

UDC 621.822:681

Marchuk V., DThSc., Prof
Hrynjuk S., Assistant
Hrysjuk I.

Lutsk National Technical University / Ukraine

AN ANALYSIS OF INTERCOMMUNICATIONS OF TECHNOLOGICAL FACTORS IS WITH INDEXES OF QUALITY OF POLISHING OPERATIONS

АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ З ПОКАЗНИКАМИ ЯКОСТІ ШЛІФУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

Abstract: Ensuring competitiveness of products bearing capacity of the industry both in domestic and international markets due to the increase of quality of products manufactured.

Exploiting reliability bearings and their production costs are largely determined by finish grinding bearing rings, in which mostly formed dimensional accuracy, roughness and waviness working and base surfaces of revolution.

Stability as grinding bearing parts is achieved by increasing the number of grinding operations, but it is necessary to reduce stress mode processing.

Keywords: grinding, roughness, waviness, depth of cut, bearing, allowance, training, fluctuations.

INTRODUCTION

For large series and mass production of bearings have high cutting conditions, a relatively small allowance for grinding process, determining the accuracy and rigidity of grinding machines, the quality of abrasive tools and process fluids, leading to grinding in unsteady modes when cutting conditions continuously change over time and the allowance without reaching constant values. In managing the process of grinding parts bearing as output and controlled variables taken into consideration technological parameters, namely cutting force, power, cutting speed, feed and depth of cut [3]. As the controlled variable in the process of grinding parts bearings taken a parameter that most affects the treatment process quality indicators [2].

Grinding process requires careful analysis and treatment of conditions accompanied by intense power and thermal processes in the cutting zone. Changing conditions result in error processing the values parameters accuracy and roughness of polished surfaces [4].

The quality of the polished parts is evaluated by a number of factors: the size of accuracy, precision geometry parts, surface roughness, internal tension and other parameters [5]. However, to find the relationship of any controlled quantity indicators are all problematic. Consider the factors that affect the quality of grinding

Анотація: Забезпечення конкурентоспроможності продукції підшипникової промисловості як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку пов'язане з підвищенням якості продукції, яка виготовляється.

Експлуатаційна надійність підшипників і витрати на їх виготовлення в значній мірі визначаються шліфувальною обробкою кілець підшипників, в ході якої в основному формуються точність розмірів, шорсткість та хвилястість робочих та базових поверхонь обертання.

Стабільність якості шліфування деталей підшипників досягається шляхом збільшення кількості шліфувальних операцій, але при цьому необхідно зменшити напруження режиму оброблення.

Ключові слова: шліфування, шорсткість, хвилястість, глибина різання, підшипник, припуск, загартування, колювання.

ВСТУП

Для багатосерійного і масового виробництва підшипників характерні високі режими різання, відносно малі припуски на шліфувальну обробку, що визначають точність і жорсткість шліфувальних верстатів, якість абразивного інструменту і технологічних рідин, призводять до шліфування в нестационарних режимах, коли режими різання безперервно змінюються в часі і по припуску, не досягаючи сталих значень. При управлінні технологічним процесом шліфування деталей підшипників в якості вихідних і регульованих величин враховуються технологічні параметри, а саме: сила різання, потужність, швидкість різання, подача та глибина різання [3]. В якості регульованої величини, в процесі шліфування деталей підшипників, приймається такий параметр, який найбільш впливає на якісні показники процесу оброблення [2].

Процес шліфування вимагає ретельного аналізу умов оброблення і супроводжується інтенсивними силовими і тепловими процесами в зоні різання. Зміна умов оброблення призводить до похибок значень параметрів точності і шорсткості шліфованих поверхонь [4].

Якість шліфованих деталей оцінюється цілим рядом показників: точністю розмірів, точністю геометричної форми деталі, шорсткістю поверхні, внутрішніми напруженнями напруженнями та іншими

bearing parts (Fig. 1).

параметрами [5]. Однак, знайти взаємозв'язки будь-якої регульованої величини з усіма показниками є проблематично. Розглянемо, які фактори впливають на якість шліфування деталей підшипників (рис. 1).

