

УДК 621.924-187:539.377

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ВУЗЛІВ БАГАТОКРУГОВИХ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ НА ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ

©Кондратюк О. Л.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про автора:

Кондратюк Олег Леонідович: ORCID:0000-0002-3263-0483; mot@upra.ua; кандидат технічних наук; доцент кафедри металоріжучого обладнання і транспортних систем; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська 16, м. Харків, 61003, Україна.

Наведені результати дослідження температурних похибок базових багатокругових верстатів. Отримані залежності для розрахунку похибок діаметрів валів при обробці їх на багатокругових круглошліфувальних верстатів моделі ХШ, в результаті теплових деформацій базових вузлів. На основі залежностей можна визначити оптимальну величину настрою них розмірів діаметрів шийок оброблюваних в люнетах і без них. Встановлено, що швидкість переміщення центру задньої бабки 0,8 мкм/год, центру передньої бабки – 2 мкм/год, лівої опори шпинделя – 8 мкм/год, правої опори – 14 мкм/год. Закономірності утворення похибки форми досліджувалися за допомогою математичних моделей, що відображають основні властивості реальних процесів і які визначають зв'язок між вхідними і вихідними впливами. Це дозволило вирішувати складні аналітичні задачі і знайти оптимальну стратегію управління, що враховує конкретний верстат і продуктивність при заданій або максимально досяжній точності обробки.

Ключові слова: шліфування; температурна деформація; верстат; точність обробки.

Кондратюк О. Л. «Влияние температурных деформаций узлов много круговых круглошлифовальных станков на точность обработки».

Приведенные результаты исследования температурных погрешностей базовых многокруговых станков. Полученные зависимости для расчета погрешностей диаметров валов при обработке их на многокруговых круглошлифовальных станков модели ХШ, в результате тепловых деформаций базовых узлов. На основе зависимостей можно определить оптимальную величину настройки ных размеров диаметров шеек обрабатываемых в люнетах и без них. Установлено, что скорость перемещения центра задней бабки 0,8 мкм/ч, центру передней бабки – 2 мкм/ч, левой опоры шпинделя – 8 мкм/ч, правой опоры – 14 мкм/ч. Закономерности образования погрешности формы исследовались с помощью математических моделей, отражающих основные свойства реальных процессов и устанавливающих связь между входными и выходными воздействиями. Это позволило решать сложные аналитические задачи и найти оптимальную стратегию управления, учитывающую конкретный станок и производительность при заданной или максимально достижимой точности обработки.

Ключевые слова: шлифовка; температурная деформация; станок; точность обработки.

Kondratyuk O. “The influence of temperature strains are many nodes on the circular cylindrical grinding machine precision machining”.

The results of research of temperature errors many-circular basic machines. These dependences for calculation errors shaft diameters in the processing of their on many-circular grinding machines HS model, as a result of thermal deformation of the base units. On the basis of the dependencies you can

define the optimal value mood dimensions diameters of necks in the lunettes and processed without them. It was found that the rate of movement of the tailstock 0,8 mkm/h center, the center of the headstock – 2 mkm/h, the left spindle bearings – 8 mkm/h, the right support – 14 mkm/h. Laws of formation of error forms were studied using mathematical models that reflect the basic properties of real processes and establishing the connection between the input and output actions. It is possible to solve complex analytical problems and find the optimal management strategy, tailored to the specific machine and performance at a predetermined or maximum achievable accuracy.

Key words: grinding; thermal deformation of machine accuracy.

1. Вступ

Багатокругові круглошліфувальні верстати використовуються при виготовленні деталей автомобілів і тракторів, зокрема, розподільчих і колінчастих валів. На них одночасно обробляється декілька поверхонь, що підвищує продуктивність обробки в 3...4 рази. За звичай допуски на діаметрі поверхонь (шийок) знаходяться в границях 6, 7-го квалітетів для різних типів валів.

