

### ПОХОДЖЕННЯ ПОХИБОК В АВТОМАТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ ШЛІФУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ

*Точність виготовлення деталей підшипників на верстатах викінчувального оброблення з використанням систем активного контролю значною мірою залежить від параметрів заготовки, що поступає на оброблення. Для стабілізації величини припуску доцільно вводити у технологічний процес операцію попереднього шліфування.*

*Встановлено, що шліфувальний інструмент та допоміжні матеріали за певних обставин можуть суттєво впливати на сталість протікання технологічного процесу і тим самим створювати додаткові умови виникнення розмірних похибок. З метою зменшення температурних деформацій у процесі оброблення деталі, межу переходу з режиму врізного шліфування на режим виходжування, слід встановлювати індивідуально для кожного типорозміру кільця підшипників. Суттєво покращити точність та стабільність процесу шліфування на попередніх і викінчувальних операціях дозволяє застосування технічних засобів для операційного розмірного активного контролю, а особливо приладів з двохконтактним вимірювальним оснащенням і автоматичним управлінням процесом шліфування за результатами активного контролю з використанням зворотних зв'язків.*

**Ключові слова:** верстат, деталь, поверхня, точність, шліфування, заготовка, кільце, якість.

Однією з визначальних технологічних складових, що впливає на точність деталі, особливо під час контролю в процесі оброблення, є параметри та властивості заготовки – стан базових поверхонь, форма та твердість поверхонь оброблення заготовки, внутрішні напруження, попередні теплові деформації, припуски на оброблення тощо [1].

Базові поверхні заготовки. До базових поверхонь в процесі оброблення отворів на безцентрово-шліфувальних верстатах висуваються високі вимоги. На цих верстатах кільце підшипника встановлюється зовнішнім діаметром на твердосплавні опори і обертається за допомогою магнітного патрона. У процесі оброблення зовнішніх кілець всі дефекти форми: огранка, овальність, хвилястість тощо, які наявні на зовнішній необроблюваній поверхні деталі, копіюються на внутрішній поверхні-доріжці кочення, що викликає дефекти форми і мікрогеометрії та призводить до підвищеного розсіювання розмірів [2].

Форма заготовки. За недостатньої жорсткості системи овальність і конусність заготовки, а також інші відхилення від округлості, що виникли на попередніх операціях, можуть бути не усунуті в процесі викінчувального фінішного шліфування. Крім цього, контроль деталей з порушеною геометричною формою, відмінною від форми тієї поверхні за якою був налагоджений прилад, призводить до додаткових динамічних похибок вимірювання [2].

Похибки геометричної форми обробленої деталі можуть бути зменшені шляхом звуження допусків на попередніх операціях, а також вибором відповідних режимів оброблення.

Припуск на оброблення. Велике розсіювання величини припуску на оброблення може стати причиною виникнення похибок. Різниця у величині шару металу, який знімається шліфувальним кругом, призводить до різного теплоутворення і, відповідно, до різних теплових деформацій деталі. Деталь з більшим припуском, що шліфується у досить форсованому режимі на шліфувальному верстаті, оснащеному приладом активного контролю, після охолодження і відповідної температурної стабілізації має менший розмір, ніж деталь з меншим припуском на оброблення.

На рис. 1 показано графік, що характеризує двохступеневий цикл врізного шліфування для трьох деталей з різними припусками [2].

На осі ординат відкладена величина швидкості знімання припуску  $v$ , а на осі абсцис – величина припуску, що знімається  $\Delta D$ . Вихідний припуск на оброблення  $\Delta D_0$ . Швидкість  $u$  відповідає заданій чорновій подачі. Як видно з графіка, етап врізання супроводжується інтенсивним наростанням швидкості знімання припуску. У цей період поступово збільшується зусилля тиску шліфувального круга на деталь.