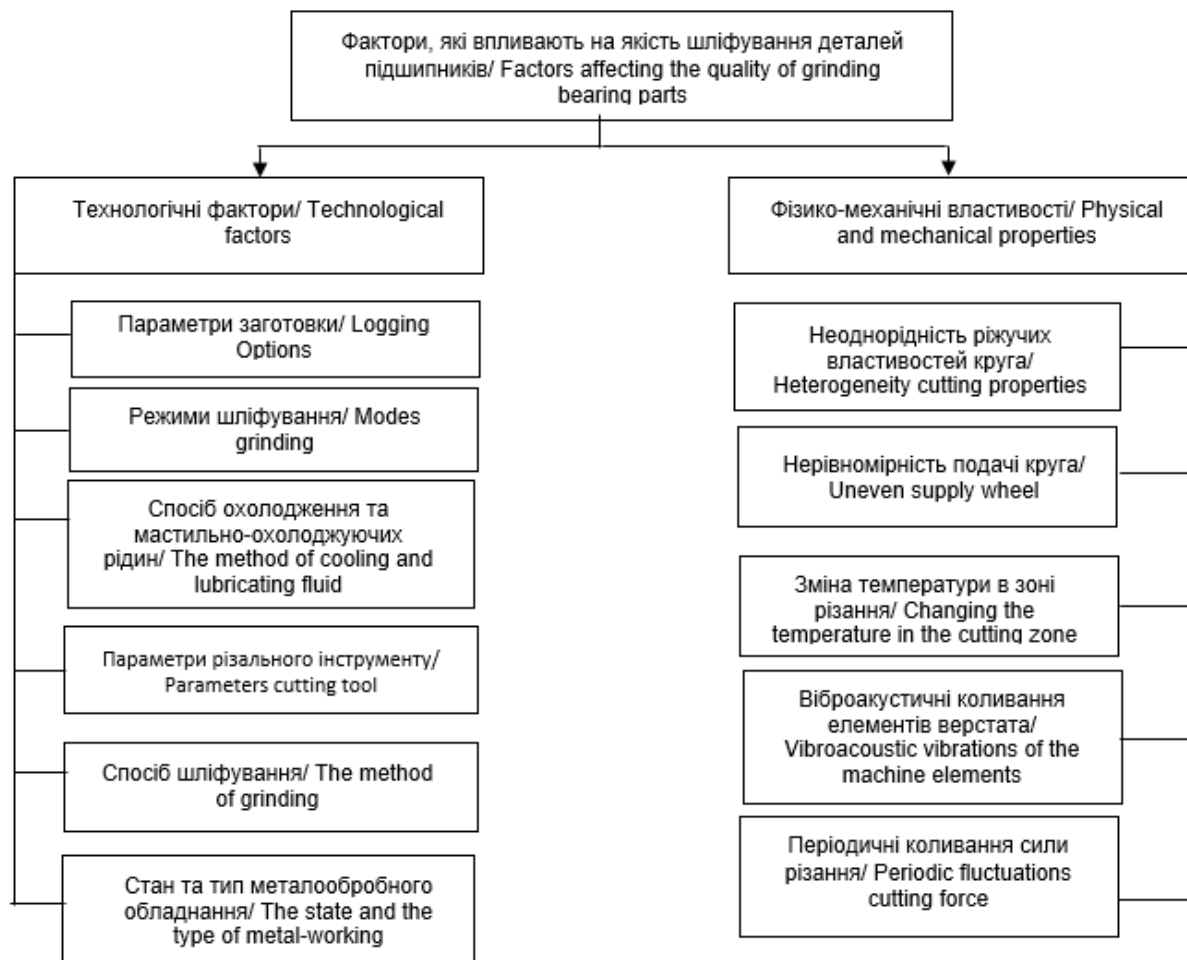


Fig. 1 - Factors affecting the quality of grinding, *authoros' / Чинники, які впливають на якість шліфування авторська розробка*

PROBLEM STATEMENT

One of the main tasks of Manufacturing Engineering is to provide a given quality details at a certain production activities at the lowest cost. The main indicator of quality ring bearings are precision bearing surfaces, defined by the values of deviations macro- and microheometric error handling. Other quality indicators are known to include: the state of the surface layer of the surface, the physical and mechanical properties of parts and material compliance with specified requirements [5].

