

DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-11>

УДК 621.923

¹**А.О. СКОРКІН**, кандидат технічних наук

доцент кафедри машинобудування транспорту і зварювання

e-mail: Andromeda862@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-8341>

¹**О.Л. КОНДРАТЮК**, кандидат технічних наук

доцент кафедри машинобудування транспорту і зварювання

e-mail: kondr20071@i.ua

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3263-0483>

¹**В.О. СКОРКІНА**,

асистент кафедри машинобудування транспорту і зварювання

e-mail: Skorkinava@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0411-1047>

²**В.В. СТАРЧЕНКО**,

аспірант кафедри інтегровані технології машинобудування

e-mail: Vitalii.Starchenko@mit.khpi.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3495-4212>

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

вул. Кирпичова 2, м. Харків, 61002, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ПЛОСКОГО ШЛІФУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЗАГАРТОВАНИХ ЛЕГОВАНИХ СТАЛЕЙ.

Шліфування є одним з основних методів механічної обробки, що визначають якість виготовлення деталей. Тому підвищення ефективності шліфування належать до пріоритетних завдань машинобудування.

Одним із різновидів підшипників кочення є кульковий або роликовий підшипник кочення для лінійного переміщення. Значні труднощі виникають під час обробки заготовок малої жорсткості напрямних лінійних підшипників. При закріпленні та обробці заготовок напрямних лінійних підшипників виникають пружні деформації. Розмір даних деформацій може перевищувати допуски на геометричні параметри обробленої поверхні. Після шліфування та зняття магнітного поля столу верстата, пружні деформації можуть повертати певну величину відхилення геометричним параметрам, які можуть перевищувати задані вимоги. Технологічні способи їх усунення значно збільшують час обробки та вартість операції.

При шліфуванні деталей малої жорсткості необхідно враховувати пружні деформації заготовки, що виникають від дії магнітного поля стола верстата та зусиль різання. Врахування пружних деформацій дозволить гарантовано досягти геометричну точність деталі, знизити тимчасові та вартісні витрати на обробку. Однак, це питання при шліфуванні призматичних напрямних лінійних підшипників малої жорсткості з обмеженням пружних деформацій заготовівлі при закріпленні та обробці досліджено недостатньо.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: інструмент, плоске шліфування, високошвидкісна обробка, обробний центр, легована сталь.

Як цитувати: Скоркін А. О., Кондратюк О. Л., Скоркіна В. О., Старченко В. В. Особливості процесу плоского шліфування деталей із загартованих легованих сталей. *Машинобудування*. 2024. Вип. 34 С. 116-124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-11>

Вступ

Сучасні технологічні процеси вимагають комплексного переміщення по трьох координатах з кількома осями обертання, що передбачає точне позиціонування з управлінням просторовим

переміщенням, у тому числі лінійним. Вузли машин та механізмів, що забезпечують поступальний рух, називають лінійними напрямними, лінійними переміщеннями, системами лінійного



переміщення, лінійними підшипниками, модулями лінійного переміщення.

Напрявні, що використовуються для здійснення лінійного переміщення рухомих вузлів різних машин або пристроїв, є одним з основних елементів конструкції, що визначає можливості та технічний рівень обладнання [1].

Найбільш широко в тепер використовуються напрямні кочення модульного типу, які складаються з профільних напрямних та кареток (рисунк 1). Каретки переміщуються по напрямних і цим реалізують необхідне переміщення. Дані напрямні мають ряд істотних переваг, що забезпечують їх широке поширення:

Високий рівень експлуатаційних характеристик;

не висока вартість;

відпрацьована та широко поширена технологія виробництва

Зараз розроблено безліч різних видів і серій лінійних підшипників для задоволення різноманітних потреб різних галузей промисловості. Лінійні підшипники випускаються в множині типів і розмірів. При їх виборі слід брати до уваги вимоги щодо навантаження, швидкості, ресурсу, жорсткості та точності, особливості конструкції обладнання та обмеження при встановленні.

За типом тіл кочення, що використовуються, лінійні підшипники можна розділити на дві групи: кулькові (рисунк 2, а) і роликові (рисунк 2, б).

