

СТЕПАНОВ М.С., ЛІТОВЧЕНКО П.І., ІВАНОВА Л.П., ІВАНОВА М.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ РОБОЧОЇ РІДИНИ В ПІДШИПНИКАХ ШПИНДЕЛЯ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТУ НА ПОХИБКУ ЙОГО ПОЛОЖЕННЯ ВІДНОСНО ОБРОБЛЮВАНОЇ ДЕТАЛІ

У статті наведено результати вимірювань температури навколишнього середовища працюючих круглошліфувальних верстатів протягом робочого дня. Виконано аналіз поведінки шпинделя шліфувальної бабки різних круглошліфувальних верстатів протягом робочої зміни, а саме представлено результати експериментальних досліджень зміщення переднього і заднього кінців шпинделя шліфувальної бабки круглошліфувальних верстатів. Проведено аналіз впливу температури масла в підшипниках шпинделя на величину його зміщення. Встановлено можливі зміни геометричної форми, а саме конусності, деталей, оброблюваних на круглошліфувальних верстатах.

Ключові слова: круглошліфувальний верстат, передній і задній підшипники шліфувальної бабки, температура робочої рідини, зміщення шпинделя.

STEPANOV M.S., LITOVCHENKO P.I., IVANOVA L.P., IVANOVA M.S.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE WORKING LIQUID TEMPERATURE IN THE SPINDLE BEARINGS OF A CYLINDRICAL GRINDING MACHINE ON THE ERRORS OF ITS POSITION RELATIVE TO THE PART BEING MACHINED

The article presents the results of measurements of the ambient temperature around the working cylindrical grinding machines during the working day. The analysis of the behavior of the grinding head spindle of different cylindrical grinding machines during the work shift is performed, namely the results of experimental studies of the displacement of the front and rear ends of the grinding head spindle of cylindrical grinding machines are presented. The analysis of influence of temperature of working fluids in spindle bearings on its displacement is carried out. Possible changes in the geometric shape, namely, conicity, of parts machined on cylindrical grinding machines have been established.

Keywords: cylindrical grinding machine, front and rear grinder bearings, working fluid temperature, spindle displacement.

1. Вступ. Під час роботи круглошліфувального верстата внаслідок впливу температурних деформацій змінюється взаємне положення його деталей і вузлів, у тому числі й шліфувальної бабки, що в свою чергу спричиняє появу похибок форми оброблюваних деталей. Одним з головних чинників, що спричиняють похибки форми оброблюваної деталі, є перекіс шпинделя шліфувальної бабки верстата внаслідок нерівномірного нагріву підшипників шпинделя, розташованих у стінках шліфувальної бабки [1-4]. Знання характеру зміни теплового стану робочої рідини в підшипниках шпинделя шліфувальної бабки та його вплив на зміщення положення шпинделя у підшипниках протягом робочої зміни може сприяти пошуку ефективних заходів по зменшенню впливу вказаних факторів на похибки форми оброблюваної деталі.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій. З розвитком технології обробки різанням, створенням нових матеріалів для різальних інструментів, вдосконаленням конструкцій металорізальних верстатів велика кількість дослідників пропонують не враховувати температурні деформації заготовок і інструментів [5].

На перший план виходить врахування температурних деформацій шпиндельних вузлів і пов'язаних з ними елементів верстатів. Тепловий вплив на шпиндельний вузол визиває ті ж самі наслідки, що й силова дія: деформацію деталей технологічної системи верстата.

Одним з етапів при аналізі теплових явищ у шліфувальних верстатах є експериментальне визначення температурних деформацій і визначення їх впливу на точність взаємного розташування шліфувального круга і заготовки.

За даними [6] зміщення шпинделя в різних площинах може складати від декількох сотих міліметра. Крім того, експериментальні дані фірм виробників верстатів показують, що температурні зміщення у сучасних прецизійних верстатах можуть перевищувати 100 мкм [7].

3. Мета дослідження. Експериментальне визначення змін у положенні шпинделя шліфувальної бабки круглошліфувальних верстатів внаслідок нагріву робочих рідин в підшипниках шпинделя протягом робочої зміни.

4. Викладення основного матеріалу.