To ensure quality rings, on which depends largely on operational reliability of bearings, the processing on modern grinding machines must consider not only famous methods of mechanical engineering technology, and methods and the theory of automatic control. Last enable management to effectively implement the accuracy of feedback from active control devices, including several information parameters and process parameters to consider transience grinding.

Numerous studies domestic and foreign authors in engineering and manufacturing experience found a whole range of factors that affect the quality of the polished

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одним з основних завдань технології машинобудування є забезпечення заданої якості деталей при певній виробничій діяльності з найменшими витратами. Головним показником якості кілець підшипників є точність поверхонь кочення, яка визначається значеннями відхилень макро- і мікрогеометричної похибки обробки. До інших показників якості, як відомо, відносять: стан поверхневого шару поверхні, фізико-механічні характеристики деталей та відповідність матеріалу встановленим вимогам [5].

Для забезпечення якості кілець, від якої в значній мірі залежить експлуатаційна надійність підшипників, при обробці на сучасних шліфувальних автоматах необхідно враховувати не тільки досить відомі методи технології машинобудування, а й методи теорії автоматичного управління. Останні дають можливість ефективно реалізовувати управління точністю за принципом: зворотного зв'язку на основі приладів активного контролю, в тому числі з кількома

surface. In the works of Yakimov [7], Lebedev [2], Marchuk [5], Petrakov [6] established basic laws of formation of the surface layer in view of thermal processes in the cutting zone, leading to the formation of various defects.

These work considered important patterns forming macro - and microgeometric surface. management, connected in particular with the transience processing modes require more detailed analysis.

MAIN ARTICLE

To describe the dynamics of non-stationary processes, characterized by continuously variable cutting mode, you must know the dependence of cutting forces on character interaction tools and the details We know a number of methods for determining the cutting force during grinding, one of which is as follows [1]:

$$F_r = C_{fr} \cdot V_k^{x_1} \cdot V_g^{x_2} \cdot S^{x_3} \cdot t^{x_4} \quad (1)$$

де C_{fr} - coefficient that takes into account the physical and mechanical properties of the material of the bearing parts,

V_k – circle speed,

V_g – speed of the part,

S – innings, mm,

t – cutting depth, mm,

x_1, x_2, x_3 – coefficients for different materials.

Such dependence are based on experimental studies coefficients and exponents vary widely. Note that between the cutting depth and power of cutting power dependence exists, and the grinding bearings of different steels.

The radial cutting force imaginary abrasive grain unit length of the cutting edge is [2]:

$$F_{rad.} = \left(\frac{\sqrt{3.25} \cdot l_1 \sin \alpha}{\sin \alpha_1} + 0.5 \cdot l_2 \right) \cdot \tau_1, \quad (2)$$

l_1 - the average grain isolated slice thickness across the width of land wear,

α - angle between resultant force vector and the cutting speed,

α_1 - angle shear,

l_2 - the average length of the width of wear,

τ_1 - the average tangential stress.

Tangential cutting force imaginary component of the grain is determined by:

інформаційними параметрами, а також врахувати нестационарність параметрів процесу шліфування.

Численні дослідження вітчизняних і зарубіжних авторів в галузі машинобудування, а також виробничого досвіду виявили практично весь спектр чинників, що впливають на якість шліфованої поверхні. У роботах О.В. Якімова [7], В.Г. Лебедева [2], В.І. Марчука [5], Ю. Петракова [6] встановлено основні закономірності формування поверхневого шару з урахуванням теплових процесів в зоні різання, що призводять до утворення різних дефектів.