Багатокругові круглошліфувальні верстати відносяться до напівавтоматів, які працюють по настройці. Для таких верстатів дуже важливо знати вплив температурних деформацій вузлів, що приймають участь в розміроутворенні, на зміщення центру групування розмірів шийок. Це дозволяє визначити оптимальний налаштований настроєний розмір і в цілому підвищити точність і продуктивність обробки.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Підвищення точності металорізальних верстатів неможливо без глибокого і всебічного вивчення процесів, що протікають при їх роботі. Оскільки верстати в процесі експлуатації підвергаються зовнішнім і внутрішнім впливам, в них неминуче виникають явища, що призводять до трансформаційних змін їх характеристик і зниження точності оброблюваних заготовок.

При різанні в механізмах круглошліфовального верстата виділяється тепло від власних джерел.

Вплив теплових деформацій на зміну точності обробки залежить від нерівномірності нагріву і температури вузлів. У зв'язку з цим змінюється напрямок відносного переміщення елементів верстата і заготовки.

Як показав аналіз впливів, що обурюють, теплові деформації - не єдина причина похибок заготовок. Більш того, для шліфування в центрах вони досить малі в порівнянні з пружними деформаціями. Точність форми заготовок також багато в чому залежить від коливальних процесів, що визначаються, з одного боку, векторної сумою амплітуд цих коливань, а з іншого – абсолютною і відносною жорсткістю вузлів і опорних стиків в верстаті [2]. При цьому конкретний верстат матиме свої значення власних частот, і в разі появи збурень на цих частотах точність обробки буде найменшою з-за резонансних явищ.

3. Метою роботи є визначити швидкість і направлення температурних деформацій базових вузлів багато кругових спеціалізованих верстатів моделі ХШ, які приймають участь в розміроутворенні, і на цій основі розробити розрахункову схему і визначити аналітичні залежності для розрахунку зміни розмірів поверхонь при розігріванні верстата.

Верстати та інструменти

4. Виклад основного матеріалу

Нижче описані результати дослідження температурних похибок базових багатокругових верстатів Харківського верстатобудівного заводу для обробки деталей автомобілів і тракторів.

Теплові деформації базових вузлів багатокругових верстатів.

Дослідженню підлягали спеціалізовані багатокругові верстати моделей ХШ-25, ХШ2-15. Були встановлені температурні переміщення в горизонтальній площині опірних місць переднього і заднього центрів, опор шпинделю, люнетів при розігріванні верстатів на холостому ході.

Вимір величин переміщень виконувалось мікаторними голівками (ціна ділення 0,001 мм), встановленими на столі верстата. Графіки по одержаними даними показані на рис. 1-4.

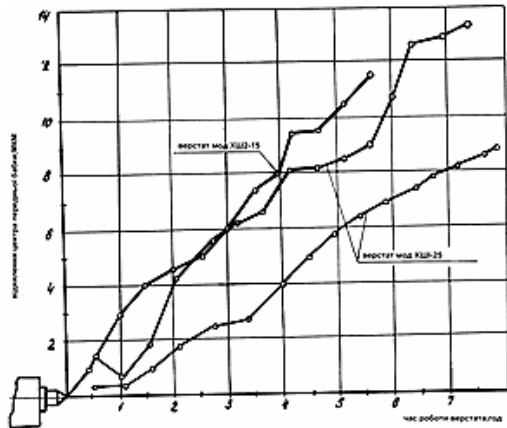


Рис. 1 – Графік температурного переміщення центра передньої бабки при роботі багатокругових верстатів мод. ХШ на холостому ході

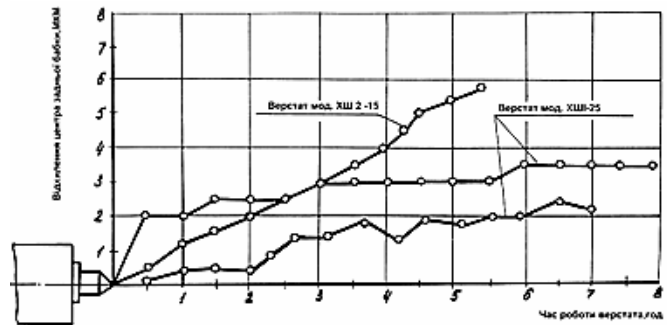


Рис. 2 – Графік температурного переміщення центра задньої бабки при роботі багатокругових верстатів мод. ХШ на холостому ході