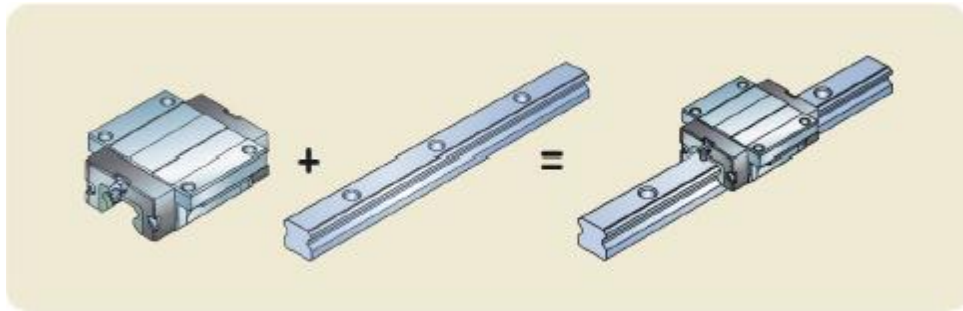


Рис. 1 - Лінійний підшипник модульного типу:

Fig. 1 - Modular type linear bearing



а



б

Рис. 2 - Кулькова (а) та роликова (б) профільні напрямні

Fig. 2 - Ball (a) and roller (b) profile guides

Роликові напрямні мають більш високу жорсткість і вантажопідйомність. Крім того, характеристики модульних напрямних значно залежать від кількості

рядів тіл кочення і розташування тіл кочення. Використовується парна кількість рядів і варіюється в кількості від 2 до 6.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз досліджень закордонних вчених, таких як Klocke F., Brinksmeier E. та ін [2-10] дозволяє визначити основні методи механічної обробки загартованих легованих сталей. Ними є лезові процеси (точіння, фрезерування) та шліфування.

Всі методи дозволяють забезпечити необхідні вимоги до якості оброблених поверхонь. Порівняння методів у повній та наочній формі представлено в джерелі [6]. Для наочності пропонується діаграма (рисунок 3).

Чим далі будь-яка ознака від центру багатокутника, тим ця ознака краще для аналізованого процесу. Як впливає з представленого малюнка, шліфування вигідно відрізняється від лезових процесів за надійністю процесу, якістю шорсткості поверхні та точності форми. Сучасні прогресивні технології у шліфуванні дозволили підвищити швидкість знімання матеріалу та гнучкість процесу.

Супутні шліфування пластична деформація і робота тертя призводять до розігріву матеріалу заготовки в області контакту до високих температур. В результаті відбувається розм'якшення металу, що полегшує процес стружкоутворення.

Процеси, що відбуваються під час шліфування, відрізняються складністю. Для підвищення точності деталі, що виготовляється в умовах серійного виробництва при виготовленні особливо точних і відповідальних деталей, шліфування ведуть периферією кола при зворотно-поступальному переміщенні прямокутного столу.

Виходячи з вищеприписаного, можна зробити висновок, що шліфування є значно більш складним процесом для теоретичного та експериментального дослідження, ніж фрезерування і точіння.

