальним рухом. При зворотно-поступальному русі зняття припуску буде здійснюватись за паралельними кривими, при площинно-поступальному – за еквідистантою. У процесі обробки шліфувальний круг постійно зношується і потребує періодичної правки, що необхідно враховувати при складанні керуючої програми, тобто кожен оброблюваний контур необхідно програмувати окремо. На верстаті ВЗ-208-ФЗ (площинно-поступальний рух) є можливість виключити вплив радіуса шліфувального круга, а відповідно, і його знос, на точність формоутворення. При цьому в керуючій програмі необхідні періодичні додаткові підводи, контур обробки при цьому не змінюється. При фінішній обробці відбувається постійне уточнення профілю обробки. Таким чином, площинно-поступальна схема обробки (верстат моделі ВЗ-208-ФЗ) має суттєві переваги перед зворотно-поступальною схемою.

Висновки відповідно до статті. Одержано можливість обробляти деталі типу кулачка, на верстаті ВЗ-208-ФЗ з ЧПК 2С42 з площинно-поступальною схемою обробки. Розроблена методика дозволяє підвищити точність обробки за рахунок зняття припуску за еквідистантними кривими, не враховуючи радіуса шліфувального круга. Керуюча програма суттєво спрощується, оскільки потребує лише одного задаючого профілю кулачка та періодичних додаткових підводів, які враховують знос шліфувального круга та його правку. Запропонований метод обробки може бути використано в серійному виробництві, де необхідно часто переходити на різнопланову продукцію, а також під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Ключові слова: поступальний рух; похибка; профіль; фасонна поверхня; шліфування.

Рис.: 3. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Шліфування фасонних поверхонь на обладнанні з широкими технологічними можливостями дає змогу здійснювати продуктивну та точну обробку складних деталей. Застосування його в машинобудуванні можливо як в основному виробництві, так і в ремонтно-відновлювальному.

Постановка проблеми. Нині одним зі шляхів виходу з тяжкої кризи є становлення машинобудування та металообробки. У загальному обсязі металообробки безперервно збільшується відсоток деталей зі складними поверхнями, які суттєво впливають на техніко-економічні показники машин. До таких деталей відносять: лопатки газових та парових турбін, зірочки диференціалів автомобілів, прес-форми, валки трубопрокатних станів, корпусні деталі суден, ракет, літаків, дискові, циліндричні, торцеві кулачки та інші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Високопродуктивна обробка фасонних поверхонь – це складна технологічна задача. Особливі труднощі викликає обробка точних фасонних поверхонь в умовах серійного, а також масового виробництва.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Обробка фасонних поверхонь відрізняється від обробки простих поверхонь (площинних, циліндричних та інших) яскраво виявленою нестаціонарністю, рівень якої суттєво впливає на обирання технологічного процесу обробки цих поверхонь, а також обладнання для їх обробки [1-5]. Тому перед обиранням технології та обладнання необхідно проаналізувати закономірності, які властиві процесу обробки фасонних поверхонь.

З урахуванням зміни номенклатури поверхонь, які оброблюються, а також для підвищення точності обробки доцільно використовувати верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Згідно з [6] при обробці кулачка розподільного вала для отримання заданої на ньому точки необхідно складання керуючої програми.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У процесі зняття припуску та формоутворення необхідної поверхні інструмент переміщується не по нормалі. Так, на верстаті моделі МА-369-ФЗ [7] шліфувальний круг переміщується тільки в одному напрямку, тобто буде зворотно-поступальний рух [8-10]. При цьому необхідно враховувати радіус шліфувального круга. Необхідно запропонувати таке обладнання, яке дозволить вирішити цю проблему.

Мета статті. Метою цієї роботи є дослідження можливості шліфування фасонних поверхонь на верстаті ВЗ-208-ФЗ.

Виклад основного матеріалу. На верстаті моделі ВЗ-208-ФЗ є можливість вести обробку шліфувальним кругом, який переміщується по двох координатах, тобто здійснюється схема обробки з площинно-поступальним рухом.

