

УДК 621.09: 681.5

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2022-21-15

Пташенчук В.В., к.т.н., Денисюк В.Ю., к.т.н., Симонюк В.П. к.т.н.

Луцький національний технічний університет

ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТОРЦЕШЛІФУВАЛЬНИХ АВТОМАТІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ОПЕРАЦІЙНУ ТОЧНІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ ПІДШИПНИКОВОЇ СТАЛІ ШХ15

В статті проведено вимірювання теплових деформацій торцешліфувального автомата з метою забезпечення необхідного рівня геометричної точності кілець роликопідшипників та зменшення кількості дефектів в ході виготовлення підшипників кочення.

Оброблення торцевих поверхонь кілець підшипників проводиться із застосуванням потужних електроприводів від 25 до 50 кВт, значна частина електричної енергії перетворюється в теплову та поглинається технологічним обладнанням. Нехтувати таким впливом для забезпечення високої геометричної точності оброблення кілець підшипників, яка характеризується одиницями та десятками мкм неможливо, оскільки тепло розсіюється нерівномірно та потребує кількісної оцінки теплодеформаційної стійкості для коректного налагодження виробничого обладнання з метою забезпечення високої розмірної стійкості оброблюваних заготовок.

Встановлено, що під дією теплових деформацій вузлів торцешліфувального автомата абразивні різальні інструменти змінюють своє положення у вертикальній та горизонтальній площинах. Стабілізація положення абразивів має різний часовий діапазон залежно від джерела тепла: від шпиндельних опор – на протязі 2 годин, від змащувально-охолоджувальної рідини – через 5 годин. В загальному балансі теплових деформацій торцешліфувального автомата зміщення шліфувальних кругів, зумовлених зміною температури змащувально-охолоджувальної рідини знаходиться в межах 75-80%. Зміна положення фланців шпинделів торцешліфувального автомата за 5 годин роботи у вертикальній площині склала 59 мкм та є причиною появи непаралельності торців кілець.

Ключові слова: температура, деформація, вимірювання, точність, підшипник.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Якість та продуктивність процесу оброблення деталей типу тіл обертання з підшипникової сталі ШХ15 на операціях безцентрового плоского шліфування насамперед, залежить від правильно підібраних режимних параметрів до яких належать глибина та швидкість різання, спосіб та швидкість подачі заготовки в зону оброблення, технічні та конструктивні параметри різального інструменту, склад та спосіб подачі змащувально-охолоджувальної рідини тощо. Однак, навіть при умові раціонального вибору режимних параметрів забезпечити необхідний рівень якості оброблюваних деталей не є можливим без налагодження технологічного обладнання, що включає в себе комплекс дослідницьких, підготовчих та безпосередньо налагоджувальних робіт, які забезпечують якісне виконання заданої технологічної операції. Проте, щоб провести коректне налагодження технологічного обладнання, необхідно знати поведінку його в ході роботи, щоб врахувати усі фактори впливу та забезпечити стабільні параметри якості оброблюваних деталей на протязі усього часу технологічного циклу оброблення.

Результати статистичних досліджень діючого підшипникового виробництва на ПрАТ «СКФ Україна» показали, що шліфувальні операції на двосторонніх торцешліфувальних автоматах супроводжуються значною кількістю бракованих деталей внаслідок похибок оброблення та зниження точності. Зокрема, при аналізі невідповідностей діючого підшипникового виробництва стосовно параметрів геометрії робочих поверхонь роликів підшипників на ПрАТ «СКФ Україна», встановлено, що значна кількість деталей на рівні 7% мають відхилення неперпендикулярності, 5% мають відхилення паралельності торців кілець роликів підшипників. Враховуючи, що торцеві поверхні кілець підшипників є базовими поверхнями при подальшій їх обробці, зокрема доріжок кочення, вони є фактором технологічної спадковості та породжують ряд інших дефектів кілець роликопідшипників (рис.1), зокрема доріжок кочення, що погіршує експлуатаційні властивості підшипників.