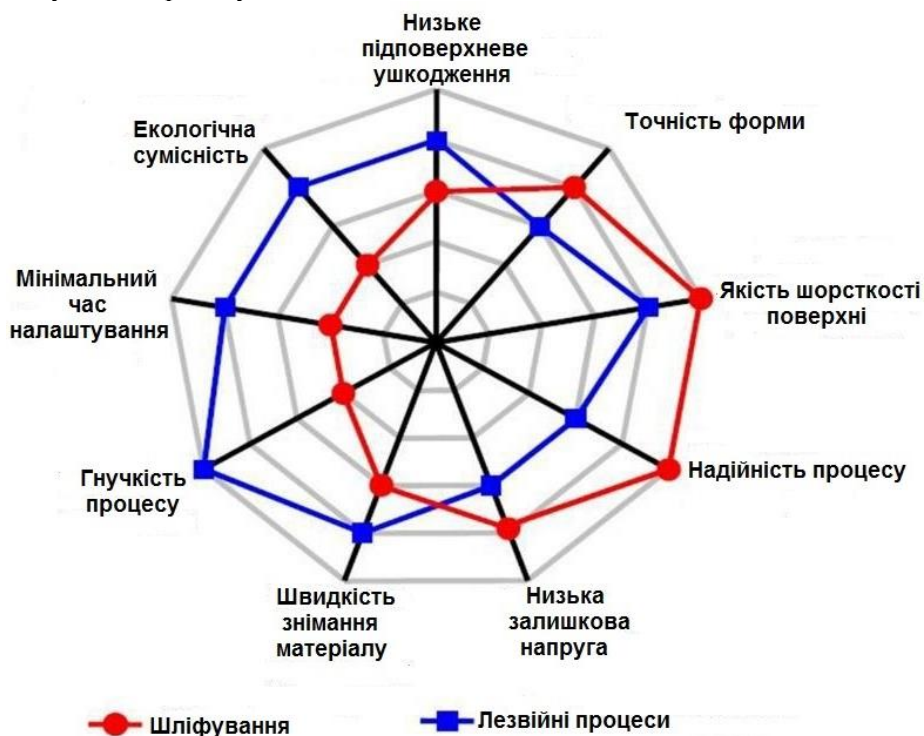


Рис. 3 - Порівняння можливостей лезових процесів обробки загартованих сталей та процесу шліфування
Fig. 3 - Comparison of the capabilities of blade processes for processing hardened steels and the grinding process

Постановка проблеми

Сукупність геометричних характеристик обробленої поверхні та фізико-механічні стани поверхневого шару деталі

утворюють таке поняття, як «якість поверхні». Геометричні характеристики поверхні поділяють на мікрогеометрію та

макрогеометрію. Мікрогеометрія охоплює хвилястість, шорсткість і субшорсткість [4,5]. Причиною зміни фізико-механічних властивостей деталі є силовий і температурний вплив шліфувального кола на поверхню деталі в процесі обробки. Фізико-механічні властивості характеризуються мікротвердостями, залишковою напругою, хімічним складом, структурно-фазовим станом, припалами та мікротріщинами. Всі ці показники визначають втомну міцність, корозійну стійкість, зносостійкість та інші показники [3].

Основні підходи до моделювання механічної обробки при шліфуванні умовно можуть бути розділені на фізичні та емпіричні.

Фізичні поєднують аналітичні, звичайно-елементні, кінематичні, молекулярно-динамічні моделі.

Емпіричні поєднують регресійні, нейронні та моделі нечіткої логіки.

Для отримання топографії шліфувального кола використовують два методи. Перший метод полягає в безпосередньому

скануванні різальної поверхні шліфувального кола. Другий вимагає застосування статистичного аналізу в результаті якого проводиться синтез топографії шліфувальних кіл.

Завдання контакту абразивного кола з оброблюваною поверхнею заготовлі дозволяють вирішувати кінематично - геометричні тривимірні моделі.

Вирішення аналогічних завдань може бути реалізовано за допомогою кінематично-емпіричного моделювання. Вихідні параметри в першому і другому випадку аналогічні. У першому випадку розглядається траєкторія руху між шліфувальним кругом і оброблюваною заготовлею, а в другому використовуються як аналітичні, так і емпіричні рівняння.

Кінематичні моделі описують багато параметрів процесу обробки шліфуванням, при цьому показують досить низький ступінь точності.

Метою роботи є дослідження процесу плоского шліфування заготовок малої жорсткості напрямних лінійних підшипників.

Виклад основного матеріалу

При шліфуванні поверхонь бічних граней призматичних заготовок малої жорсткості необхідно враховувати пружні деформації у напрямку перпендикулярної поверхні столу.

Розроблювана математична модель максимальних пружних деформацій заготовок заснована на теорії вигину балок, тому геометричні параметри заготовок повинні задовольняти обмеження: $l_3/h > 10$ (де l_3 - довжина заготовки, h - найбільший розмір поперечного перерізу заготовки).