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

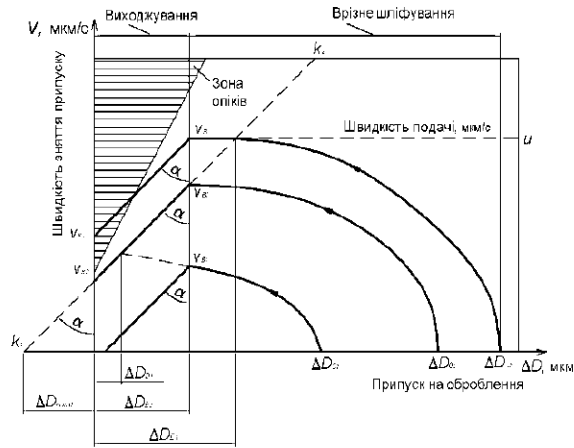


Рис.1. Вплив величини припуску на формування розміру деталі

У технологічній системі верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) виникають пружні деформації. Якщо деталь має досить великий припуск на оброблення (деталь з припуском  $\Delta D_{03}$ ), то процес поступово стабілізується і етап врізання перейде в етап сталого знімання припуску, величина швидкості знімання зрівняється з величиною подачі ( $v=u$ ). Пружні деформації досягнуть певного значення і будуть залишатись постійними протягом всього періоду сталого знімання припуску.

При досягненні заданого розміру (припуск  $\Delta D_{B2}$ , швидкість зняття  $v=v_B$ ) спрацьовує попередня команда, включається подача та подальше чистове оброблення на заключному етапі шліфування проходить у режимі виходжування за рахунок тих натягів, які виникли у технологічній системі. У момент досягнення кінцевого розміру (припуск  $\Delta D=0$ , швидкість зняття  $v=v_{K3}$ ) прилад видає команду на припинення оброблення.

З графіка видно, що шліфування деталей з меншим припуском на оброблення, наприклад  $D_{02}$ , на момент включення попередньої команди перехідний процес продовжується і значення швидкості зняття припуску менше за величину подачі. Відключення подачі та початок виходжування відбудеться за швидкості  $v_{B2}$ . Натяги в технологічній системі у цьому випадку менші, ніж у попередньому. Різниця кінцевих швидкостей зняття  $v_{K2}$  і  $v_{K3}$  призведе до виникнення різних силових та температурних деформацій в деталі, до виникнення розмірної похибки оброблення.

На рис. 1. показано також процес шліфування деталей з малим припуском на оброблення  $\Delta D_{01}$ . В момент досягнення рівня спрацювання попередньої команди швидкість зняття  $v_{B1}$  і, відповідно, пружні деформації настільки малі, що натяги у технологічній системі є недостатніми для досягнення заданого розміру деталі.

Між припуском на виходжування  $\Delta D_B$  і швидкістю зняття у процесі виходжування існує лінійна залежність:

$$\Delta D_B = T_p (v_B - v_K). \quad (1)$$

Величина постійної різання  $T_p$ , яка визначає тривалість етапу виходжування та характер перехідних процесів на врізанні, залежить від жорсткості технологічної системи та різальних властивостей круга [3]:

$$T_p = i / k_p, \quad (2)$$

де  $i$  – податливість системи (мкм/Н), величина, обернена до жорсткості системи  $i=1/j$ ;  
 $k_p$  - різальна властивість круга, (мкм/с)/Н.

Якщо оброблення виконується на жорстких верстатах з кругами, що мають високі різальні властивості, то величина  $T_p$  мінімальна і тривалість перехідних процесів невелика. На верстатах з незначною жорсткістю і кругами з низькими різальними властивостями, величина  $T_p$  досягає максимальних значень.

Як видно з формули (2), за постійної величини кінцевої швидкості зняття  $v_K$  між припуском на виходжування і швидкістю зняття існує пряма залежність [3].

Залежність, що зв'язує величину припуску на оброблення з припуском на виходжування, має вигляд:

$$\Delta D_B = T_p u \left( 1 - \frac{v_K}{u} - e^{-\frac{\Delta D_0 + v_K T_p}{u T_p}} \right), \quad (3)$$

де  $u$  – величина подачі.

Якщо параметри, що входять у (3), постійні, то залишається незмінною і величина припуску на виходжування. Зміна початкового припуску на оброблення  $\Delta D_0$  або подачі  $u$  викликає зміну кінцевої швидкості зняття припуску  $v_K$ , що призводить до виникнення розмірної похибки оброблення. Одним з методів стабілізації величини початкового припуску є проведення попереднього шліфування деталі [3].

Поверхнева твердість заготовки. Значні відхилення у твердості заготовок призводять до різного теплоутворення у деталях в процесі шліфування і, відповідно, до виникнення випадкових температурних похибок. Необхідно також враховувати, що оброблення деталей підвищеної твердості супроводжується інтенсивним зношенням шліфувального круга та погіршенням його різальних властивостей [3]. Робота з таким інструментом викликає додаткові силові та теплові деформації.