З метою визначення впливу температури робочої рідини у підшипниках шпинделя шліфувальної бабки на величину його зміщення проведено експериментальні дослідження групи круглошліфувальних верстатів, базові деталі і вузли яких ідентичні аналогічним деталям і вузлам верстатів 3М152В, 3М162В, 3М152ВФ20 та іншим.

Температурні умови при проведенні експериментів були наступні. Температура в цеху протягом робочої зміни змінювалася на величину 2-3°C (рис. 1). У більшості досліджуваних верстатів (№1, №4, №5, №6, №7, №8, №9, №10) температурні умови були однакові – температура складала 18-22 °С, тільки у одному верстаті (верстат №2) температура складала 12-14 °С.

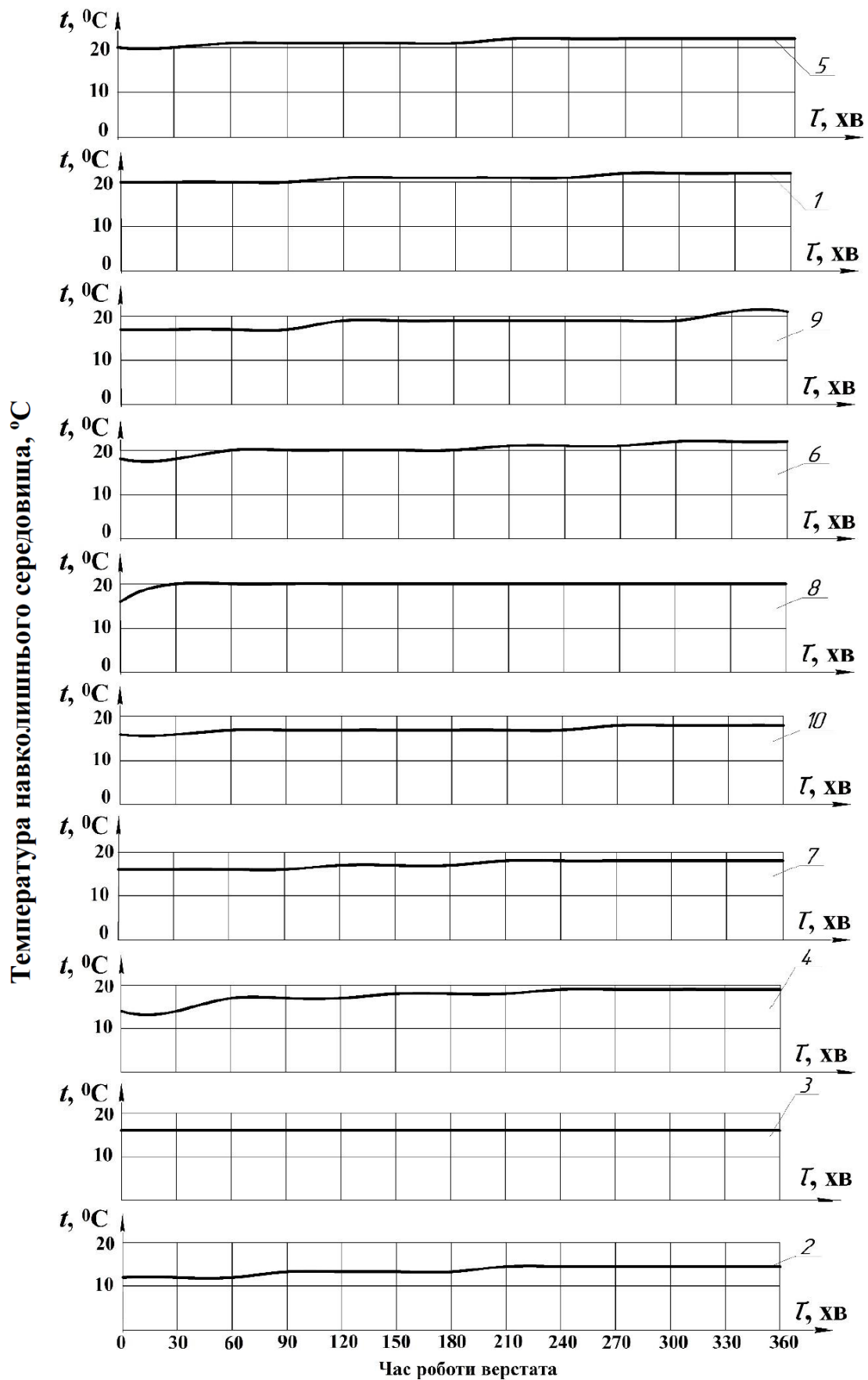


Рис. 1 – Характер зміни температури навколишнього середовища протягом робочого дня для верстату 3М151Ж 1...10 – порядкові номери верстатів

При аналізі поведінки шпинделя шліфувальної бабаки встановлено, що у 8 з 10 досліджуваних верстатів,

передній кінець шпинделя зміщується у бік заготовки (рис.2).