У цих роботах розглянуті важливі закономірності формування макро - і мікрогеометричних параметрів точності шліфування поверхні і вплив на них швидкості обертання круга. Особливості процесу шліфування кілець як об'єкта управління, пов'язані, зокрема, з нестационарністю режимів оброблення, вимагають більш детального їх аналізу.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Для опису динаміки нестационарних процесів, які характеризуються безперервно змінними режимами різання, необхідно знати залежність сил різання від характеру взаємодії інструментів і оброблюваної деталі. Відомо ряд методів визначення сили різання в процесі шліфування, одна з яких має наступний вигляд [1]:

де C_{fr} - коефіцієнт, який враховує фізико-механічні властивості матеріалу деталей підшипника,

V_k – швидкість обертання круга,

V_g – швидкість обертання деталі,

S – подача, мм,

t – глибина різання, мм,

x_1, x_2, x_3 – коефіцієнти для різних матеріалів.

Такі залежності будуються на основі експериментальних досліджень, коефіцієнти і показники степеня змінюються в широких межах. Відзначимо, що між глибиною різання і силою різання існує степенева залежність, причому при шліфуванні підшипників різних сталей.

Радіальна сила різання уявним абразивним зерном з одичною довжиною ріжучої крайки рівне [2]:

де l_1 - середня товщина зрізу одичним зерном по ширині ділянки зносу,

α - кут між рівнодіючої сили і вектором швидкості різання,

α_1 - кут зсуву,

l_2 - середня по ширині довжина ділянки зносу,

τ_1 - середня дотична напруження.

Тангенціальна складова сили різання уявним зерном визначається:

$$F_{tan.} = \left(\frac{\sqrt{3.25} \cdot l_1 \cos \alpha}{\sin \alpha} + 0.5 \cdot \mu \cdot l_p \right) \cdot \tau_1 \quad (3)$$

l_1 - the average grain isolated slice thickness across the width of land wear,

α - angle between resultant force vector and the cutting speed,

α_1 - angle shear,

l_p - the average length of the width of wear,

τ_1 - the average tangential stress.

μ - coefficient of friction of a circle on the workpiece.

The downside expressions (1) and (3) for a description of transients is that force dependence on the thickness of the cut given in implicit form, as the angle between the resultant vector force and cutting speed depends on the thickness of the slice.

Cutting forces that occur on the abrasive wheel, which derived from probability-theoretic techniques allow for the fact that not all grains that are working on - disk surface in contact with the material. The radial cutting force components calculated by summing the radial forces acting on individual abrasive grains.

Thus, analytical and experimental curves indicate power dependence of cutting forces on the depth of grinding exponent less than unity.

According to work [5] depending on the processing modes that determine the intensity of the heat in the cutting zone and duration of heat exposure of the grinding wheel on the workpieces surface, there are two main types of structural changes in the depth of the surface layer in grinding detail class bodies of revolution:

- upper layer of secondary hardening austenite - martensite, is allotted a layer of metal (troostite and martensite);

- the top layer of the second metal allotted to the structure and martensite troostite goes to the structure of the base metal layer by hardening the structure of secondary austenite - martensite, sometimes secondary hardening layer there.

Then heat source power dependence of the depth of cut is given by:

де q_1 - const,
 $n > 0.35$.

Moreover, the rate of thermal process increases with depth cutting, if cutting forces increase depending on the depth grinding is the power of greater than 0.65. Otherwise, the rate of thermal process decreases.

Thus, the depth of structural transformations in general, linked to dependence grinding depth:

де l_1 - середня товщина зрізу одиничним зерном по ширині ділянки зносу,

α - кут між рівнодіючої сили і вектором швидкості різання,

α_1 - кут зсуву,

l_p - середня по ширині довжина ділянки зносу,

τ_1 - середня дотична напруження,

μ - коефіцієнт тертя круга по оброблюваній деталі.

Недоліком виразів (1) і (3) стосовно опису перехідних процесів є те, що залежність сил від товщини зрізу дана в неявній формі, тому що кут між рівнодіючою силою і вектором швидкості різання залежить від товщини зрізу.