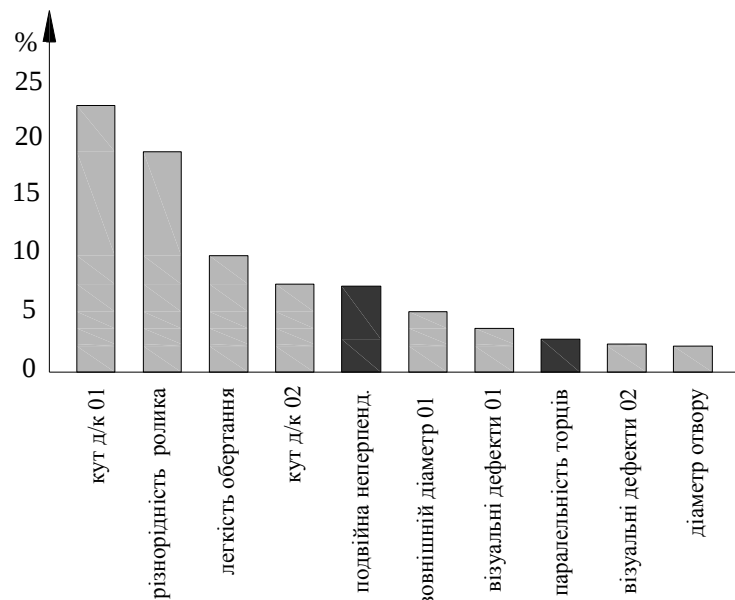


Рис. 1. Гістограма відносних значень невідповідностей геометрії кілець роликотідишипників

Дослідження теплових деформацій торцешліфувальних автоматів дасть можливість проводити налагодження технологічного обладнання до його запуску та в процесі його роботи, забезпечивши тим самим високу геометричну точність кілець підшипників та зменшити кількість бракованих деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, де розв'язувались завдання цієї проблеми, виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячена стаття.

В працях [1, 2] описано лише вплив сил різання на взаємне розміщення шліфувальних кругів та їх вплив на точність оброблення кілець підшипників. Однак, початкове взаємне положення ріжучого інструменту змінюється за рахунок появи теплових деформацій, що впливає на точність оброблюваних деталей. Питання налагодження технологічного обладнання розглянуто в працях [3, 4, 5], однак в цих роботах розглянуто тільки вплив технологічних факторів на параметри якості. Враховуючи, що оброблення торцевих поверхонь проводиться із застосуванням потужних електроприводів до 50 кВт, значна частина електричної енергії перетворюється в теплову та поглинається технологічним обладнанням. Нехтувати таким впливом на геометричну точність оброблення, яка характеризується одиницями та десятками мкм можна лише за умови рівномірного розсіювання тепла та використання матеріалів технологічного обладнання з однаковим лінійним коефіцієнтом теплового розширення. Забезпечення таких умов є практично неможливим та потребує дослідження впливу нерівномірного розсіювання тепла на деформацію вузлів технологічного обладнання та геометричну точність оброблюваних деталей.

Мета статті (формулювання цілей статті).

Метою статті є вимірювання теплових деформацій торцешліфувальних автоматів та формулювання рекомендацій для практичного використання під час проведення налагоджувальних робіт з метою забезпечення високої розмірної геометричної стійкості оброблювальних деталей.

Постановка завдання.

Оскільки оброблення торцевих поверхонь кілець роликотідишипників на торцешліфувальних автоматах типу 3344AE, СА3М проводиться двома шліфувальними кругами одночасно з використанням потужних електроприводів до 50 кВт та характеризується значною контактною площею різального інструменту з оброблюваною деталлю, то особливу увагу слід зосередити на дослідженні теплових деформацій вузлів верстата, що зумовлені значним тепловиділенням в зоні різання внаслідок безперервності процесу різання та їх вплив на операційну точність двостороннього торцевого шліфування.

Виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих результатів.

При обробленні кілець підшипників на торцешліфувальних автоматах типу 3344AE, СА3М точність деталей залежить в значній мірі окрім технологічних факторів від взаємного розташування абразивних кругів у горизонтальній та вертикальній площинах відповідно. Так,

зокрема, зростання температури змащувально-охолоджувальної рідини на 1°C при абразивному обробленні кілець $\varnothing 90$ мм призводить до зростання непаралельності торців на $0,6 - 0,8$ мкм. З практичного досвіду відомо, що температура змащувально-охолоджувальної рідини в процесі оброблення кілець роликотідшипників підвищується на $15 - 20^{\circ}\text{C}$ відповідно інтенсивності та теплонапруженості процесу абразивного оброблення.