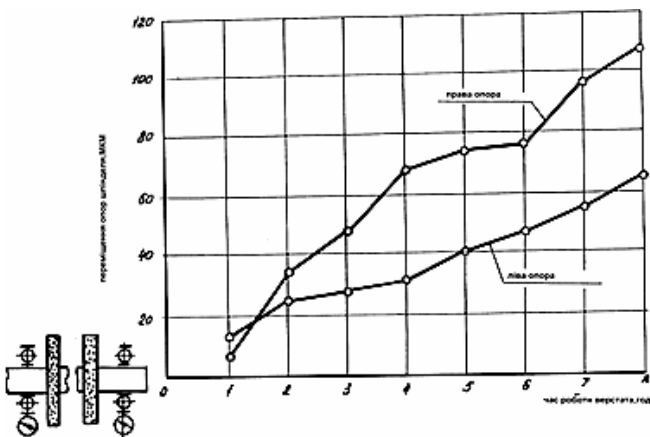


Рис. 3 – Графік температурного переміщення опор шпинделя при роботі багатокругового верстату мод. ХШ 1-25 на холостому ході

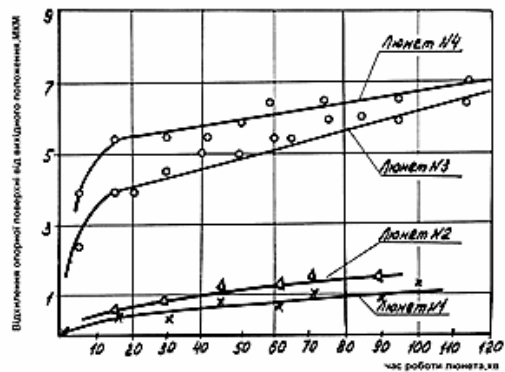


Рис. 4 – Температурні переміщення опорної поверхні люнетів багатокругових верстатів

На основі показаного представлена типова схема температурних деформацій багатокругових верстатів моделей ХШ (рис. 5).

Вплив температурних деформацій базових вузлів багатокругових верстатів на точність обробки.

Результати експериментального дослідження показують, що взаємне розміщення шліфувальних кругів і шийок оброблюємого валу, яке одержане при настройці, буде змінюватись при розігріванні верстата.

Кількісна сторона впливу температурних деформацій на похибки діаметрів залежить від типу валу (довжини, взаємного розміщення шийок і їх кількості), а також від того, діаметр якої шийки контролюється приладом активного контролю. Тому виникає необхідність розрахунку температурних похибок в кожному конкретному випадку обробки.

Для розробки методики розрахунку в якості вихідних приймаємо:

- креслення оброблюемого валу;
- метод одержання розмірів шийок вала;
- напрямлення і швидкість теплових деформацій базових вузлів верстата;
- конструктивні розміри верстата: відстань між опорами шпинделя $L_{оп.шп.}$, центрами верстата $L_{ц}$, відстань від опори шпинделя, центра до люнетів $L_{л1}$ і до скоби приладу активного контролю.

На багатокругових верстатах мод. ХШ діаметр однієї шийки контролюється скобою приладу, а діаметри решти одержуємо настройкою.

Розрахункова схеми показана на рис 6.