Сили різання, які виникають на абразивному крузі, що отримані на основі теоретико-ймовірнісних методів, дозволяють врахувати те, що не всі зерна, що знаходяться на робочій поверхні круга контактують з оброблюваним матеріалом. Радіальна сила різання обчислюється підсумовуванням радіальних складових сил, які діють на окремі абразивні зерна.

Таким чином, аналітичні та експериментальні залежності вказують на степеневу залежність сил різання від глибини шліфування з показником степеня менше одиниці.

За даними роботи [5] в залежності від режимів оброблення, які визначають інтенсивність виділення тепла в зоні різання і тривалість теплового впливу шліфувального круга на поверхні заготовки, можна виділити два основних види структурних перетворень по глибині поверхневого шару при шліфуванні деталей класу тіл обертання:

- верхній шар вторинного загартування аустеніто - мартенсит, лежить на шарі відпущеного металу (троостіт і мартенсит);

- верхній шар вдруге відпущеного металу зі структурою трооститу і мартенситу переходить до структури основного металу через шар вторинного гарту зі структурою аустеніто - мартенситу, іноді шару вторинного загартування немає. Тоді залежність потужності теплового джерела від глибини різання визначається виразом:

$$p = q_1 \cdot l^n \quad (4)$$

де q_1 - константа,
 $n > 0.35$.

Причому швидкість теплового процесу зростає з ростом глибини різання, якщо зростання сили різання в залежності від глибини шліфування відбувається в степені більшому, ніж 0.65. У протилежному випадку швидкість теплового процесу зменшується. Таким чином, глибина структурних перетворень в загальному випадку пов'язана з глибиною шліфування залежністю:

$$h = C_2 \cdot t^a \quad (5)$$

C_2 - coefficient of proportionality,
 t - grinding depth,
 a - exponent.

To describe the unsteady regimes bearing parts processing is necessary to consider dependency allowance for handling and processing time on the rigidity of the machine.

In [5] allowance and time for individual processing steps discussed in the assumption of the nonlinear dependence of the rigidity of technological system of cutting forces during grinding, and the rigidity of the machine is defined as follows:

$$j = kh^\beta$$

де j – rigidity,
 h – tension,
 $\beta = 1$ assumptions made.
 Then, allowance for nursing:

де C_2 - коефіцієнт пропорційності,
 t - глибина шліфування,
 a - показник ступеня.

Для опису нестаціонарних режимів оброблення деталей підшипників необхідно розглянути залежність припуску на оброблення і часу оброблення від жорсткості верстата.

В роботі [5] припуск і час на окремі етапи обробки розглянуто в припущенні про нелінійну залежність жорсткості технологічної системи від сил різання під час шліфування, при цьому жорсткість верстата визначається наступним чином:

$$P_{\text{вих.}} = \frac{V_0 T_0}{\gamma} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_0} \right)^\gamma \right] \quad (6)$$

$$\gamma = \frac{1}{\beta+1}; T_0 = \frac{h_0}{V_0}$$

де V_0 – force of cutting,
 h_0 – elastic deformation,
 T_0 – processing time.
 and incubation time:

де j - жорсткість,
 h – натяг,
 $\beta = 1$ прийняте допущення.
 Тоді, припуск на виходжування:

де V_0 – сила різання,
 h_0 – пружна деформація,
 T_0 – час обробки.
 а час виходжування:

$$t_{\text{вих.}} = \frac{T_0}{\beta\gamma} \left[\left(\frac{V_0}{V_3} \right)^{\beta\gamma} - 1 \right] \quad (7)$$

де V_0 – force of cutting,
 T_0 – processing time.

The value of the time constant T_0 determine the test – cycle $T_0 = \frac{h_0}{V_0^n}$ and used to calculate the fair allowance for the party details, allowance is adjusted on the results of the processing every detail. Similarly, allowance is determined by time and other processing steps. It is shown that the nonlinear dependence of the strain of cutting forces significantly affect the process parameters.

