

Л.П. Іванова, доктор філософії, менеджер справ

зі стабільності життя Альянсу жінок-біженок,

м. Сіетл, штат Вашингтон (США);

П.І. Літовченко, к. т. н., проф., ст. наук. співробітник

кафедри «Інтегровані системи машинобудування» ім. М.Ф. Семка,

НТУ «Харківський політехнічний інститут»;

Л.Г. Полонський, д. т. н., проф., професор кафедри механічної інженерії та автомобільного

транспорту,

О.А. Громовий, к. т. н., доц., зав. кафедри робототехніки, електроенергетики та автоматизації ім.

проф. Б.Б. Самотокаїна,

Державний університет «Житомирська політехніка»

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ФОРМУВАННЯ ТОЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ ПРИ КРУГЛОМУ ЗОВНІШНЬОМУ ШЛІФУВАННІ

Надійність, ефективність і конкурентоздатність сучасних машин, особливо, військової техніки, характеризується високою якістю і точністю виготовлення деталей і вузлів, що забезпечується сучасним рівнем і культурою технології їх виготовлення.

Шліфування є домінуючою технологічною операцією фінішної обробки деталей машин. Питома вага шліфувальних операцій сягає 27...30 % з тенденцією зростання, а питома вага шліфування деталей в авіаційно-космічній галузі становить 40...50 %. Тобто, шліфування є операцією, що забезпечує точність та високу якість поверхонь деталей сучасних машин.

При шліфуванні одним з основних факторів виникнення похибок розмірів та відхилення форми деталей є температурні деформації деталей та вузлів шліфувальних верстатів [1, 2]. З цієї причини вивчення впливу різних факторів на точність обробки шліфуванням є важливою і актуальною задачею. Це актуально для шліфування важкооброблюваних матеріалів, – титанових сплавів та нержавіючих сталей, які широко застосовуються у машинобудуванні. Це пояснюється теплоємністю шліфування вказаних матеріалів і, як наслідок, значним впливом температурних деформацій на точність деталей [3, 4].

Метою дослідження була розробка засобів оцінки впливу температурних деформацій елементів круглошліфувальних верстатів на похибку розташування формоутворюючих елементів шліфувального круга відносно заготовки і на точність оброблених деталей.

Передбачалось дослідження температурних деформацій станини та інших базових елементів круглошліфувальних верстатів, що виникають внаслідок їх нагрівання під впливом різних джерел тепла, а саме: за рахунок тертя у приводах і направляючих, шліфувальній бабці та столі; нагрівання при попаданні розігрітої мастильно-охолоджувальної рідини (МОР), що поглинає тепло із зони шліфування та передає його на станину та інші елементи верстата; підвищення температури навколишнього середовища. Температурні деформації базових елементів верстата оцінювалися шляхом визначення величини зміни взаємного положення шліфувального круга та столу верстата із закріпленою на ньому заготовкою при її русі у процесі роботи верстата. В даній роботі проведено порівняльний аналіз результатів дослідження декількох круглошліфувальних верстатів одного класу точності.

Дослідження показало, що теплові зміщення точок заготовки спричинені непрямолінійністю руху стола внаслідок температурних деформацій. Наведено експериментальні дані щодо відносного зміщення шліфувального круга та заготовки залежно від терміну роботи верстата. Представлені швидкості переміщення контрольних точок заготовки внаслідок обертання стола верстата, спричинені температурними деформаціями, оцінено вплив зміни температури навколишнього середовища протягом робочої зміни на відхилення від прямолінійності руху стола.

Встановлено, що основним фактором виникнення похибок обробки є викривлення напрямних стола, що може бути наслідком нерівномірного нагрівання станини внаслідок різного теплового впливу МОР на її окремі ділянки. При цьому рух стола стає непрямолінійним, що призводить до відхилення вихідної форми направляючих станини та зміщення переднього і заднього кінців шпинделя від його номінального положення.

Зі збільшенням часу роботи верстата стіл з оправкою, встановленою в центрах, змінює своє положення у горизонтальній площині і величина цієї зміни сягає декілька десятків мікрометрів.

З метою визначення температурних деформацій станини проведено експериментальні дослідження групи круглошліфувальних верстатів, станини та інші деталі яких ідентичні з деталями та вузлами сучасних верстатів 3M152B, 3M162B, 3M152BF20 та ін.

Встановлено, що теплове зміщення заготовки протягом робочої зміни становить 7...22 мкм. У верстатах 3A164, що мають великі габарити, зміщення теплових переміщень більші і можуть досягати 44...47 мкм.