Деталі, які поступають на шліфувальний верстат після термічного оброблення, можуть мати поверхневий шар, покритий окалиною. В результаті механічного контакту з цим шаром відбувається підвищене зношення контактних наконечників вимірювального оснащення. Тому цикл шліфування необхідно планувати таким чином, щоб вимірювальні наконечники входили у контакт із деталлю лише після зняття деякого початкового шару металу, а сама поверхня не мала яскраво виражених дефектів – тріщин, сколів, раковин тощо.

Попередні теплові деформації. За умов масового виробництва заготовки на викінчувальне оброблення часто поступають безпосередньо з токарної або чорнової шліфувальної операції. Оброблення на цих операціях виконується з інтенсивними режимами різання і, відповідно, зі значним теплоутворенням. Деталі не встигають пройти процес температурної стабілізації. Залишкові температурні деформації теж можуть збільшити похибку оброблення на чистовому викінчувальному шліфуванні [5].

Похибки форми заготовки. Некруглість механічно оброблених деталей може виникнути в результаті дефектів підшипників шпинделя токарного верстату або шліфувального шпинделя та з цілого ряду інших причин. Правильність форми та діаметр є двома окремими характеристиками, але правильність форми, а точніше некруглість, виявляє практичний вплив на вимірювання діаметру та може дати хибний результат при вимірюванні [5], а отже, впливати на дійсний розмір деталі під час її виготовлення.

Під виміряним діаметром приймають “діаметр”, виміряний між парою паралельних поверхонь, наприклад, робочими поверхнями мікрометра або калібра-скоби. У деталі з трьохсторонньою огранкою (рис.2,а) виміряний діаметр становить точно 25 мм, тому можна очікувати, що вона пройде в отвір діаметром 25 мм. Фактично ж цього не відбувається: необхідно отвір діаметром 28,9 мм (рис.2,б).

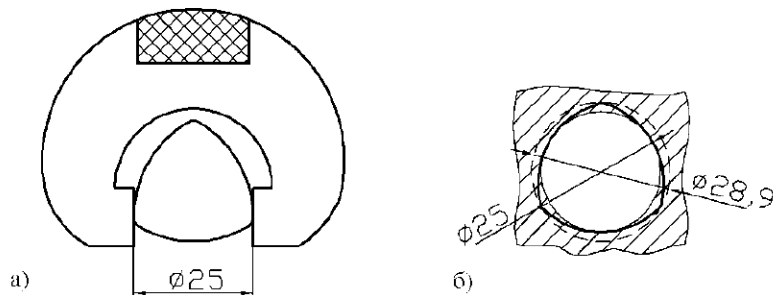


Рис.2. Схема контролю розміру вала з трьохсторонньою огранкою (а) і реального співвідношення розмірів отвору і вала (б)

Таким чином, ефективний розмір для цих двох деталей складає: 28,9 мм для вала і 21,1 мм для отвору, хоча при вимірюванні діаметр обох становить 25 мм. Подібне розходження між виміряним та дійсним розмірами деталі спостерігається за будь-якої непарної кількості граней (рис.3), тому відхилення форми деталі може суттєво впливати на її розмір, виміряний звичайним методом.

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

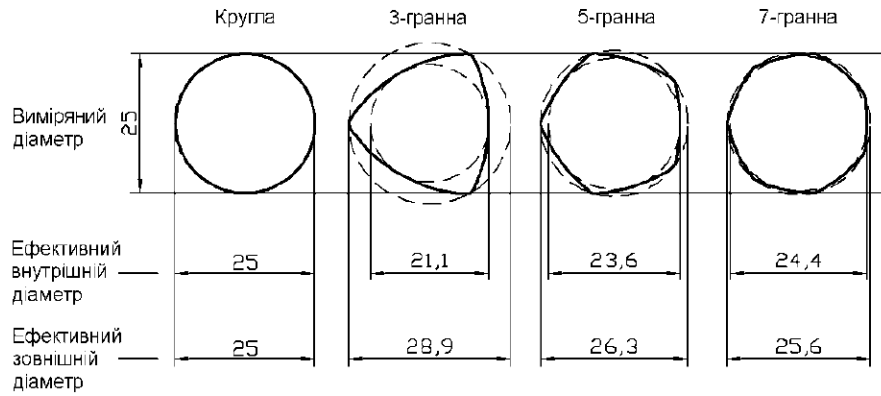


Рис.3. Схема залежності розміру деталі від правильності форми

Визначення правильності форми вимагає вимірювання непостійності – хвилястості, або виступів та впадин, і огранки, що виражається регулярно повторюваними нерівностями. Це особливо важливо для забезпечення необхідної точності, так як хвилястість та огранка є неодмінними атрибутами будь-якого верстатного оброблення.