Для дослідження пружних деформацій, що виникають при закріпленні та шліфуванні заготовки, обрана напрямна роликів однорядного підшипника ЛРХ 6/350 (Рисунок 4)

Напрямна підшипника виготовлена зі сталі 20Х (ГОСТ 4543 – 71). Відповідно до заводського технологічного процесу попередньо проводили відрізу операцію заготовлі, торцювали заготовлі в розмір 350 мм, проводили фрезерування призматичних граней. Далі проводили чорнове шліфування бічних граней (обробляючи одну з протилежних граней як чисто, іншу,

знімаючи припуск $t = 0,6$ мм, радіальна подача $S_p = 0,04$ мм/х, швидкість подачі столу $V_s = 20$ м/хв), фрезерування площин призми та паза, шліфування площин призми, проводили центрувальну операцію двох отворів на торцях. Далі заготовлі цементували на глибину 1,6 - 1,8 мм, проводили рихтовку на пресі (відхилення від площинності - 0,1 мм), чорнове шліфування бокових граней (припуск на обробку $t = 0,2$ мм, радіальна подача $S_p = 0,02$ мм/х, швидкість подачі столу $V_s = 20$ м/хв, свердління отворів кріплення, нарізання різьби в отворах для кріплення напрямної та центрувальних отворів. ,1 мм) Потім виконували чорнове шліфування всіх граней при максимальній силі притягання магнітного поля столу верстата (припуск на обробку $t = 0,4$ мм, радіальна подача $S_p = 0,02$ мм/х, швидкість подачі стола $V_s = 20$ м/хв, розмір поперечного перерізу в результаті обробки - 15,2 x 16,6).

Відхилення від площинності має виражені хвилі макровідхлень (Рисунок 5).

Загальна похибка серії вимірювань для незалежних параметрів визначається:

$$\delta = \sqrt{\delta_{\text{ст}}^2 + \delta_{\text{i.г.}}^2 + \delta_{\text{столу}}^2}$$

де $\delta_{\text{ст}}$ – статистична похибка,
 $\delta_{\text{i.г.}} = \pm 0,75$ мкм похибка індикаторної
голівки,

$\delta_{\text{столу}}$ – допуск площинності столу
верстата = 3,5 мкм на довжині заготівлі
(ГОСТ 16528-87).