It is necessary to assess the impact of the removal rate allowance for precision machining and surface roughness.

It is known that the mean square error handling due to instability removal allowance rate at the date of processing is:

де V_0 – сила різання,
 T_0 – час обробки.

Значення постійної часу T_0 визначають в тест – циклі $T_0 = \frac{h_0}{V_0^n}$ і використовують для розрахунку чистового припуску для партії деталей, припуск коригується за результатами обробки кожної деталі. Аналогічно визначається припуск і час для інших етапів обробки. Показано, що нелінійна залежність величини деформацій від сил різання істотно впливає на параметри процесу.

Необхідно оцінити також вплив швидкості зняття припуску на точність обробки і шорсткості поверхні.

Відомо, що середня квадратична похибка обробки, обумовлена нестабільністю швидкості зняття припуску на момент припинення обробки, дорівнює:

$$\sigma = \sqrt{(\bar{t}_c \cdot \sigma_{V_k})^2 + (\bar{V}_k \cdot \sigma_{t_c})^2} \quad (8)$$

\bar{t}_c - average response time allotment mechanism of the grinding wheel,

σ_{V_k} - standard deviation removal allowance rate at the time of termination processing,

\bar{V}_k - average speed removal allowance at the time of termination processing,

σ_{t_c} - mean square deviation of the time of operation of the circle withdrawal mechanism.

Significant impact on the transition process and the results provide grinding fluctuations in the "tool - detail." The process leads to fluctuations:

- increased waviness of the machined surface;
- the heterogeneity of the surface roughness;
- the occurrence of structural changes in the surface layer,

Under transient data affecting the quality of the surface layer of the tracks bearing rings leads to a decrease in the durability of bearings.

In accordance with the foregoing, the problem of quality and productivity grinding bearing rings on the machines - the machines can be represented as a circuit shown in Fig. 2.

Internal and external grinding characteristic building multi working cycle accelerated filing, roughing and finishing feeding, nursing and edit circle. It should be noted that depending on the specific conditions of processing construction duty cycle can vary. The main criterion for optimizing the operating cycle is to ensure stable performance as surface, polished with minimal time for its processing [5].

де \bar{t}_c - середній час спрацьовування механізму відведення шліфовального круга,

σ_{V_k} - середнє квадратичне відхилення швидкості зняття припуску в момент припинення обробки,

\bar{V}_k - середня швидкість зняття припуску в момент припинення обробки,

σ_{t_c} - середнє квадратичне відхилення часу спрацьовування механізму відведення круга.

Істотний вплив на перехідні процеси і результати шліфування надають коливання в системі «інструмент – деталь». Процес коливання призводить до:

- підвищення хвилястості обробленої поверхні;
- до неоднорідності шорсткості поверхні;
- до появи структурних змін в поверхневому шарі.

Відповідно дані перехідні процеси впливають на якість поверхневого шару доріжок кочення кілець, що призводить, до зниження довговічності підшипників.

У відповідність з вищевикладеним, завдання управління якістю та продуктивністю шліфування кілець підшипників на верстатах - автоматах, може бути представлена у вигляді схеми, наведеної на рис. 2.

Внутрішнє і зовнішнє шліфування характерне побудовою багатоступінчастого робочого циклу: прискорена подача, чорнова і чистова подачі, виходжування та правка круга. Слід зазначити, що в залежності від конкретних умов обробки побудова робочого циклу може змінюватися. Основним критерієм оптимізації робочого циклу є забезпечення стабільних показників якості поверхні, що шліфується при мінімальних витратах часу на її обробку [5].