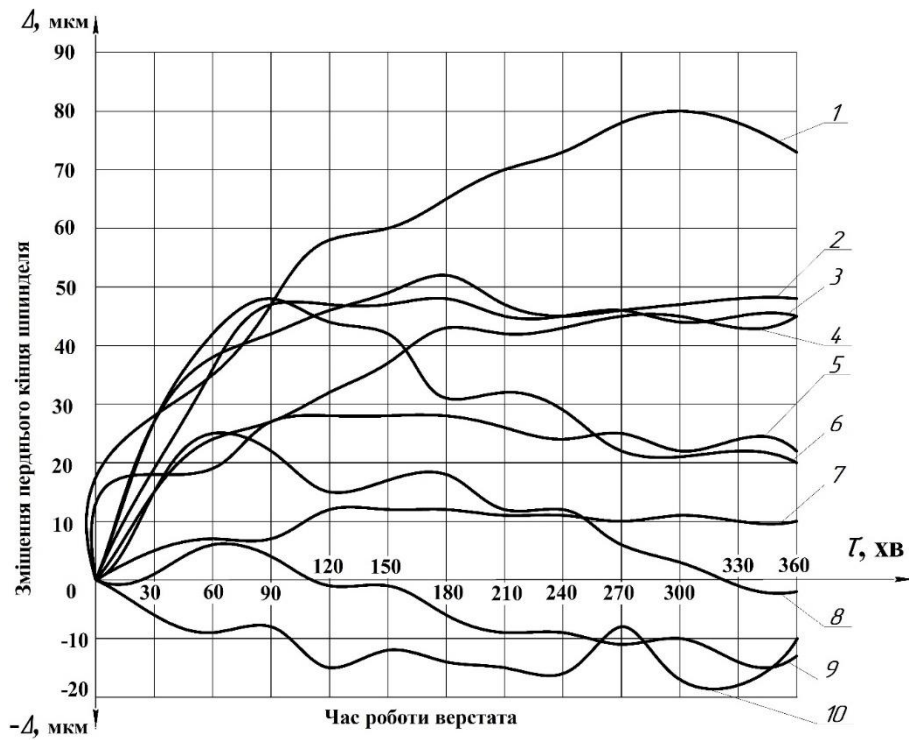


Рис. 2 – Зміщення переднього кінця шпинделя шліфувальної бабки верстатів 3A151 протягом робочого дня: 1...10 – порядкові номери верстатів

Тенденція зміщення переднього кінця шпинделя в бік заготовки спостерігається практично протягом 6 годин роботи верстатів.

У одному з двох верстатів, що залишилися (№9), передній кінець шпинделя в перші дві години роботи також переміщується у бік заготовки. Величина зміщення складала від 5 мкм (період роботи 30 хвилин) до 78...83 мкм (період роботи 330 хвилин). Середня величина зміщення шпинделя складала: 21,4 мкм через 60 хв роботи верстата; 36,5 мкм через 180 хв роботи верстата; 33 мкм через 360 хв роботи верстата.

Поведінка заднього кінця шпинделя сильно відрізнялася від поведінки переднього (рис. 3).