Під час проведення досліджень також встановлено, що, при повороті заготовки у горизонтальній площині відносно шліфувального круга, за рахунок температурних деформацій найбільше зміщення спостерігається у точках, розташованих на відстані 400...500 мм від передньої бабки.

Таким чином, порівняльний аналіз результатів дослідження верстатів однотипних моделей показує, що максимальне теплове зміщення точок заготовки внаслідок непрямолінійності руху стола через температурні деформації знаходиться у межах 13...19 мкм, що значно менше зміщення шліфувальної бабки в результаті

температурних деформацій, яке становить для переднього кінця шпинделя 18...77 мкм, а для заднього – 12...40 мкм. При цьому швидкість максимального зміщення точок заготовки від їхнього номінального положення становить 1,33...7,33 мкм/год.

Зміна температури навколишнього середовища не більше ніж на 1...2°C практично не впливає на величину теплового зміщення, але при більш значних змінах температури протягом робочої зміни – до 5 С і більше, – призводить до його збільшення на 60 %.

Описане зміщення кінців шпинделя у просторі, обумовлене впливом температурного режиму мийно-охолоджувальних середовищ і систем, що використовуються у верстатах, а саме: МОР, робочих рідин гідросистеми та систем змащування. При цьому, найбільш важливим фактором впливу є температура в опорах підшипниках шпинделя.

Встановлено, що наприкінці робочого дня (через 360 хв) температура рідини у підшипниках шпинделя максимальна і може сягати 60 С, що недопустимо. При цьому максимальна температура робочої рідини у підшипниках встановлюється для різних верстатів у інтервалі 200...300 хв роботи верстатів, а стабілізація температури рідин – через 150...180 хв роботи верстата.

Температура робочої рідини у підшипниках коливалася від 8 до 10°C і визначається температурою навколишнього середовища, а під час роботи у передній опорі вона вища, ніж у задній. Різниця спостерігається протягом всього робочого дня і складає 2...11°C.

При проведенні експериментів спостерігалася тенденція зміщення переднього кінця шпинделя у бік заготовки (величина зміщення – від 5 мкм (період роботи 30 хв) до 78...83 мкм (період роботи – 330 хв)). Середня величина зміщення шпинделя складала: 21,4 мкм через 60 хв роботи; 36,5 мкм – через 180 хв; 33 мкм – через 360 хв роботи верстата.

Поведінка заднього кінця шпинделя відрізняється від поведінки переднього. Для більшості досліджуваних верстатів задній кінець шпинделя при збільшенні часу роботи зміщувався від заготовки. Але величина зміщення кромки круга протягом робочої зміни може у багатьох випадках змінюватися у широких межах, що приводить до виникнення різної величини конусності, аж до виникнення зворотного конуса (у діапазоні від 0 до 30 хв роботи верстата).

Максимальна величина конусності – 1 : 845 – спостерігалася наприкінці робочого дня, а мінімальна – 1 : 4545 – у перші 30 хв роботи верстата.

Результати певним чином враховують нестационарний характер обробки, що змінюється, зокрема: періодичну подачу МОР в зону шліфування, періодичні зупинки процесу обробки для зміни та переточування різального інструмента тощо. Рекомендуються для використання при проектуванні підсистем МОР для застосування їх на круглошліфувальних верстатах і до використання у навчальному процесі закладів вищої освіти машинобудівного профілю.

Список літератури:

1. Stepanov, M., Ivanova, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Kotliar, A. Improvement of the Accuracy of Grinding by Means of Coolant Supply. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manuf. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 325-335. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50794-7_32.
2. Stepanov, M., Ivanova, L., Polonsky, L., Tretyak, T., Ivanova, M. (2025). The effect of thermal deformations of the grinding head of a circular grinding machine on the accuracy of grinding parts. In: Machado, J., Troyanovska, J., Ottaviano, E., Xavior, M.A., Valashek, P., Basova, Yu. (eds.) *Innovations in Mechanical Engineering IV. ICIENG 2025. Lecture notes on mechanical engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-93554-1_8
3. Stepanov, M., Ivanova, M., Litovchenko, P., Ivanova, L., Havryliuk, Y. Study of Heat Transfer Conditions in the Cutting Zone When Grinding. In: Ivanov V. et al. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manuf. DSMIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. pp 173-181. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-79165-0_17/
4. Мазильно-охолоджуючі технологічні засоби. Тепловий фактор у формуванні точності шліфуваних деталей [Електронний ресурс] : монографія / М. С. Степанов, Л. П. Іванова, П. І. Літовченко, М. С. Іванова ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" – Електрон. текст. дані. – Харків: НТУ "ХПІ", 2025. – 231 с. – URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/86858>.