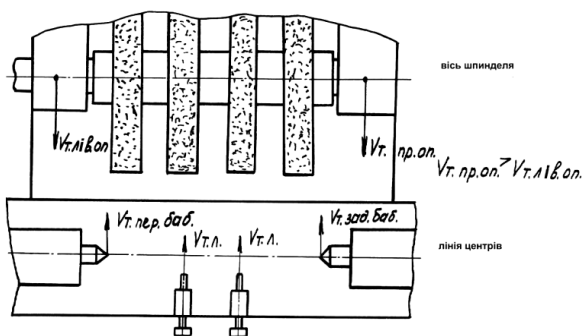


Рис. 5 – Направлення температурних деформацій вузлів багатокругових верстатів мод. ХШ

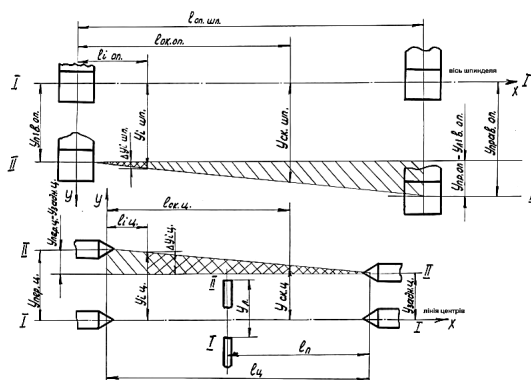


Рис. 6 – Схема для розрахунку температурних похибок багатокругових верстатів

При розігріванні верстата шліфувальні круги і деталь будуть зближуватись, що буде приводити до зменшення діаметра шийок вала. Роботою приладу активного контролю буде компенсуватись (шліфувальна бабка буде не доходити) температурне сумарне переміщення осі шпинделя і лінії центрів, яке рівно

$$Y_{СК.Т} = Y_{СК.Ш} + Y_{СК.Ц}, \quad (1)$$

де $Y_{СК.Ш}$, $Y_{СК.Ц}$ – відповідно температурне переміщення осі шпинделя і лінії центрів в перерізі, де розміщена скоба активного контролю.

На діаметр i -тої шийки вала, що обробляються без люнета, буде передаватись температурна похибка

$$\Delta d_{iT} = 2(Y_{СК.Ш} + Y_{i_{ПШ}}) + 2(Y_{СК.Ц} - Y_{i_{Ц}}). \quad (2)$$

Проте

$$Y_{i_{ПШ}} = Y_{ЛВ.ОП} + \Delta Y_{i_{ОП}},$$

$$Y_{i_{Ц}} = Y_{ЗДН.Ц} + \Delta Y_{i_{Ц}}.$$

Тоді

$$\Delta d_{iT} = 2(\Delta Y_{СК.Ш} - \Delta Y_{i_{ПШ}}) + 2(\Delta Y_{СК.Ц} - \Delta Y_{i_{Ц}}). \quad (2^*)$$

На основі подібності трикутників (штриховані на рис. 6) виражаємо $\Delta Y_{i_{ПШ}}$ і $\Delta Y_{i_{Ц}}$ через відомі температурні переміщення шпіндельних опор, $Y_{ПРАВ.ОП}$, $Y_{ЛВ.ОП}$ і центрів $Y_{ПЕР.Ц}$, $Y_{ЗДН.Ц}$. Одержуємо:

Верстати та інструменти

$$\Delta Y_{i_{\text{шп}}} = \frac{(Y_{\text{ПРАВ.ОП}} - Y_{\text{ЛІВ.ОП}})}{L_{\text{ОП.ШП}}},$$

$$\Delta Y_{i_{\text{ц}}} = \frac{(Y_{\text{ПРАВ.ОП}} - Y_{\text{ЛІВ.ОП}}) \times (L_{\text{ц}} - Li_{\text{ц}})}{L_{\text{ц}}}$$

Після підстановки $Y_{i_{\text{шп}}}$ і $Y_{i_{\text{ц}}}$ в формулу (2*) і виконання перетворень одержимо:

$$\Delta di_T = 2 \left[\frac{Y_{\text{ПРАВ.ОП}} - Y_{\text{ЛІВ.ОП}}}{L_{\text{ОП.ШП}}} (L_{\text{СК.ОП}} - Li_{\text{ОП}}) + \frac{Y_{\text{ПЕР.Ц}} - Y_{\text{ЗАДН.Ц}}}{L_{\text{ОП.ШП}}} (Li_{\text{ц}} - L_{\text{СК.Ц}}) \right]$$