Для зменшення неточності форми кілець підшипника, зумовлених тепловими деформаціями вузлів верстата через підвищення температури змащувально-охолоджувальної рідини, необхідно брати до уваги при проведенні налагоджувально-інструментальних робіт зміну положення шліфувальних кругів. Однак, теплові деформації вузлів торцешліфувальних автоматів мають схоластичний характер, а величина їх впливу залежать як від часу роботи так і від режимних параметрів процесу формоутворення кілець підшипників та потребують детальних експериментальних досліджень.

На торцешліфувальних автоматах найбільшими джерелами виділення тепла є підшипники опор та безпосередньо зона абразивного оброблення. Вплив на технологічне обладнання зовнішніх джерел тепла не береться до уваги, оскільки перепад температури в приміщенні знаходиться в межах $\pm 1^{\circ}\text{C}$ та має незначний вплив на теплодеформаційну стійкість.

Для знаходження величини впливу на положення різальних інструментів кожного із джерел тепла використано дві схеми теплового навантаження:

- обертання шпинделя торцешліфувального автомата на холостому ходу при якому заміряли зміну розташування абразивних кругів у горизонтальній та вертикальній площині за рахунок тепла утвореного тертям в підшипниках кочення;
- нагрівання змащувально-охолоджувальної рідини з використанням електронагрівача з одночасним обертанням шпинделя торцешліфувального автомата. При цьому швидкість нагрівання змащувально-охолоджувальної рідини електронагрівачем була ідентична швидкості її нагрівання на робочому автоматі в ході оброблення заготовок.

Для експериментальних досліджень було вибрано верстат, у якого швидкість нагрівання шпиндельних опор наближена до середнього значення, отриманого при статистичному обробленні результатів вимірювання температури на 4 верстатах даної моделі. Для зручності проведення досліджень заміряли положення фланців шпинделя, яке визначає положення шліфувальних кругів (останні були зняті). Досліди повторювали не менше 3-х разів при неперервному нагріванні верстата в кожному з них на протязі 5 годин [6, 7, 8].

Характерні точки зміни температури попередньо визначали за допомогою інфрачервоного оптичного термометра Ridgid MicroRay IR-100. Для вимірювання температури в процесі дослідження використовували мідно-константанові термопари, приклеєні до верстата у визначених точках (рис. 2). Покази термопар реєстрували за допомогою мікроамперметра, температуру фланця шпинделя заміряли термометром Ridgid MicroRay IR-100.

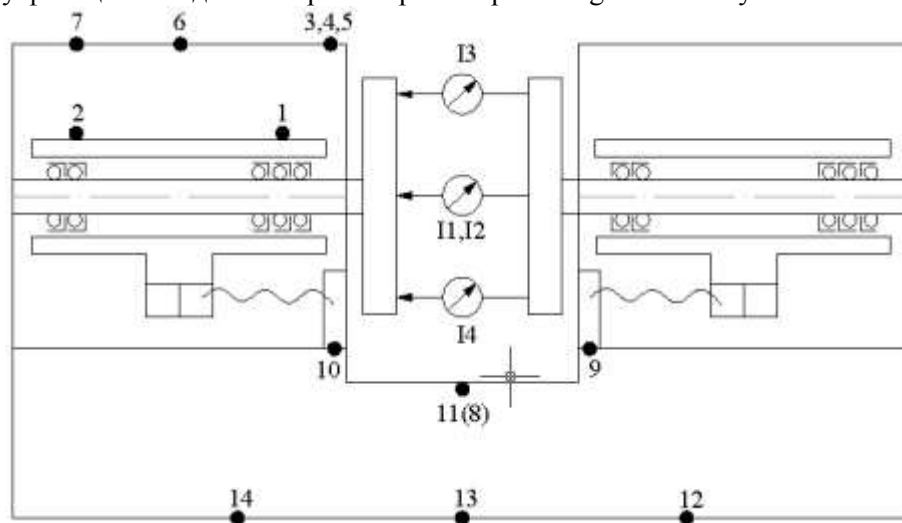


Рис. 2. Схема встановлення термопар (у визначених точках) та індикаторів на торцешліфувальному автоматі з різною віддаленістю від зони оброблення: 1, 2 – на пінолі біля передньої та задньої опор шпинделя; 3, 4, 5 – на передньому торці шліфувальної бабки; 6 – в середній частині корпусу бабки; 7 – на задній стінці бабки; 8 – на задній стінці станини; 9, 10, 11 – в верхній; 12, 13, 14 – в нижній частинах передньої стінки станини; ІІ – ІІІ – індикатори

В якості базового для вимірювання положення досліджуваного шпинделя був прийнятий нерухомий протилежний шпиндель, на фланці якого на відстані 450 мм один від одного кріпились оправки з індикатором типу ПІМ-1 з ціною поділки 0,001 мм. Індикатори І1, І2 розміщували в горизонтальній, а індикатори І3, І4 – в вертикальній площинах.