Некруглість механічно оброблених деталей може виникнути в результаті дефектів підшипників шпинделя токарного верстату або шліфувального шпинделя та з цілого ряду інших причин.

Кругла деталь у вигляді кільця затискається в трьох- або пятикулачковому патроні для шліфування або токарної обробки. Деталь стискається, і в точках механічного контакту в матеріалі виникають підвищені напруження. І навіть при ідеально правильній обробці точінням або шліфуванням, деталь після зняття її з верстату, в результаті релаксації напружень в металі, набуває огранки з числом граней за кількістю кулачків у патроні.

Похибки форми призводять до того, що поточний розмір (радіус або діаметр) в різних точках контуру поперечного перерізу деталі неоднакові [2].

Для аналітичного подання поточного розміру (радіуса) вводять полярну систему координат, полюс якої співпадає з центром профілю поперечного перерізу деталі. У цій системі координат положення довільної точки контуру поперечного перерізу буде визначатись полярним радіусом  $\xi_m$  і полярним кутом  $\varphi_m$ . Рівняння контуру поперечного перерізу деталі, яка має елементарний вид похибки форми, можна записати у вигляді:

$$\xi_{mk}(\varphi_m) = r_{cp} + x_k \cos(k\varphi_m + \psi_k), \quad (k = 2, 3, \dots, p), \quad (4)$$

де  $r_{cp}$  – радіус середнього кола, що визначається як середнє значення функції  $\xi_{mk}(\varphi_m)$ ;  $x_k, \psi_k$  – амплітуда і фаза  $k$ -ої гармоніки, яка характеризує похибку форми.

Якщо  $k = 2$ , то другий доданок правої частини (4) відображає овальність, якщо  $k = 3$  – огранку з трьохвершинним профілем, якщо  $k = p$  – огранку з  $p$  – вершинним профілем.

Формула (4) придатна лише для розрахунку точності одиничного екземпляра деталі. Ця ж формула може бути покладена в основу аналізу точності партії деталей, які виготовляються за одним кресленням і одному технологічному процесу, що відповідає серійному їх виробництву. У цьому випадку перший доданок правої частини формули (4) можна розглядати як випадкову величину, а другий – у вигляді елементарної випадкової функції. Випадкова величина  $r_{cp}$  виражає похибку розміру, а елементарна випадкова функція  $x_k \cos(k\varphi_m + \psi_k)$  визначає похибку форми в поперечному перерізі – овальність або огранку. Аддитивна комбінація відхилень розміру та форми дає сумарну похибку поточного розміру в поперечному перерізі циліндричних поверхонь.

Змащувально-охолоджувальні рідини (ЗОР). Правильно підібраний для даного матеріалу, режиму оброблення і типу шліфувального круга хімічний склад ЗОР, що має змащувальні, охолоджувальні, миючі, проникаючі й адсорбційні властивості, дозволяє:

знизити коефіцієнт тертя зв'язки шліфкруга й абразивних зерен із поверхнею оброблюваного матеріалу;

знизити сили різання й температуру;

зменшити засалюваність круга;

зменшити зношування абразивних зерен та підвищити стійкість круга;

збільшити моментне зняття металу й питому продуктивність шліфування;

зменшити величину параметрів шорсткості обробленої поверхні;

попередити припали на шліфованій поверхні;

підвищити якість фізичного стану шліфованої поверхні – знизити величину залишкових напружень, глибину та ступінь наклепу, зберегти структуру й хімічний склад поверхневого шару.

Ефективність ЗОР необхідно враховувати під час побудови циклу оброблення [6]. Потік охолоджувальної рідини повинен забезпечити максимальний відвід тепла та мінімальні теплові деформації деталі. ЗОР повинна поступати не лише в зону різання, але й на всю поверхню деталі. Особливо важливо дотримуватись цієї вимоги, коли обробляються тонкостінні або несиметричні деталі.

Важливе значення під час роботи відіграє якість очищення ЗОР. Потрапляння твердих частинок погіршує якість оброблюваної поверхні. Ці частини можуть потрапляти під наконечник вимірювального перетворювача за контактних вимірювань, що призводить до спотворення результатів контролю. Це явище особливо проявляється, коли використовуються прилади з невеликим вимірювальним зусиллям.