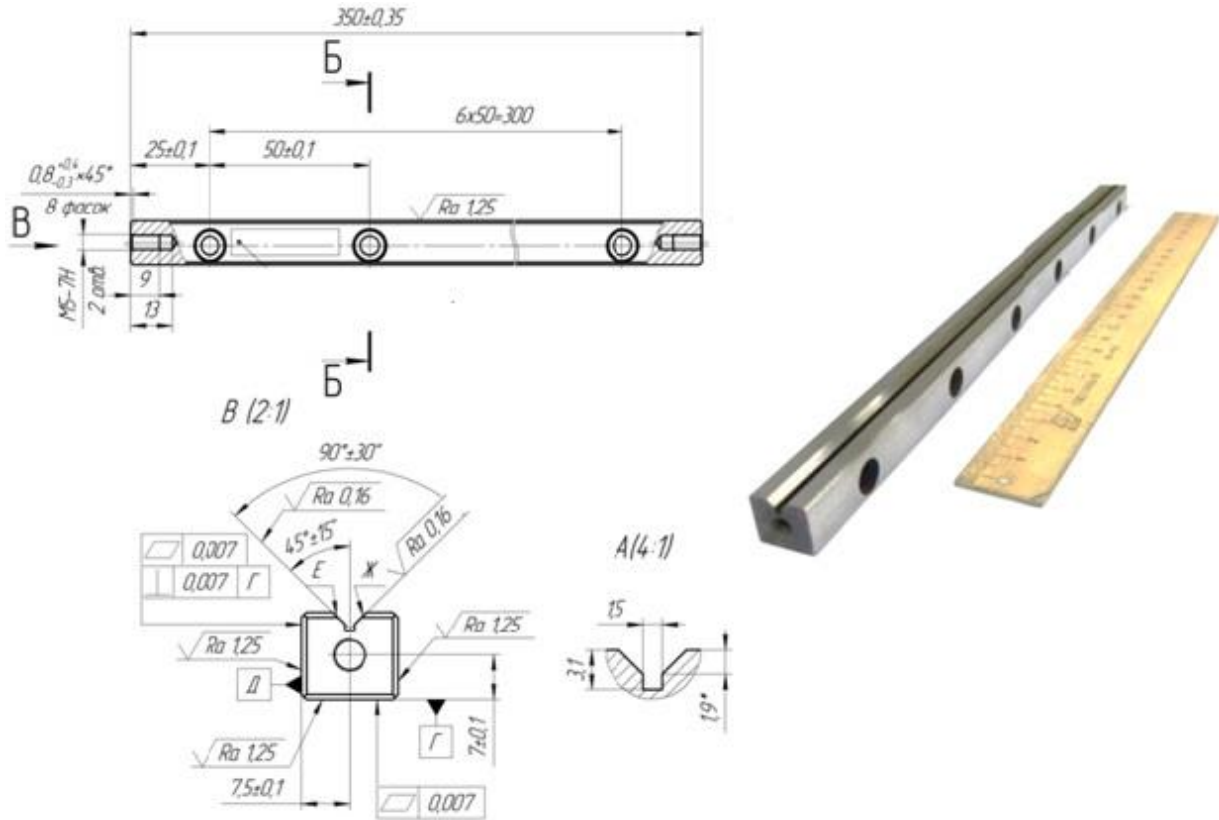


Рис. 4 - Досліджувана напрямна підшипника
Fig. 4 – Bearing guide under investigation

Для перевірки однорідності середньоквадратичних відхилень (вибіркових дисперсій) використовують критерій Кохрена. Для цього складається відношення максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій:

$$G = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}$$

Кількість паралельних вимірів – 3 (по ширині заготівлі), кількість дослідів однієї заготовки -15.

Порівняння дисперсій 3-х паралельних вимірювань у 15 перерізах за критерієм Кохрена показали, що у всіх випадках дисперсії відрізняються незначно.

Результати вимірювань усередненої, з п'яти виміряних, заготівлі представлені рисунку 5.

При подальших дослідженнях заготовку поклали на поверхню столу верстата гранню А, при цьому заготівля стосується поверхні столу найбільш поверхнями, що виступають (рисунок 6). Для більш точного визначення положення виступаючих поверхонь заготовки та характерної довжини хвилі l на ділянках з найбільш виступаючими поверхнями заготівлі вимірювання виробляли з кроком 1 мм.

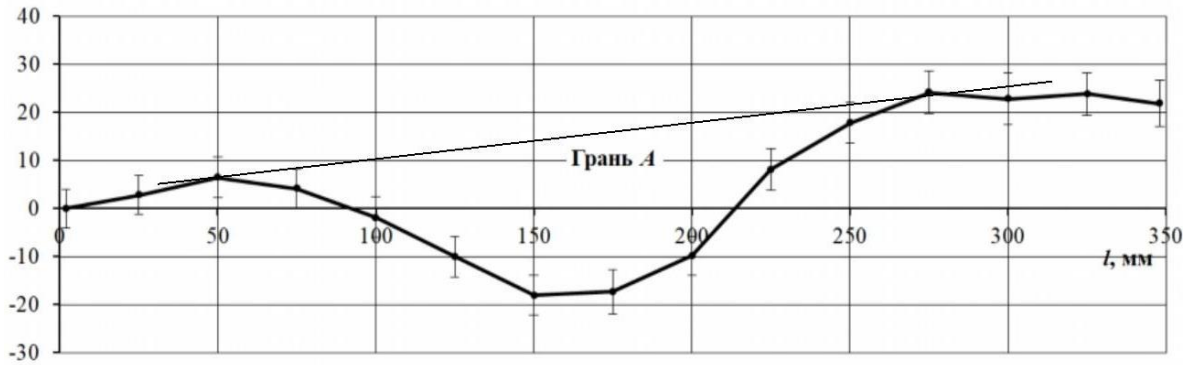


Рис. 5 – Відхилення усередненої поверхні заготовки (грань А)
Fig. 5 – Deviation of the averaged workpiece surface (face A)

В результаті досліджень встановлено, що визначальним фактором виникнення початкових відхилень від площинності бічних граней призматичних заготовок, є деформація заготовки в процесі її термообробки і попередніх шліфувальних операцій механічної обробки. Внаслідок чого заготівля отримує вигнутість поверхні з вираженими регулярними хвилями макровідхилень. Макровідхилення поверхні заготовки, що стикається з поверхнею столу верстата, моделюється циліндричною поверхнею з спрямовуючою у вигляді синусоїди з характерною довжиною хвилі l (рисунок 7). Довжина l залежить від ряду факторів, до яких належать: конструктивні особливості, згинальна жорсткість заготівлі, види термічної та механічної обробки,

що передують операції шліфування. Подвоєна амплітуда синусоїди u_a приймається рівною максимальній висоті хвиль макровідхилень (див. рис. 7).