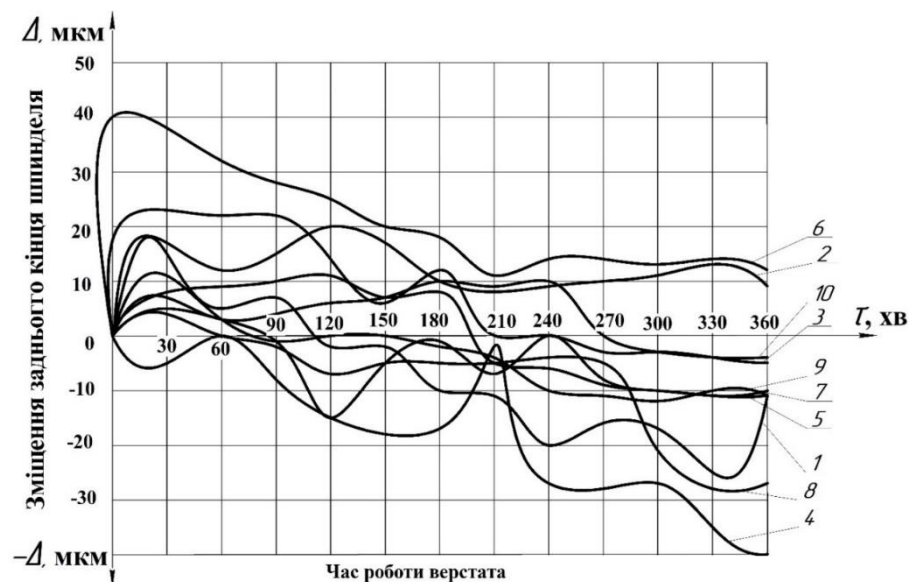


Рис. 3 – Зміщення заднього кінця шпинделя шліфувальної бабки верстатів 3A151 протягом робочого дня: 1...10 – порядкові номери верстатів

Очевидно, що для більшості верстатів задній кінець шпинделя при збільшенні часу роботи зміщувався від заготовки (верстати №1, №4, №5, №7, №8, №9). Для інших верстатів зміщення хоча й було спрямоване в бік заготовки, але зі збільшенням часу роботи значно зменшувалося (верстати №2 і №6), або й зовсім змінювало напрямок

(верстати №3 і №10).

Як показали дослідження, температура масла в підшипниках значною мірою впливає на величину зміщення шпинделя. Для оцінки цього впливу вводили параметр

$$f_{\Delta l/\Delta t} = \frac{\Delta l_{\text{шп}}}{\Delta t_{\text{ррп}}},$$

де $\Delta l_{\text{шп}}$ – величина зміщення шпинделя, мкм; $\Delta t_{\text{ррп}}$ – прирощення температури робочої рідини в підшипниках шпинделя, °С.