Шліфувальні круги. До абразивного інструменту, що використовується на шліфувальних верстатах, висуваються досить високі й різносторонні вимоги. Від робочих характеристик і властивостей круга залежить якість і економічна ефективність процесу оброблення [4].

На графіку (рис.4) наведено результати зміни відхилень розмірів валів, прошліфованих методом різання, залежно від затуплення круга.

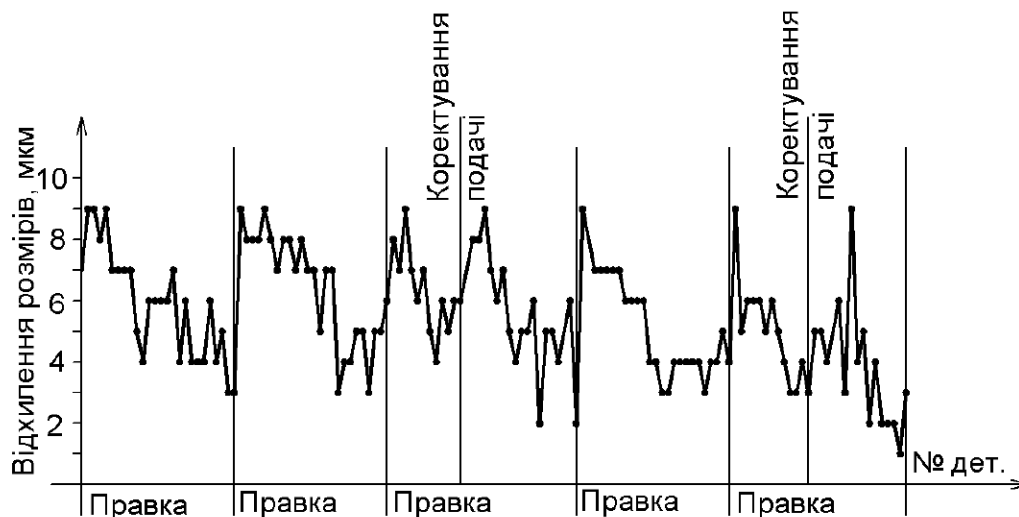


Рис.4. Розсіювання розмірів валів залежно від затуплення круга

Для високоточного шліфування цикл оброблення будується таким чином, щоб на момент закінчення виходжування або доводочної подачі силові й теплові деформації в системі були мінімальними, швидкість зміни розміру оброблюваної деталі також була мінімальною і залишалась незмінною від однієї деталі до іншої. В іншому випадку різниця в силових і теплових деформаціях, а, відповідно, й у швидкості зміни розміру, призведе до збільшення похибки оброблення.

З графіка (рис.4) видно, що характер зміни відхилень розмірів між правками, як правило, підпорядковується певному закону. Після правки розміри валів найбільші, а зі зміною різальної властивості круга, зменшуються. Відновлення різальної властивості круга правкою зменшує величину похибки оброблення.

Внутрішньо шліфувальні верстати часто працюють за циклом, у якому останній етап шліфування здійснюється часовим виходжуванням. Команда на виходжування подається приладом активного контролю розміру. За цією командою припиняється подача і включається реле часу, яке через задану часову витримку видає команду на відведення круга. Зміна розміру за час виходжування залежить як від різальних властивостей круга, так і від інтенсивності зняття металу перед включенням виходжування і може коливатись у досить великих межах. Циклу шліфування з часовим виходжуванням властиві значні похибки оброблення.

**Висновки.** Похибка оброблення деталей на шліфувальному верстаті, з системою управління точністю оброблення, складається з наступних складових:

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

а) похибки автоматизованих засобів активного контролю, які включають похибку спрацювання команд управління, початкове налагодження на заданий розмір і зміщення налагодження в часі;

б) похибки виконання кінцевої команди виконавчими механізмами верстату, що визначається часом відводу різального інструменту від поверхні деталі за командою на припинення оброблення та нестабільністю цього часу;

в) похибки, викликані технологічними чинниками, а саме: якістю та властивостями різального інструменту та охолоджувальної рідини, параметрами заготовок – величиною припуску, розмірами й формою базових поверхонь тощо, режимами оброблення і структурою циклу оброблення, які призводять до нестабільності швидкості знімання припуску, коливань температури оброблюваних деталей, вібраціями механічної системи верстат-пристрій-інструмент-деталь тощо.