У робочих умовах певна частина контактної деформації може бути пластичною. Величина останньої враховується тільки для зменшення зазору між поверхнями столу, що стикаються, і заготовки.

Призматична напрямна моделюється нерозрізною балкою, навантаженою рівномірно розподіленою по центральній осі навантаженням інтенсивністю $q = q_c + q_m$ (від дії зусилля тяжіння магнітного поля столу верстата q_c і маси заготовки q_m) і зосередженої сили P_y - радіальної складової сили різання (рисунок 7).

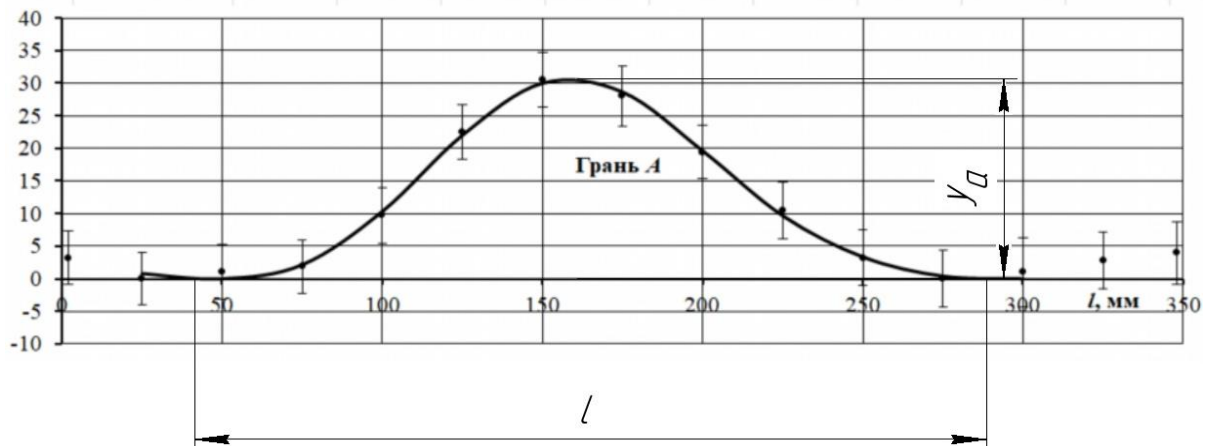


Рис. 6 - Параметри синусоїди: характерна довжина хвилі l , подвійна амплітуда u_a для грані А
Fig. 6 – Sine wave parameters: characteristic wavelength l , double amplitude u_a for face A

Висновки

Розроблено алгоритм вибору оптимальних умов плоского шліфування, що забезпечують досягнення необхідної якості, у тому числі, допуску площинності оброб-

леної поверхні бічних граней призматичних напрямних лінійних підшипників малої жорсткості при найбільшій продуктивності процесу плоского шліфування.