Для переднього кінця шпинделя

Для заднього кінця шпинделя

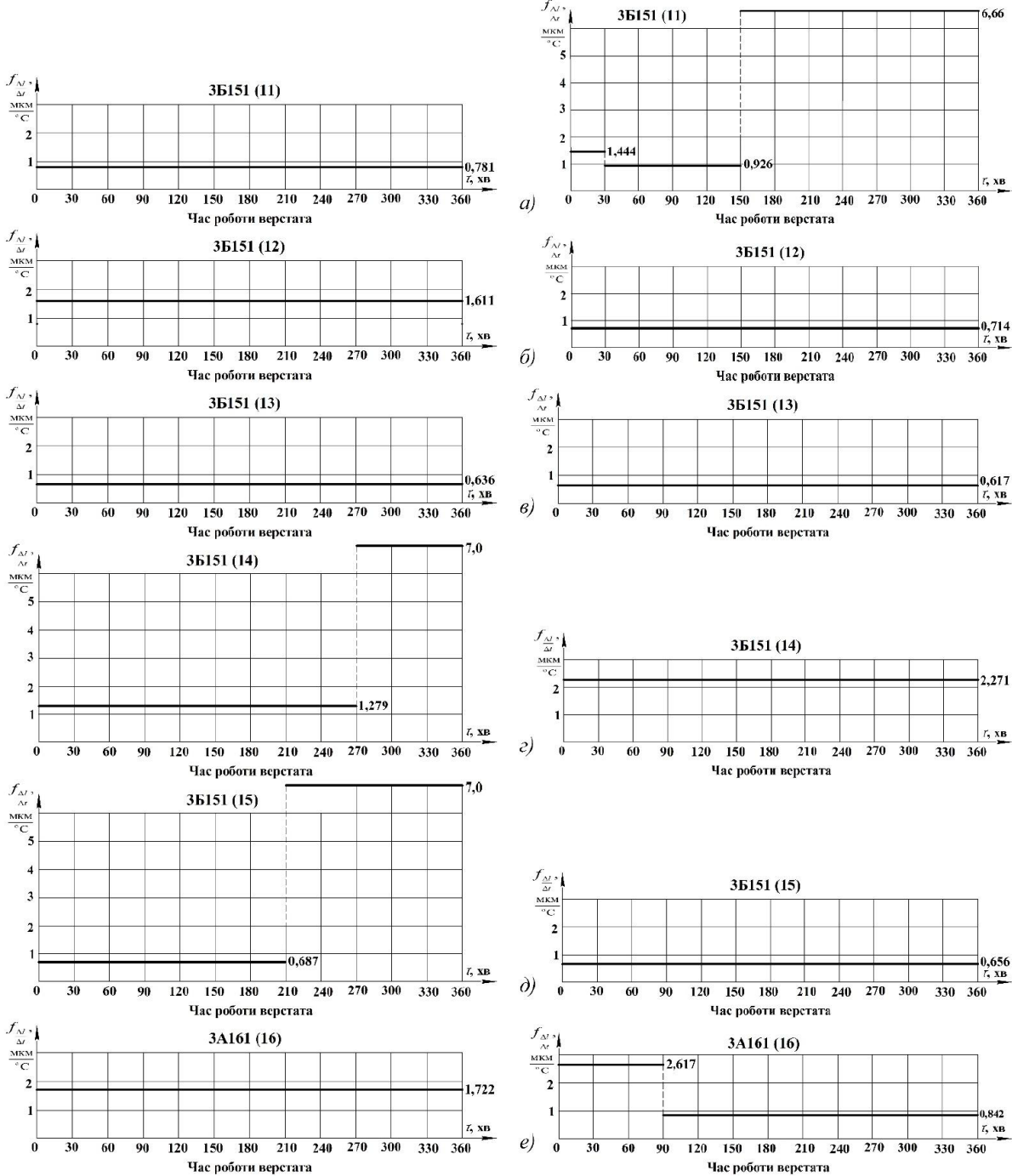
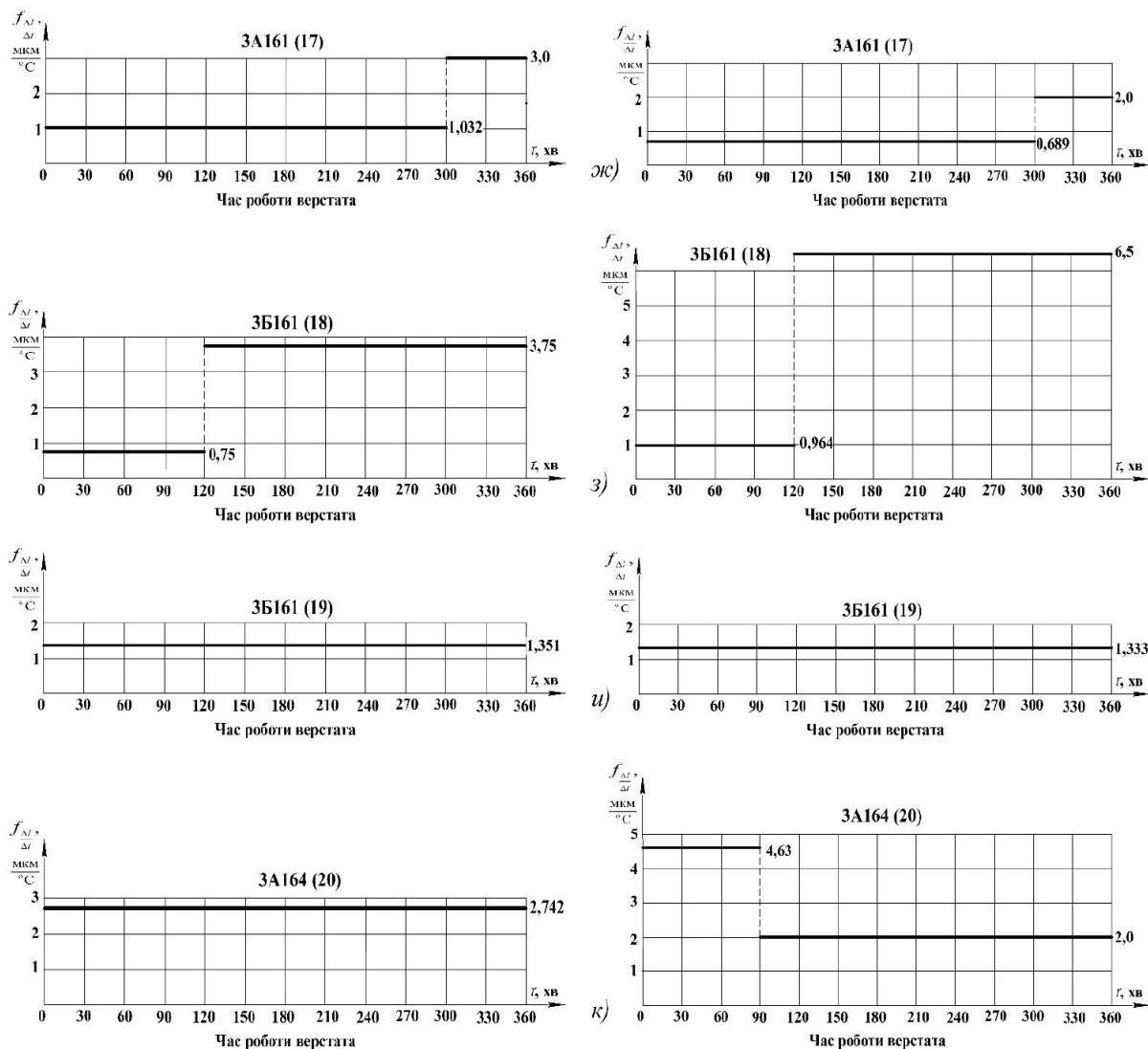