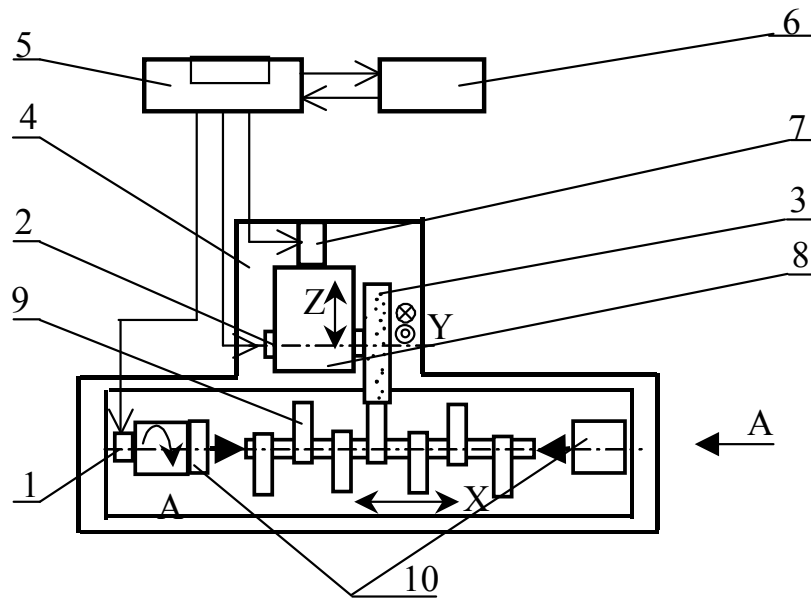
На рис. 1 показано загальний вигляд верстата з ЧПК для шліфування фасонних поверхонь, наприклад, кулачків розподільних валів. Формоутворення фасонних поверхонь відбувається при синхронному переміщенні шліфувальної каретки 8 (напрямки Y та Z) та обертанні виробу 9 (рух A). Програма записана на програмоносій та після вводу в пристрій 5 зберігається в блоці пам'яті 6, звідки вона може багаторазово викликатись для використання. Шліфувальна каретка 8 з кругом 3 переміщується по напрямних станини 4 від сервопривода 7. Крім того, шліфувальний круг 3 переміщується у вертикальному напрямку по колоні від сервопривода 2. Деталь 9, яка оброблюється на верстаті, встановлюється в центрах передньої та задньої бабок 10 та приводиться в рух від сервопривода 1. Перехід на обробку наступного кулачка здійснюється після поздовжнього переміщення (рух X).

На відміну від верстата моделі МА-369-ФЗ [6], на верстаті моделі ВЗ-208-ФЗ шліфувальний круг здійснює два рухи: в напрямку заготовки та у вертикальному напрямку. Вертикальний рух круга необхідний для того, щоб вектор подачі був завжди дотичним у точці обробки.

Порівнюємо зворотно-поступальну і площинно-поступальну схеми обробки. Згідно з [2] при зворотно-поступальній схемі глибина різання в різних точках буде величиною змінною. Відповідно це буде впливати на процес обробки: змінна сила різання, деформація та інше. При площинно-поступальній схемі глибина різання буде величиною постійною, а отже, під час обробки будуть рівномірні навантаження на круг. При зворотно-поступальному русі зняття припуску буде здійснюватись за паралельними кривими, при площинно-поступальному – за еквідистантою.

У процесі обробки шліфувальний круг постійно зношується і потребує періодичної правки, що необхідно враховувати при складанні керуючої програми, тобто кожен оброблюваний контур необхідно програмувати окремо. На верстаті ВЗ-208-ФЗ (площинно-поступальний рух) є можливість виключити вплив радіуса шліфувального круга, а відповідно, і його знос, на точність формоутворення. При цьому в керуючій програмі необхідні періодичні додаткові підводи, контур обробки при цьому не змінюється. При фінішній обробці відбувається постійне уточнення профілю обробки.