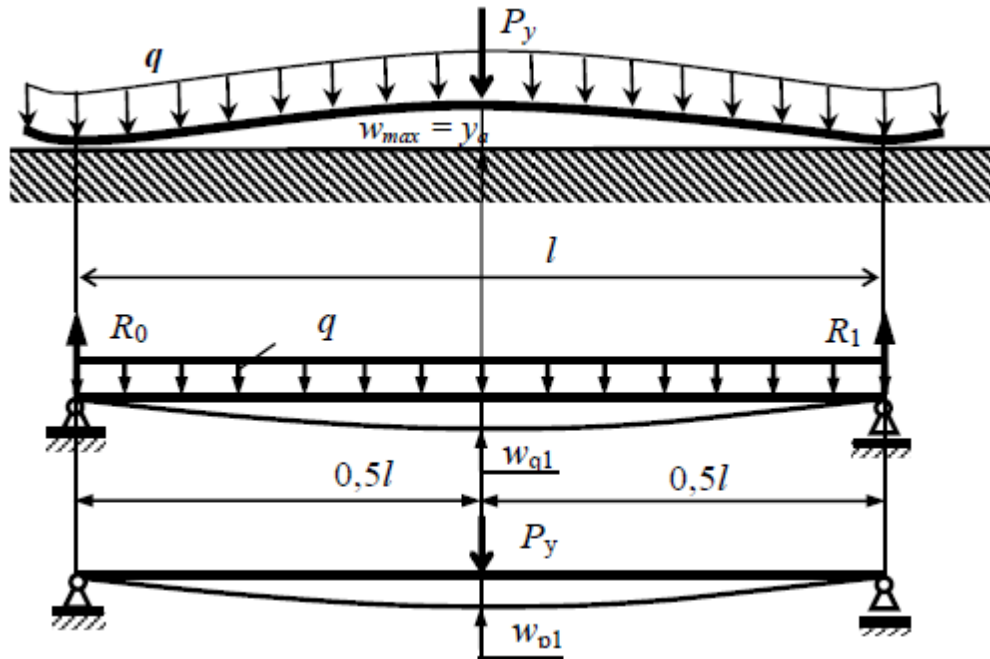


Рис. 7 - Розрахункова схема заготівлі визначення максимального прогину w_{max} (у разі початкове відхилення від площинності y)

Fig. 7 – Calculation scheme for determining the maximum deflection w_{max} (in the case of an initial deviation from flatness y)

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Анур'єв В.І. Довідник конструктора-машинобудівника: у 3-х т. Т.1. - 9-е вид., Перероб. та доп./під ред. Жестовой.- М.: Машинобудування, 2006. - 928 с.
2. Klocke F., Brinksmeier E., Weinert K.. Capability profile of hard cutting and grinding processes // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2005. – No. 54(2). – Pp. 22-45.
3. Jermolajev S., Epp J., Heinzl C., Brinksmeier E. Material Modifications Caused by Thermal and Mechanical Load During Grinding // 3rd CIRP Conference on Surface Integrity / Procedia CIRP 45.- 2016. – Pp. 43-46.
4. Brinksmeier E., Aurich J.C., Govekar E. et al. Advances in modeling and simulation of grinding processes // Annals of the CIRP. – 2006. – Vol. 55. – Pp. 667-696.
5. Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge / A. Skorkin, O. Kondratyuk, N. Lamnauer, V. Burdeinaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 2/1 (98). – P. 60–69.
6. Czenkusch C. Technologische Untersuchungen und Prozessmodel zum Rundschleifen. Dissertation. University of Hannover, 2000.
7. Sastry S. Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process / S. Sastry, S. G. Kapoor, R. E. Devor // ASME J.130. Eng. Indus. – 2001. – Vol. 123. – Pp. 753–756.
8. Peng B., Bergs T., Schraknepper D., Klocke F., Döbbeler B. A hybrid approach using machine learning to predict the cutting forces under consideration of the tool wear // 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations Procedia / CIRP 82. – 2019.- Pp.302–307.
9. Soler Ya.I., Classification of flat instrumental plates by topography of ground surface using cluster analysis / Ya.I. Soler, V.C. Nguyen, D.Yu. Kazimirov // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11.Issue 21.P. 12715 – 12723.
10. Lipiński D., Bałasz B., Rypina L. Modelling of surface roughness and grinding forces using artificial neural networks with assessment of the ability to data generalization // International Journal of Advanced Manufacturing Technology/ - 2017/Volume:94, Issue:1, pp 1335-1347.

Стаття надійшла для редакції 17.10.2024

Стаття рекомендована до друку 19.11.2024

¹**SKORKIN A., Ph.D.,**

Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Transport and Welding
e-mail: Andromeda862@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3032-8341>

¹**KONDRATYUK O., Ph.D.,**

Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, Transport and Welding
e-mail: kondr20071@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3263-0483>

¹**SKORKINA V.,**

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Transport and Welding
e-mail: Skorkinava@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0411-1047>

²**STARCHENKO V.,**

Postgraduate student of the Department of Integrated Engineering Technologies
e-mail: Vitalii.Starchenko@mit.khpi.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3495-4212>

¹*V.N. Karazin Kharkiv National University*
Svobody square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine

²*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*
Kyrpichova St., 2, 61002, Kharkiv, Ukraine

FEATURES OF THE PROCESS OF FLAT GRINDING OF PARTS MADE OF HARDENED ALLOY STEELS.