Оскільки переміщення опор шпинделя і центрів в функції часу змінюється по лінійному закону $Y_i = Kit$, то можна записати:

$$\Delta di_T = 2 \left[\frac{K_{\text{ПРАВ.ОП}} - K_{\text{ЛІВ.ОП}}}{L_{\text{ОП.ШП}}} (L_{\text{СК.ОП}} - Li_{\text{ОП}}) + \frac{K_{\text{ПЕР.Ц}} - K_{\text{ЗАДН.Ц}}}{L_{\text{ц}}} (Li_{\text{ц}} - L_{\text{СК.Ц}}) \times t \right],$$

де

$$(Li_{\text{ц}} - L_{\text{СК.Ц}}) t = 2 [K_{\text{ОП}} (L_{\text{СК.ОП}} - Li_{\text{ОП}}) + K_{\text{ц}} (Li_{\text{ц}} - L_{\text{СК.Ц}}) \times t]$$

де

$$\frac{K_{\text{ПРАВ.ОП}} - K_{\text{ЛІВ.ОП}}}{L_{\text{ОП.ШП}}} = K_{\text{ОП}}$$

$$\frac{K_{\text{ПЕР.Ц}} - K_{\text{ЗАДН.Ц}}}{L_{\text{ц}}} = K_{\text{ц}}$$

$$\text{Проте } |L_{\text{СК.ОП}} - Li_{\text{ОП}}| = |Li_{\text{ц}} - L_{\text{СК.Ц}}|$$

В результаті

$$\Delta di_T(t) = 2(K_{\text{ОП}} - K_{\text{ц}}) \times (L_{\text{СК.ОП}} - Li_{\text{ОП}}) \times t \quad (3)$$

Для шийок, що оброблюється в люнеті, необхідно враховувати температурні деформації штоку люнета.

Які в попередньому варіанті, роботою прибору активного контролю буде компенсуватись сумарне переміщення осі шпинделя і лінії центрів Уск.т (див. формулу 1).

На люнетну шийку буде передаватися похибка

$$\Delta d_{\text{ЛТ}} = (Y_{\text{СК.ШП}} - Y_{\text{Л.ШП}}) + (Y_{\text{СК.Ц}} - Y_{\text{Л}})$$

Якщо виразити температурне переміщення осі шпинделя і лінії центрів в перерізі розміщення люнетної шийки через переміщення опор шпинделя $Y_{\text{ПРАВ.ОП}}$, $Y_{\text{ЛІВ.ОП}}$ і центрів $Y_{\text{ПЕР.Ц}}$, $Y_{\text{ЗАДН.Ц}}$ і врахувати лінійний характер переміщень, то для 5 люнетних шийок одержимо:

$$\Delta di_T(t) = \{K_{\text{ОП}} (L_{\text{СК.ОП}} - Li_{\text{ОП}}) + [K_{\text{ЗАДН.Ц}} + K_{\text{ц}} (L_{\text{ц}} - L_{\text{СК.Ц}})] \times t\}. \quad (4)$$

Приклад розрахунку настроювальних розмірів для опорних шийок розподільчого валу 968-10060 15А (Мелітопольський машинобудівний завод) при обробці його на багато круговому верстаті модель ХШ-25НІ.

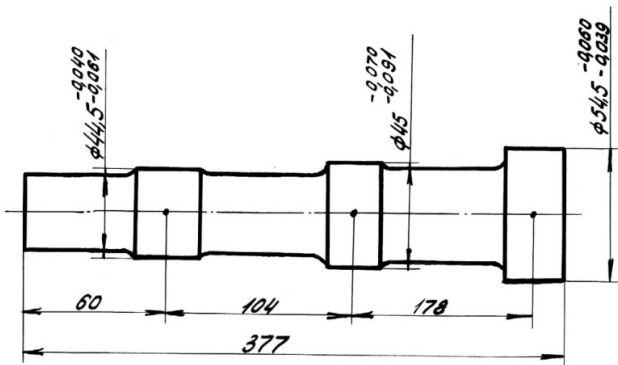
Вихідні дані.