Рис. 4 – Зміна параметра $f_{\Delta l/\Delta t}$ протягом робочого дня



Закінчення рис. 4

Параметр $f_{\Delta l / \Delta t}$ показує на скільки мікрметрів зміщується задній або передній кінець шпинделя при нагріванні робочої рідини в його підшипниках на 1°C .

При дослідженні роботи 10 верстатів моделей 3B151, 3A161, 3B161 і 3A161 було визначено параметр $f_{\Delta l / \Delta t}$ для зміщення переднього і заднього кінців шпинделя шліфувальної бабки.

Як видно з діаграми на рис. 4, максимальна величина зміщення переднього кінця шпинделя 7 мкм при нагріванні робочої рідини у підшипниках на 1°C , що нетипово, і є, скоріш за все, виключенням з правил.

В середньому, при нагріванні робочої рідини на 1°C шпиндель зміщується в межах $1 \dots 2,5$ мкм. При цьому, якщо для переднього кінця шпинделя величина $f_{\Delta l / \Delta t}$ складає $2,109$ мкм/ $^\circ\text{C}$, то для заднього кінця шпинделя ця величина складає $1,922$ мкм/ $^\circ\text{C}$.

У половині випадків (для переднього кінця шпинделя в 6 з 10 випадків, для заднього – в 5 з 10) можна вважати, що $f_{\Delta l / \Delta t}$ протягом робочого дня змінюється мало. В інших випадках зміщення значне, причому $f_{\Delta l / \Delta t}$ значно збільшується, в основному, під кінець робочої зміни.

В той же час, під час досліджень спостерігались такі випадки, коли поведінка шпинделів носила інший характер, а саме – зміщення кінця шпинделя не відповідало рівню температури робочих рідин у підшипниках. Наприклад, у одного з верстатів 3A164 величина зміщення переднього кінця складало 115 мкм, а заднього – 30 мкм, при тому, що температура робочої рідини у підшипниках змінювалася в межах $10 \dots 40^\circ\text{C}$, а в задньому – в межах $18 \dots 38^\circ\text{C}$.

Отже, величина температурних деформацій може не залежати в такій степені від температури робочих рідин у підшипниках, як може показатися на перший погляд при аналізі результатів експериментів. У зв'язку з цим, слід спрямовувати дослідження на пошук інших причин, що здійснюють вплив на температурні зміщення деталей і вузлів верстата.

В результаті дії температурних факторів, а отже, нерівномірного зміщення кінців шпинделя на поверхні прошліфованих деталей виникають погрішності (відхилення від заданої геометричної форми), які проявляються у вигляді конусності у деталей, оброблених методом врізного шліфування.

Як видно з графіків (рис. 5), конусність протягом робочої зміни може змінюватися в широких межах, аж до

виникнення зворотного конуса (у діапазоні від 0 до 30 хвилин роботи верстата), що ілюструє графік (верстат №6).