Характер зміни температури вузлів торцешліфувального автомата залежно від часу нагрівання наведено на рисунку 3. Температура пінолі в зоні розташування передньої опори шпинделя (точка 1) склала 53°C, фланця шпинделя – 48°C (рис. 3). Швидкість зростання температури фланця шпинделя торцешліфувального автомата є меншою ніж опори, що пояснюється його більшою віддаленістю від зони теплоутворення. Температура пінолі в зоні розташування задньої опори (точка 2) шпинделя склала 32°C завдяки меншому натягу в підшипникових вузлах та більшій відстані до зони оброблення. Температура корпусу шпиндельної бабки в точках 3, 4, 5 визначається надлишковою температурою зони розташування передньої опори, в точці 7 – надлишковою температурою зони розташування задньої опори шпинделя. Температура корпусу торцешліфувального автомата при цій схемі теплового навантаження залишається постійною.

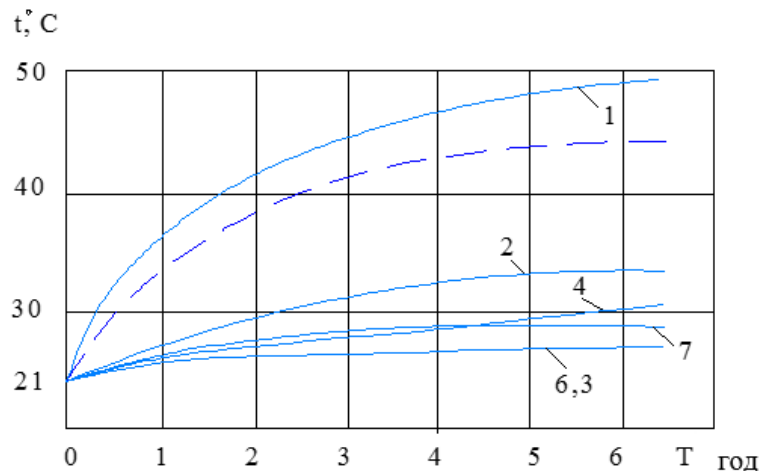


Рис. 3. Зміна температури пінолі та бабки верстата: номери кривих відповідають номерам точок на вимірювальній схемі рис. 2; штрихова лінія – температура фланця шпинделя

Відстань між фланцями шпинделів автомата виміряної індикатором І1 у вертикальній площині зростає та за 5 годин роботи автомата зміна відстані склала 10 мкм, при цьому положення фланців шпинделів в горизонтальній площині залишилось незмінним.

За другою схемою теплового навантаження торцешліфувального автомата надлишкову температуру має станина, причому після 5-ти годин її нагрівання температура розподілу має вигляд: $t_{12}=t_{13}=t_{14}=t_{нов.}=21^{\circ}\text{C}$; $t_8=t_9=t_{10}=25^{\circ}\text{C}$; $t_{11}=34^{\circ}\text{C}$, що характеризує локальне прогрівання станини, яке характерне лише верхній частині та зумовлене тепловою дією змащувально-охолоджувальної рідини. При цьому зміна положення фланців шпинделів торцешліфувального автомата за 5 годин роботи у вертикальній площині становило 39 мкм, в горизонтальній – 10 мкм, а температура змащувально-охолоджувальної рідини підвищилась на 17°C (з 23 до 40 °C). Якщо врахувати сумарний вплив двох зон нагрівання на протязі 5 годин роботи торцешліфувального автомата то зміщення кругів складе: $\Delta=39+10+10=59$ мкм.