Виконується одночасно шліфування 3-х опірних шийок вала в розміри

$$d = 44,5^{+0,040}_{-0,061} \text{ мм}, d = 45^{+0,070}_{-0,091} \text{ мм}, d = 54,5^{+0,029}_{-0,060} \text{ мм (рис. 7).}$$

Шийка $d = 44,5^{+0,040}_{-0,061}$ мм контролюється скобою приладу активного контролю, шийки

$d = 45^{+0,070}_{-0,091}$ мм оброблюється в люнеті.

**Рис. 7** – Розподільчий вал 968-1006015

$d = 54,5^{+0,029}_{-0,060}$, ми будемо мати

$$\Delta d_{3T}(t) = 2(5 \times 10^{-3} - 1,8 \times 10^{-3})(496 - 778)t = -1,8t \text{ мкм}$$

Для люнетної шийки по формулі (4)

$$\Delta d_{2T}(t) = \{5 \times 10^{-3}(496 - 600) + [0,8 + 1,8 \times 10^{-3}(670 - 60)] - 97\}t = 0,678t \text{ мкм}$$

Згідно з підрахунків в результаті температурних деформацій вузлів діаметр люнетної шийки збільшується, третьої шийки (без люнету) зменшується.

Тому настроєний розмір для люнетної шийки буде $D_{2наст} = D_{min} + 3$

Висновки

- Одержані залежності для розрахунку похибок діаметрів валів при обробці їх на багатокругових круглошліфувальних верстатів моделі ХШ, в результаті теплових деформацій базових вузлів.
- Похибки мають систематичний характер, враховують метод керування верстатом.
- На основі залежностей можна визначити оптимальну величину настрою вальних розмірів діаметрів шийок, що оброблюються в люнетах і без них.
- В процесі нагрівання верстата опорні місця переднього і заднього центрів, опор шпинделю переміщуються по закону близькому до лінійного. Направлення переміщення центрів на шліфувальні круги, опор шпинделя на деталь.
- Теплові деформації штока люнета найбільш інтенсивні в перші десять хвилин роботи, в подальшому швидкість теплової деформації зменшується і складає близько 0,7 мкм/год.

Список використаних джерел:

1. Ломова, О. С. Точность обработки деталей на круглошлифовальных станках : монография / О. С. Ломова, С. М. Ломов, А. П. Моргунов. – М. : Технология машиностроения, 2011. – 176 с.
2. Кохликян, С. А. О некоторых особенностях колебаний круглошлифовального станка / С. А. Кохликян, Б. С. Баласанян // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : сб. науч. тр. – 2008. – № 36. – С. 76-81.
3. Моделирование процесса круглого врезного шлифования / В. Г. Евтухов [и др.] // Вестник Сумского государственного ун-та. – 2009. – № 1. – С. 124-133.
4. Братан, С. М. Концепция решения задач управления оборудованием на операциях шлифования / С. М. Братан // Оптимизация производственных процессов : сб. науч. тр. / Севастоп. гос. техн. ун-т. – Севастополь, 1999. – Вып. 2. – С. 124-129.

References

1. Lomova, O, Lomov, S & Morgunov, A 2011, *Tochnost obrabotki detaley na krugloshlifovalnykh stankakh*, Tekhnologiya mashinostroyeniya, Moskva.
2. Kokhlikyan, S, Balasanyan, B 2008, 'O nekotorykh osobennostyakh kolebaniy krugloshlifovalnogo stanka', *Progressivnyye tekhnologii i sistemy mashinostroyeniya*, no. 36, pp. 76–81.
3. Evtukhov, V 2009, 'Modelirovaniye protsessa kruglogo vreznogo shlifovaniya', *Vestnik Sumskogo gosudarstvennogo universiteta*, no. 1, pp. 124–133.
4. Bratan, S 1999, 'Kontseptsiya resheniya zadach upravleniya oborudovaniyem na operatsiyakh shlifovaniya', *Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov*, iss. 2, pp. 124–129.

Стаття надійшла до редакції 15 червня 2016 р.