Максимальна величина конусності $(71-210) \cdot 10^{-6}$ мм мала місце в кінці робочого дня, а мінімальна – $22 \cdot 10^{-6}$ мм – в перші 30 хвили роботи верстата.

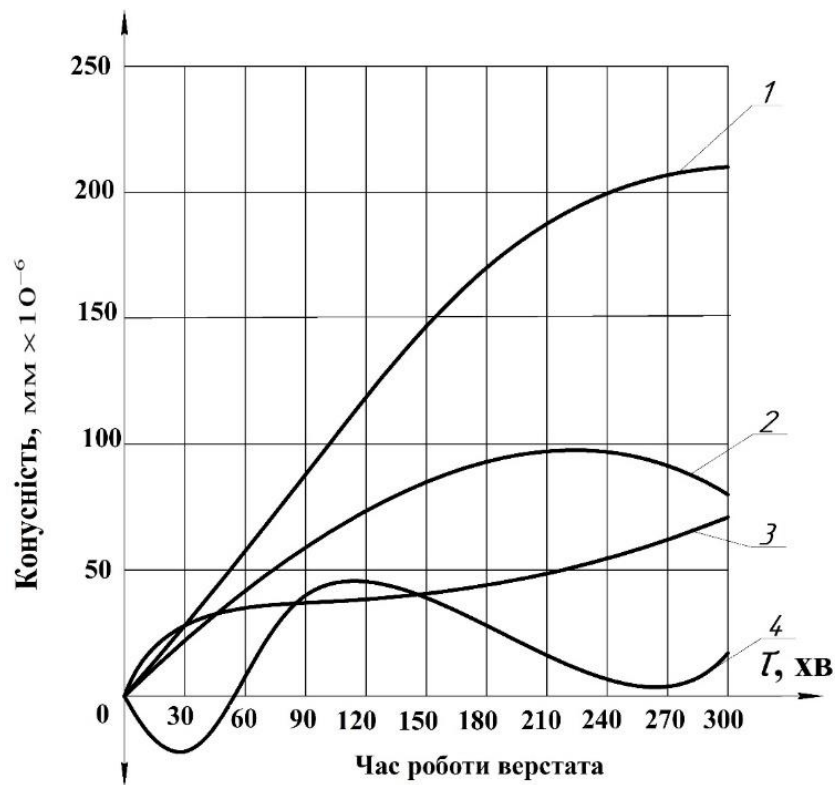


Рис. 5 – Можливе зміння конусності шліфованих деталей на верстатах 3A151: 1, 2, 3, 4 верстати відповідають верстатам №1, №2, №5, №6, що прийняті раніш (див. рис. 2)

Висновки.

1. Наведені результати експериментальних досліджень дали можливість визначити положення шпинделя шліфувальної бабки, яке змінюється при роботі верстата протягом робочої зміни.

2. Величина і напрямок зміщення шпинделя визначається температурою робочої рідини в його підшипниках. При нагріванні робочої рідини на 1°C задній або передній кінець шпинделя зміщується в межах 1...2,5 мкм.

3. Внаслідок зміни протягом робочого дня температурних умов роботи верстата і температури робочої рідини у підшипниках змінюється величина конусності, що виникає на поверхні шліфованих деталей.

4. Приведені результати необхідно розглядати не як остаточні, а як проміжні результати, оскільки вони не враховують ряд факторів, серед яких, наприклад, циклічність роботи верстата і значний вплив стану і якості МОР.

Список літератури:

16. Степанов М.С., Літовченко П.І., Іванова Л.П., Іванова М.С. Експериментальні дослідження температури робочої рідини в підшипниках шпинделя круглошліфувальних верстатів // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: зб. наук.пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – № 1 (5) 2022. – С. 27–32.
17. Stepanov, M., Ivanova, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Tarasenko, O. Study of Thermal Modes of Working Fluids in Grinding Machines. In: , et al. Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. 2020. – P. 299–308.
18. Іванова Л.П. Аналіз теплового стану технологічних рідин металорізальних верстатів / Л.П. Іванова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Серія: Технології в машинобудуванні, №1. – 2020. – С. 36-40.
19. Рохин В.Л. Исследование баланса тепловых деформаций токарного станка с ЧПУ / В.Л. Рохин, Л.В. Рохин // Вестник КГУ. – 2005. – №2. – С. 106-108.
20. Гончаров А.Н. Компенсация температурной погрешности станков с ЧПУ на основе коррекции управления движением их рабочих органов: дис. канд. техн. наук: спец. 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» / А.Н. Гончаров. – «Оренбургский государственный университет», 2018. – 230 с.
21. Якимов О.В., Усов А.В., Слободяник П.Т., Горгачов Д.В. Теплофізика механічної обробки / О.В. Якимов, А.В. Усов, П.Т. Слободяник, Д.В. Горгачов. – Одеса: Астропринт, 2000. – 256 с.
22. Поляков А.Н., Марусич К.В. Управление термодформационным состоянием станка на основе автоматизации прогнозирования температурных перемещений исполнительных органов: учеб. пособие. – Оренбургский государственный университет, 2012. – 220 с.