Висновки. Встановлено, що під дією теплових деформацій вузлів торцешліфувального автомата абразивні різальні інструменти змінюють своє положення у вертикальній та горизонтальній площинах. Стабілізація положення абразивів має різний часовий діапазон залежно від джерела тепла: від шпиндельних опор – на протязі 2 годин, від змащувально-охолоджувальної рідини – через 5 годин. В загальному балансі теплових деформацій торцешліфувального автомата зміщення шліфувальних кругів, зумовлених зміною температури змащувально-охолоджувальної рідини знаходиться в межах 75 – 80%. Зміна положення фланців шпинделів торцешліфувального автомата за 5 годин роботи у вертикальній площині склала 59 мкм та є причиною появи непаралельності торців кілець. Інші деформації вузлів торцешліфувального автомата зумовлені підвищенням температури в підшипникових вузлах мають несуттєвий вплив на точність оброблення та можуть не братись до уваги.

Список використаної літератури

1. Якімов А.А. Технологічні основи забезпечення та стабілізації якості поверхневого шару при шліфуванні / А. Якімов. Одеса, 2005. – 411 с.
2. Якімов О. В. Технологія машино- та приладобудування / О.В. Якімов, В.І. Марчук, П.А. Лінчевський, О.О. Якімов, В.П. Ларшин, Луцьк, 2005 – 710 с.
3. Пташенчук В.В. Технологічні фактори впливу на операційну точність та теплонапруженість процесу плоского шліфування торцевих поверхонь кілець роликотідишників / В.І. Марчук, В. В. Пташенчук // Вісник СевНТУ: машинобудування та транспорт. – Севастополь, 2010. – № 107. – С. 144 – 147.
4. Пташенчук В.В. Підвищення продуктивності та точності процесу торцешліфування за рахунок вибору раціональної структури різального інструменту / В.І. Марчук, В.В. Пташенчук // Вісник Сумського державного технічного університету. Серія Технічні Науки. Науковий журнал. – Суми, 2010. – № 4. – С. 37 – 42.
5. Пташенчук В. В. Підвищення ефективності процесу шліфування торців кілець роликотідишників / В.І. Марчук, В.В. Пташенчук // Європрилад-2010: тенденції розвитку та перспективи. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. – С.50 – 55.
6. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Пташенчук В.В. Про експериментальні дослідження впливу теплових деформацій на якість кілець підшипників при шліфуванні / Матеріали XVIII-тої Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», м. Київ, 29 червня – 1 липня 2017 р. Київ: 2017. – С. 320–322.
7. Пташенчук В.В., Денисюк В.Ю., Заблоцький В.Ю., Захарчук Д.А. Підвищення ефективності оброблення торців кілець роликотідишників методом переривчастого шліфування: монографія. – Луцьк: Вежа-Друк, 2017. – 128 с.
8. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Пташенчук В.В. До балансування переривчастого абразивного інструменту на торцешліфувальних автоматах / Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу» 12 – 17 вересня 2017 року. Випуск 3. Херсон: ХНТУ, 2017. – С. 127 – 129.

V. Ptashenchuk, V. Denysiuk, V. Symonyuk
Lutsk National Technical University

MEASUREMENT OF THERMAL DEFORMATIONS OF AUTOMATIC FACE GRINDERS AND THEIR INFLUENCE ON THE OPERATIONAL ACCURACY OF BEARING STEEL PROCESSING SHH15

The article measures the thermal deformations of the face grinding machine in order to ensure the required level of geometric accuracy of roller bearing rings and reduce the number of defects during the production of rolling bearings. The end surfaces of the bearing rings are treated using powerful electric drives from 25 to 50 kW, a significant part of the electrical energy is converted into heat and absorbed by the technological equipment. It is impossible to neglect such an influence in order to ensure high geometric accuracy of processing bearing rings, which is characterized by units and tens of microns, because heat is dispersed unevenly and requires a quantitative assessment of thermal deformation resistance for the correct adjustment of production equipment in order to ensure high dimensional stability of the processed workpieces.

It was established that under the action of thermal deformations of the units of the face grinding machine, the abrasive cutting tools change their position in the vertical and horizontal planes. Stabilization of the position of the abrasives has a different time range depending on the heat source: from spindle supports - within 2 hours, from lubricating and cooling liquid - after 5 hours. In the general balance of thermal deformations of the face grinding machine, the displacement of the grinding wheels caused by the change in the temperature of the lubricating and cooling liquid is within 75-80%. The change in the position of the flanges of the spindles of the face grinding machine during 5 hours of work in the vertical plane amounted to 59 μm and is the reason for the non-parallelism of the ends of the rings.

Key words: temperature, deformation, measurement, accuracy, bearing.