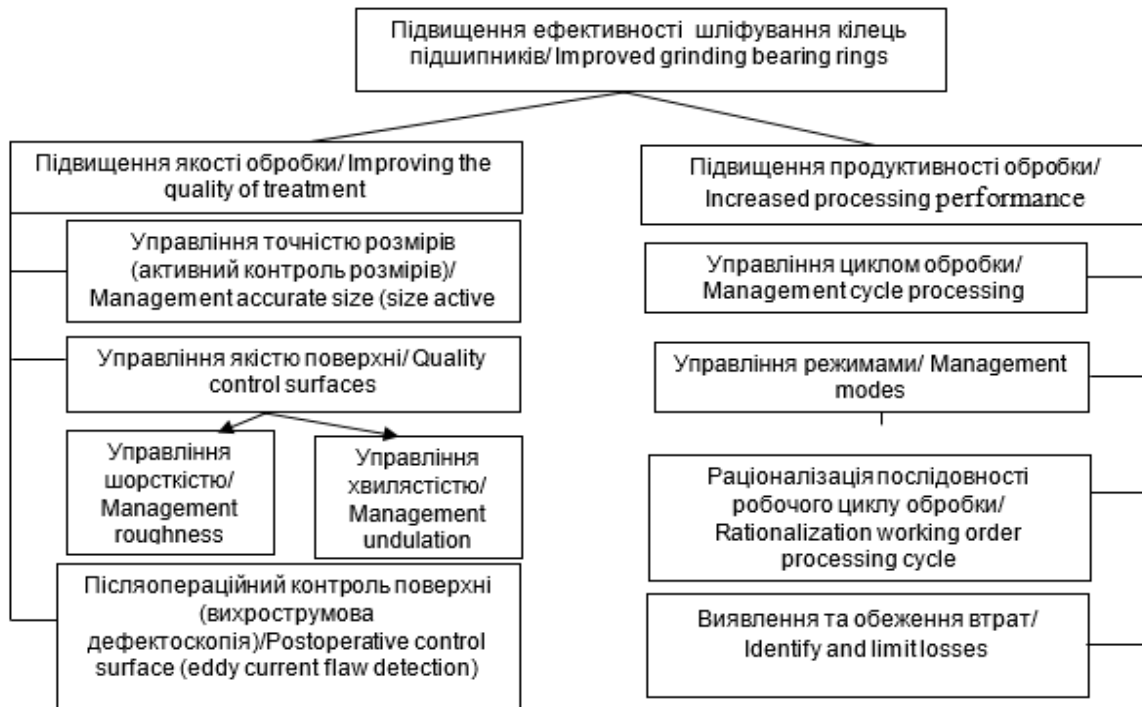


Fig.2 - Scheme of control accuracy and productivity grinding bearing rings, *authoros'* /Схема управління точністю та продуктивністю шліфування кілець підшипників, авторська розробка

The research shows that improving the quality and productivity of the grinding surfaces of rolling bearing rings is achieved through the use of combined management, including the management of dimensional accuracy and quality of the surface layer, and management components processing cycle.

In all the above cases, the important measurement accuracy of this allowance and other parameters in processing, especially in the indirect measurement of such elastic deformation of the technological system to speed removal allowance.

CONCLUSIONS

The analysis of scientific literature, to set the following:

- dependence using to calculate the grinding forces indicate a non-linear relationship with depth grinding force and grinding the elastic deformation of the technological system, said non linearity has a significant impact on the transient cutting conditions arising in the technological system with a non-uniform change in the feed;
- means automatic distribution of feed rate on allowance (active control devices size), effectively reducing the impact of conditions in the grinding processing results, but do not take into account existing factors, so control is based on the least favorable or most likely a combination of processing conditions. Accordingly, this leads to cost or faulty processing.

REFERENCES

- [1] Gorbunov, V.V. (1999). *Improvement of the technology of grinding bearing rings by active control of the set of parameters of non-stationary processing modes*. Dissertatoin Ph.D. in Engineering: Saratov.
- [2] Lebedev, V.G. (1991). *Technological Fundamentals of Quality Control rpoверхnostno layer at grinding*. Doctoral dissertation. Retrieved from <https://www.elibrary.ru/>
- [3] Marchuk, V.I. (2003). *Influence of technological factors on the performance roller*. Scientific notes: Interuniversity collection (in "Mechanical Engineering") Lutsk LDTU, vol. 12, 179-184.
- [4] Marchuk, V.I. (2003). *On the influence of structural and technological factors on the quality parameters of roller bearings surfaces*. Bulletin of the Zhytomyr State Technological University, vol. 2(26),106-108.
- [5] Marchuk, V.I. (2004). *The technological basis for quality working surfaces rings roller*. Doctoral dissertation: Lutsk.
- [6] Petrakov, Y.V.(1996). *Technological fundamentals of process control processing complex surfaces*. Doctoral dissertation: Kyiv.