References (transliterated)

16. Stepanov M.S., Litovchenko P.I., Ivanova L.P., Ivanova M.S. *Eksperymentalni doslidzhennia temperatury robochoi ridyny v pidshypanykakh shpyndelia kruhloshlifovalnykh verstativ* [Experimental studies of working fluid temperature in spindle bearings of cylindrical grinding machines] // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seria: Tekhnolohii v mashynobuduvanni = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: zb. nauk.pr. / Nats. tekhn. un-t «Kharkiv. politekhn. in-t». – Kharkiv : NTU «KhPI», 2022. – № 1 (5) 2022. – S.

17. Stepanov, M., Ivanova, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Tarasenko, O. Study of Thermal Modes of Working Fluids in Grinding Machines. In: , et al. *Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 299–308. (2020).
18. Ivanova L.P. *Analiz teplovoho stanu tekhnologichnykh ridyn metalorizalnykh verstativ* [Analysis of the thermal state of technological fluids of metal-cutting machines] / *Visnyk NTU "KHPI". Seriya: Tekhnologii v mashynobuduvanni*. №1. 36-40 (2020).
19. Rohin V.L., Rohin L.V. *Issledovanie balansa teplovykh deformatsiy tokarnogo stanka s ChPU* [Investigation of the balance of thermal deformations of a CNC lathe]. / *Vestnik KGU*. №2. 106-108 (2005).
20. Honcharov A.N. *Kompensatsiya temperaturnoi pohreshnosti stankov s ChPU na osnove korrektsyy upravleniya dvyzhenyem ykh rabochoykh orhanov* [Compensation of the temperature error of CNC machine tools based on the correction of the motion control of their working bodies]: dys. kand. tekhn. nauk: spets. 05.13.06 «Avtomatyzatsiya y upravlenye tekhnologicheskymy protsessamy y proyzvodstvamy» / A.N. Honcharov. – «Orenburshskiy gosudarstvennyi unyversytet», 2018. – 230 s.
21. Iakymov O.V., Usov A.V., Slobodianyuk P.T., Horhachov D.V. *Teplofizyka mekhanichnoi obrobky* [Thermophysics of mechanical processing] / O.V. Yakymov, A.V. Usov, P.T. Slobodianyuk, D.V. Horhachov. – Odessa: Astroprint, 2000. – 256 s.
22. Poliakov A.N., Marusych K.V. *Upravlenye termodeformatsionnym sostoianiem stanka na osnove avtomatyzatsyy prohnozyrovaniya temperaturnykh peremeshcheniy yspolnytelnykh orhanov: ucheb. Posobyie* [Control of the thermal deformation state of the machine tool based on the automation of forecasting the temperature movements of the executive bodies]. – Orenburshskiy gosudarstvennyi unyversytet, 2012. – 220 s.

Поступила (received) 30.06.2022

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Степанов Михайло Сергійович (Степанов Михаил Сергеевич, Mykhailo Stepanov) – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2224-6509>; тел.: (057) 720-66-25. e-mail: mykhaylo.stepanov@khp.edu.ua.

Літовченко Петро Іванович (Литовченко Петр Иванович, Petro Litovchenko) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4483-597X>, e-mail: pilitovchenko1950@gmail.com.

Іванова Лариса Петрівна (Иванова Лариса Петровна, Larysa Ivanova) – старший викладач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-7372>, тел.: (057) 720-66-25, e-mail: larisanangu@gmail.com.

Іванова Марина Сергіївна (Иванова Марина Сергеевна, Maryna Ivanova) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0848-6805>; тел.: (057) 720-66-25; e-mail: maryna.ivanova@khp.edu.ua.