Технічні та метрологічні характеристики шліфувальних верстатів відіграють вирішальну роль у забезпеченні розмірної точності в процесі виготовлення кілець підшипників. Але покращити ці характеристики або якимось чином вплинути на них під час експлуатації верстатів не можна, а тому необхідно виконувати періодичні ремонти та технічне діагностування верстатів на відповідність паспортним даним. Для аналізу та планування точнісних параметрів технологічного процесу слід враховувати максимальні похибки, які можуть бути внесені обладнанням.

Важливе значення у формуванні розмірних параметрів відіграють призначені режими різання та їх дотримання у технологічному процесі та під час налагодження шліфувального обладнання.

Розмірні відхилення можуть бути викликані не лише безпосереднім впливом елементів процесу оброблення, але й наслідком побічних чинників, наприклад, дефектами форми оброблюваних поверхонь – некруглості, хвилястості, огранки тощо.

Важливий вплив на кінцевий результат мають параметри заготовки – форма поверхонь і, особливо, величина та постійність припуску, а також тривалість і послідовність переходів на викінчувальній операції – врізне чорнове й чистове шліфування, виходжування.

### Інформаційні джерела

1. Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении / Под ред. Г.Д.Бурдуна и С.С.Волосова. М.: Машиностроение. 1975. – 276 с.

2. Марчук В.І., Михалевич В.Т. Відхилення форми поверхонь та їх вплив на розмірну точність тіл обертання// Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка") – Луцьк: Луцький державний технічний університет, - 2008. Випуск 23. – с.197-202.

3. Левин М.А. Прогнозирование параметров качества при механической обработке деталей. – Севастополь: НТО им. А.Н.Крылова, 1984. – 57 с.

4. Филимонов Л.Н. Стойкость шлифовальных кругов. – Л.: Машиностроение, 1973. – 134 с.

5. Марчук В.І., Михалевич В.Т. Корекція деформаційних похибок при управлінні точністю механічної обробки // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка") – Луцьк: Луцький державний технічний університет, - 2000. Випуск 7. – с.143с – 145.

6. . Худобин Л.В. Смазочно-охлаждающие средства, применяемые при шлифовании. М.: Машиностроение, 1971. – 211 с.

**Марчук В.И., д.т.н, Марчук И.В., к.т.н., Кузьмин И.О., Олексин М.В.**

Луцкий национальный технический университет

### **ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ШЛИФОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ**

*Точность изготовления деталей подшипников на станках финишной обработки с использованием систем активного контроля в значительной степени зависит от параметров заготовки, поступающей на обработку. Для стабилизации величины припуска целесообразно вводит в технологический процесс операцию предварительного шлифования.*

*Установлено, что шлифовальный инструмент и вспомогательные материалы при определенных обстоятельствах могут существенно влиять на устойчивость протекания технологического процесса и тем самым создавать дополнительные условия возникновения размерных погрешностей. С целью уменьшения температурных деформаций в процессе*

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

*обработки детали, границу перехода из режима врезного шлифования на режим выхаживания, следует устанавливать индивидуально для каждого типоразмера колец подшипников. Существенно улучшить точность и стабильность процесса шлифования на предыдущих и финишных операциях позволяет применение технических средств для операционного размерного активного контроля, особенно приборов с двухконтактным измерительным оборудованием и автоматическим управлением процессом шлифовки по результатам активного контроля с использованием обратных связей.*

**Ключевые слова:** станок, деталь, поверхность, точность, шлифовка, заготовка, кольцо, качество.

**V. Marchuk., I. Marchuk, I. Kuzmin, M. Oleksin**

Lutsk National Technical University

### **ORIGIN OF DEVELOPMENTS IN AUTOMATED TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF SURFACE SURFACE**

*The precision of the manufacture of bearing parts on the machines for finishing work with the use of active control systems depends to a large extent on the parameters of the workpiece entering the machining. It is advisable to introduce a preliminary grinding operation in the technological process to stabilize the size of the sizing. It has been established that the grinding tool and auxiliary materials in certain circumstances can significantly affect the continuity of the process flow, and thereby create additional conditions for the appearance of dimensional errors. In order to reduce the temperature deformations during the processing of the part, the transition threshold from the grinding mode to the mode of emergence should be set individually for each standard size of the rings of bearings. Substantially improve the accuracy and stability of the grinding process in the previous and final operations allows the use of technical tools for operational dimensional active control, and especially devices with two-contact measuring equipment and automatic control of the grinding process based on the results of active control using feedback.*

**Key words:** machine, detail, surface, precision, grinding, workpiece, ring, quality.