Таким чином, площинно-поступальна схема обробки (верстат моделі ВЗ-208-ФЗ) має суттєві переваги перед зворотно-поступальною схемою (верстат моделі МА-369-ФЗ).



Вид А

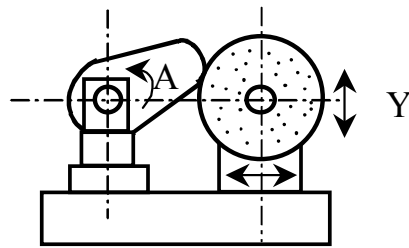


Рис. 1. Схема обробки:

1, 2, 7 – сервоприводи; 3 – шліфувальний круг; 4 – станина; 5 – пристрій вводу;
 6 – блок пам'яті; 8 – каретка; 9 – деталь, яка обробляється; 10 – центри

Якщо відомі розрахункові точки кулачка, то при складанні програми керування необхідно знайти координати точок дотику шліфувального круга та кулачка, тобто координати переміщень шліфувального круга (рис. 2).

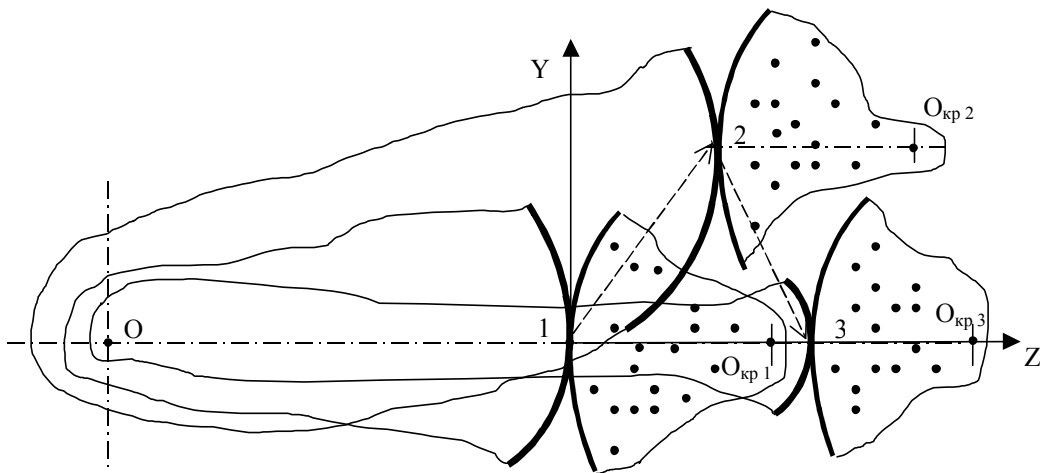


Рис. 2. Схема положень деталі та круга під час обробки

На рис. 3 показана розрахункова схема одержання точок профілюючого руху. При повороті кулачка на кут α , штовхач має робочий підйом, який дорівнює S , та кутову швидкість $\frac{dS}{d\alpha}$. Як видно з рис. 2, точка кулачка A з'являється в точці дотику площинного штовхача. З $\triangle OAB$ знаходимо радіус r та кут ϕ цієї точки, тобто знаходимо її полярні координати:

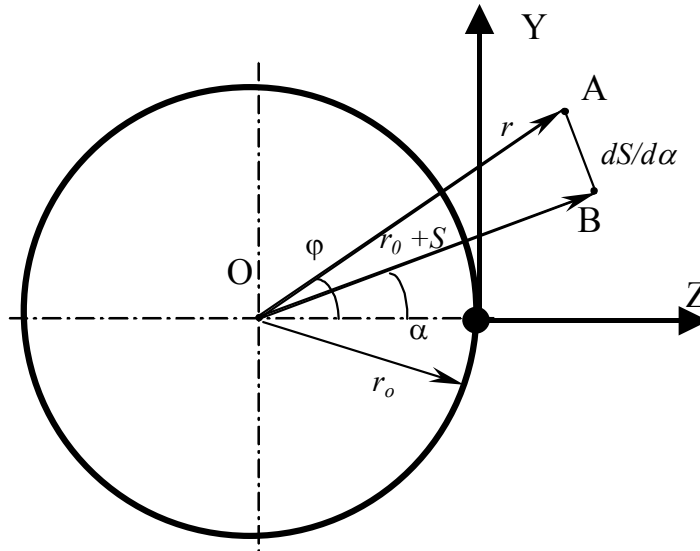


Рис. 3. Схема отримання точок профілюючого руху

$$r = \sqrt{(r_0 + S)^2 + \left(\frac{dS}{d\alpha}\right)^2} \tag{1}$$

$$\phi = \alpha + \arctg \left(\frac{\frac{dS}{d\alpha}}{r_0 + S} \right), \tag{2}$$

де r_0 – початковий радіус кулачка, мм;

S – величина підйому кулачка, мм;

α – поворот кулачка на заданий кут, град.

Таким чином для того, щоб шліфувальний круг утворив точку A , необхідно при повороті кулачка на кут α шліфувальний круг змістити в напрямку Z на величину S , а в напрямку Y – на величину $\frac{dS}{d\alpha}$. Після цих перетворень отримаємо таблицю переміщень шліфувального круга.

Якщо перемішуватись від точки до точки за прямолінійною траєкторією, то оброблена поверхня може мати «огранку», тобто не буде плавності переходу від однієї точки до іншої. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є заміна прямолінійних ділянок на дуги кіл.

У відповідності з [6] координати центра дуги кола, яку описано за трьома точками, розраховують за формулами:

$$I = 2 \cdot \begin{vmatrix} Z_q - Z_{q+2} & Y_q - Y_{q+2} \\ Z_q - Z_{q+1} & Y_q - Y_{q+1} \end{vmatrix} \tag{3}$$

$$Z_i = -\frac{1}{I} \cdot \begin{vmatrix} Z_q^2 - Z_{q+1}^2 + Y_q^2 - Y_{q+1}^2 & Y_q - Y_{q+1} \\ Z_q^2 - Z_{q+2}^2 + Y_q^2 - Y_{q+2}^2 & Y_q - Y_{q+2} \end{vmatrix} \quad (4)$$

$$Y_i = \frac{1}{I} \cdot \begin{vmatrix} Z_q - Z_{q+1} + Y_q - Y_{q+1} & Z_q - Z_{q+1} \\ Z_q - Z_{q+2} + Y_q + Y_{q+2} & Z_q - Z_{q+2} \end{vmatrix}, \quad (5)$$

де Z_q, Z_{q+1}, Z_{q+2} – координата Z відповідно точки $q, q + 1, q + 2$, мм;

Y_q, Y_{q+1}, Y_{q+2} – координата Y відповідно точки $q, q + 1, q + 2$, мм;

Z_i, Y_i – координати центра i -того кола, мм.

Радіус описаного кола R_i знаходиться за формулою:

$$R_i = \sqrt{(Z_q - Z_i)^2 + (Y_q - Y_i)^2}. \quad (6)$$

Радіус-вектор середини хорди L_i знаходиться за формулою:

$$L_i = \sqrt{\left(\frac{Z_q + Z_{q+1}}{2} - Z_i\right)^2 + \left(\frac{Y_q + Y_{q+1}}{2} - Y_i\right)^2}. \quad (7)$$

Різницю між R_i та L_i будемо називати похибкою та знайдемо її за формулою:

$$\Delta_i = R_i - L_i. \quad (8)$$

Розрахунки за формулами (3) – (8) показали, що величина Δ_i здебільшого менша за 1 мкм. Якщо точність виготовлення кулачка 1 мкм, то на ділянках з Δ_i , яка менша за цієї точності, доцільно проводити рух по прямій, а на ділянках з Δ_i , яка перевищує точність 1 мкм, здійснювати рух по дузі кола.

Усі розрахунки проводились із використанням програми DUGA.