Grinding is one of the main methods of mechanical processing that determine the quality of parts manufacturing. Therefore, increasing grinding efficiency is a priority task of mechanical engineering.

One of the types of rolling bearings is a ball or roller bearing for linear movement. Significant difficulties arise when processing workpieces of low rigidity of linear bearing guides. When fixing and processing workpieces of linear bearing guides, elastic deformations occur. The size of these deformations may exceed the tolerances for the geometric parameters of the processed surface. After grinding and removing the magnetic field of the machine table, elastic deformations can return a certain amount of deviation to the geometric parameters, which may exceed the specified requirements. Technological methods for eliminating them significantly increase the processing time and cost of the operation.

When grinding parts of low rigidity, it is necessary to consider the elastic deformations of the workpiece arising from the action of the magnetic field of the machine table and cutting forces. Considering elastic deformations will allow guaranteed achievement of geometric accuracy of the part, reduction of time and cost costs for processing. Nevertheless, this issue in grinding prismatic linear guide bearings of low rigidity with limitation of elastic deformations of the workpiece during clamping and processing has not been sufficiently investigated.

KEYWORDS: *tool, surface grinding, high-speed machining, machining center, alloy steel.*

In cites: Skorkin A., Kondratyuk O., Starchenko V., (2024). *Features of the process of flat grinding of parts made of hardened alloy steels. Engineering*, (34), 116-124. <https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-11> (in Ukraine)

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of the manuscript. In addition, the authors fully complied with ethical standards, including plagiarism, data falsification, and double publication.

References:

1. Anuriev V.I. Dovidnyk konstruktora-mashynobudivnyka: u 3-kh t. T.1. - 9-e vyd., Pererob. ta dop./pid red. Zhestovoi.- M.: Mashynobuduvannia, 2006. - 928 s. (in Ukraine)
2. Klocke F., Brinksmeier E., Weinert K.. Capability profile of hard cutting and grinding processes // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2005. – No. 54(2). –Pp. 22-45.
3. Jermolajev S., Epp J., Heinzl C., Brinksmeier E. Material Modifications Caused by Thermal and Mechanical Load During Grinding // 3rd CIRP Cjnfrence on Surface Integrity / Procedia CIRP 45.- 2016. – Pp. 43-46.
4. Brinksmeier E., Aurich J.C., Govekar E. et al. Advances in modeling and simula-tion of grinding processes // Annals of the CIRP. – 2006. – Vol. 55. – Pp. 667-696.
5. Improving efficiency of machining the geometrically complex shaped surfaces by milling with a fixed shift of the cutting edge / A. Skorkin, O. Kondratyuk, N. Lamnauer, V. Burdeinaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – № 2/1 (98). – P. 60–69.

6. Czenkusch C. Technologische Untersuchungen und Prozessmodel zum Rund-schleifen. Dissertation. University of Hannover, 2000.
7. Sastry S. Chatter stability analysis of the variable speed face-milling process / S. Sastry, S. G. Kapoor, R. E. Devor // *ASME J.130. Eng. Indus.* – 2001. – Vol. 123. – Pp. 753–756.
8. Peng B., Bergs T., Schraknepper D., Klocke F., Döbbeler B. A hybrid approach using machine learning to predict the cutting forces under consideration of the tool wear // 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations *Procedia / CIRP 82.* – 2019.- Pp.302–307.
9. Soler Ya.I., Classification of flat instrumental plates by topography of ground sur-face using cluster analysis / Ya.I. Soler, V.C. Nguyen, D.Yu. Kazimirov // *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2016. Vol. 11.Issue 21.P. 12715 – 12723.
10. Lipiński D., Bałasz B., Rypina L. Modelling of surface roughness and grinding forces using artificial neural networks with assessment of the ability to data generaliza-tion // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology/* - 2017/Volume:94, Issue:1, pp 1335-1347.

The article was received by the editors 10/17/2024

The article is recommended for printing 11/19/2024