Проведені дослідження показують, що підвищення якості та продуктивності шліфування поверхонь кочення кілець підшипників досягається

за допомогою використання комбінованого управління, що включає управління точністю розміру і якістю поверхневого шару, а також управління складовими циклу оброблення.

У всіх розглянутих випадках важливе значення має точність вимірювання поточного припуску і інших параметрів в процесі обробки, тим більше при непрямому вимірі, наприклад пружною деформацією технологічної системи по швидкості видалення припуску.

ВИСНОВКИ

Аналіз науково-технічної літератури, дозволяє встановити наступне:

- залежності, які використовують для розрахунку сил шліфування, вказують на нелінійний зв'язок сили шліфування з глибиною шліфування і пружною деформацією технологічної системи, зазначена не лінійність робить істотний вплив на нестационарні режими різання, що виникають в технологічній системі при нерівномірній зміні подач;
- засоби автоматичного розподілу швидкостей подач по припуску (прилади активного контролю розмірів), ефективно знижують вплив умов шліфування на результати оброблення, але не враховують існуючих факторів, тому управління здійснюється виходячи з найменш сприятливого або найбільш ймовірного поєднання умов оброблення. Відповідно це приводить до витрат, або до дефектів оброблення.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1] Горбунов В.В. Совершенствование технологии шлифования колец подшипников активным контролем комплекса параметров нестационарных режимов обработки: дис. кандидата тех. наук: 05.02.08 / Горбунов В.В. – Саратов, 1999. – 148 с.
- [2] Лебедев В.Г. Технологические основы управления качеством поверхностного слоя при шлифовании: дис. доктора тех. наук: 05.02.08 / Лебедев В.Г. – Одесса, 1991. – 478 с.
- [3] Марчук В.І. Вплив технологічних чинників на експлуатаційні характеристики роликотідшипників // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом "Інженерна механіка") Луцького державного технічного університету. 2003. Вип. 12. С. 179-184.
- [4] Марчук В.І. Про вплив конструктивно-технологічних чинників на параметри якості робочих поверхонь кілець роликотідшипників // Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2003. Вип. 2(26). Том II. С. 106-108.
- [5] Марчук В.І. Технологічні основи забезпечення якості робочих поверхонь кілець роликотідшипників: дис. доктора тех. наук: 05.02.08 / Марчук В.І. – Луцьк,

- [7] Yakimov, A.V. & Novikov, F.V. (1996). *High-performance grinding*. Kyiv: INTM.
- [8] Yakimov, A.V. (1975). *Optimize the grinding process*. Moscow: Mechanical engineering.
- [9] Lizhericin, P.I. (1971). *Technological heredity and operational properties of polished parts*. Minsk: science and technology.
- [10] Oczos, K (2003). *Struktura geometryczna powierzchni*. Rzeszow. 2004. – 553 с.
- [6] Петраков Ю.В. Технологічні основи управління процесами обробки складних поверхонь: дис. доктора тех. наук: 05.02.08 / Петраков Ю.В. – Київ, 1996. – 20 – 30 с.
- [7] Якимов О.В. Високопродуктивне шліфування./ Якимов О.В., Новиков Ф.В. Київ.: ІНТМ, 1995. 180 с.
- [8] Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 176 с.
- [9] Ящерицин П.И. Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей. Минск: наука и техника, 1971. 212 с.
- [10] Oczos K. Struktura geometryczna powierzchni / K. Oczos, V. Luibimov. Rzeszow, 2003. 200 p.