Висновки відповідно до статті. Таким чином, одержано можливість обробляти деталі типу кулачка на верстаті ВЗ-208-ФЗ з ЧПК 2С42 з площинно-поступальною схемою обробки. Розроблена методика дає змогу підвищити точність обробки за рахунок зняття припуску за еквідистантними кривими, не враховуючи радіус шліфувального круга. Керуюча програма суттєво спрощується, оскільки потребує лише одного задаючого профілю кулачка та періодичних додаткових підводів, які враховують знос шліфувального круга та його правку. Запропонований метод обробки може бути використано в серійному виробництві, де необхідно часто переходити на різнопланову продукцію, а також під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Список використаних джерел

1. Бочков В. М., Сілін Р. І. Обладнання автоматизованого виробництва: навчальний посібник. Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. 380 с.
2. Грабченко А. И., Доброскок В. Л., Федорович В. А. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: учебное пособие. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 364 с.
3. Грабченко А. И., Кальченко В. И., Кальченко В. В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали: монография. Чернигов: ЧДТУ, 2009. 256 с.
4. Кальченко В. И. Научные основы шлифования криволинейных поверхностей с управляемой ориентацией абразивного инструмента: дис. ... д-р техн. наук / Чернігівський технологічний інститут. Харьков, 1994. 491 с.
5. Кальченко В. И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей. Москва: Машиностроение, 1979. 160 с.
6. Кулик В. К., Петраков Ю. В., Иотов В. В. Прогрессивные процессы обработки фасонных поверхностей. Киев: Техника, 1987. 176 с.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Пасов Г. В., Кальченко В. В., Рудик А. В., Лясота В. Ю. Обчислення керуючих координат шліфувального круга при різних схемах його руху. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*. 2001. № 13. С. 73-77.
8. Решетов Д. Н., Потрман В. Т. Точность металлорежущих станков. Москва: Машиностроение, 1986. 336 с.
9. Эльянов Э. Д. Шлифование в автоматическом цикле. Москва: Машиностроение, 1980. 101 с.
10. Юнусов Ф. С. Формирование сложнопровильных поверхностей. Москва: Машиностроение, 1987. 248 с.

References

1. Bochkov, V. M. & Silin. R. I. (2000). *Obladnannia avtomatyzovanoho vyrobnyctva [Equipment for automated production]*. Lviv: Lvivska politehnika [in Ukrainian].
2. Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L. & Fedorovych, V. A. (2006). *3D-modelirovaniealmazno-abrazivnykh instrumentov i protsessov shlifovaniia [3D-modeling of diamond-abrasive tools and grinding processes]*. Kharkiv: NTU «KhPI» [in Russian].
3. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I. & Kalchenko, V. V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivaiushhimisia osiami instrumenta i detali [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]*. Chernigov: ChDTU [in Russian].
4. Kalchenko, V.I. (1994). *Nauchnye osnovy shlifovaniia krivolineinykh poverkhnostei s upravliaemoi orientatsiei abrazivnogo instrumenta [Scientific fundamentals of grinding curvilinear surfaces with controlled orientation of abrasive tools]*. (Thesis ... Dr. tech. of science). Kharkiv Polytechnic University, Kharkiv [in Russian].
5. Kalchenko, V. I. (1974). *Shlifovanie krivolineinykh poverkhnostei krupnogabarytnykh detalei [Grinding curved surfaces of large parts]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
6. Kulyk, V. K., Petrakov, Yu. V. & Yotov, V. V. (1987). *Progressivnyie protsessy obrabotki fasonnykh poverkhnostei [Progressive machining of shaped surfaces]*. Kiev: Tekhnika [in Russian].
7. Pasov, H. V., Kalchenko, V. V., Rudyk A. V. & Liasota, V. Iu. (2001). Obchyslennia keruiuchykh koordynat shlifovalnogo kruha pry riznykh skhemakh yoho rukhu [Calculation of the coordinates of the grinding wheel at different schemata of its movement]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu – Bulletin of the Chernihiv State Technological University*, 13, 73-77 [in Ukrainian].
8. Portman, V. T., Reshetov, D. N. (1986). *Tochnost metallorzhushchih stankov [Accuracy of machine tools]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
9. Elyanov, E. D. (1980). *Shlifovanie v avtomaticheskome tsikle [Grinding in an automatic cycle]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
10. Yunusov, F. S. (1987). *Formirovanie slozhnoprofilnykh poverkhnostey [The formation of complex surfaces]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

UDC 621.9.06

*Hennadii Pasov, Volodymyr Venzhega, Valerii Bakalov***GRINDING OF SHAPED SURFACES ON THE MACHINE VZ-208-F3**

Urgency of the research. Grinding of the shaped surfaces on the equipment with wide technological possibilities enables productive and accurate processing of the complex parts. Its use in mechanical engineering is possible both in the main production and in repair and restoration.

Target setting. At present, one of the ways out of a grave crisis is the formation of machine building and metalworking. In the total volume of metal processing, the percentage of parts with complex surfaces continuously increasing, which significantly affect the technical and economic performance of machines. These details include: blades of gas and steam turbines, asterisks of cars differentials, molds, rolling rolls of rolling mills, body parts of ships, missiles, planes, disk, cylindrical, end cam, and others.

Actual scientific researches and issues analysis. Special difficulties in the processing of shaped surfaces results in the processing of precision shaped surfaces in the conditions of mass production as well as mass production. The treatment of these surfaces differs from the treatment of simple surfaces with vividly detected non-stationary, the level of which significantly influences the choice of the technological process of processing these surfaces, as well as equipment for their processing. Therefore, before choosing technology and equipment, it is necessary to analyze the patterns that are inherent in the processing of shaped surfaces. Taking into account the change in the range of treated surfaces, as well as to improve the accuracy of processing, it is advisable to use numerically controlled machine tools.

Uninvestigated parts of general matters defining. In the process of removing the drop and shaping the required surface, the tool moves not in the normal. On a machine model MA-369-Ф3 the grinding wheel moves only in one direction, that

is, will be reciprocating motion. It is necessary to take into account the radius of the grinding wheel. It is necessary to offer such equipment, which will solve this problem.

The research objective. The purpose of this work is researching the opportunity of shaped surface grinding on the machine VZ-208-F3.

The statement of basic materials. On the machine model of the VZ-208-F3 is the ability to handle the grinding wheel, which moves in two coordinates, that is, a plan of processing with plane-translational motion is carried out. With a reciprocating motion, the removal of the abutment will be carried out in parallel curves, while plane-translational - by the equidistance. In the process of processing, the grinding wheel is constantly wearing out and requires periodic editing, which must be taken into account when compiling the control program, ie each working circuit must be programmed separately. On the machine VZ-208-F3 (plane-translational motion) is possible to exclude the influence of the radius of the grinding wheel, and, consequently, its wear, on the accuracy of shaping. In this case, the control program requires periodic additional supplies, the processing contour does not change. At the finishing process there is a constant refinement of the processing profile.

Conclusions. It is possible to process details of the type of cam on the machine VZ-208-F3 with CNC 2C42 with the plane-translational processing scheme. The developed method allows to improve the accuracy of processing by removing the admission by the equidistant curves, not taking into account the radius of the grinding wheel. The control program is greatly simplified, since it requires only one cam profile and periodic additional traps that take into account the wear and tear of the grinding wheel and its editing. The proposed treatment method can be used in serial production, where it is often necessary to switch to diverse products, as well as during repair and restoration works.

Keywords: translational motion; error; profile; shaped surface; grinding.

Fig.: 3. References: 10.

Пасов Геннадій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

E-mail: genapasov@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

ResearcherID: H-4455-2014

Венжега Володимир Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (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 National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: venzhagavi@ukr.net

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

ResearcherID: J-4761-2014

Бакалов Валерій Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

E-mail: bakalow1972@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6297-7878>

ResearcherID: J-1337-2016