

УДК 621.9.203

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ НА ПРЕЦИЗІЙНИХ ВЕРСТАТАХ ЗА РАХУНОК СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕРМІЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Федотьев А.М., к. т. н., доц., Філіпов А.В., магістр

Кременчуцький державний політехнічний університет ім. Михайла Остроградського

39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, б.20

E-mail: instrumentsv@yandex.ru

Приведены материалы по установлению возможности повышения точности обработки на прецизионных станках за счет перераспределения и стабилизации деформаций, обусловленных неравномерными тепловыми полями с использованием тепловых труб.

Ключевые слова: тепловые деформации, тепловые трубы, точность.

In article the materials on an establishment of an opportunity of increase of accuracy of processing on precision machine tools are given at the expense of redistribution and stabilization of deformations caused by non-uniform thermal fields with use of thermal pipes.

Key words: thermal deformations, thermal pipes, accuracy.

Вступ. Сучасний стан верстатобудування вимагає все більшого підвищення якості продукції, що випускається на підприємствах. Сучасні методи обробки матеріалів дозволяють отримати необхідну точність, але коли йдеться про вироби підвищеної якості необхідно використовувати прецизійні верстати. Підвищена точність обробки на таких верстатах потребує стабілізації впливу термічних деформацій на несучу систему верстата.

Мета роботи. Пошуки перспективних шляхів підвищення точності обробки на прецизійних верстатах за рахунок стабілізації термічних деформацій при використанні теплових труб як теплопередатних пристроїв.

Матеріал і результати дослідження. Робота на верстатах супроводжується значним тепловиділенням у механізмах та системах верстата, що призводить до виникнення температурних деформацій елементів несучої системи. Похибки обробки деталей на металорізальних верстатах, обумовлені температурними деформаціями, можуть зробити неможливим отримання деталей з необхідною і тертя кочення. точністю. Температурна поведінка верстата визначається інтенсивністю теплоутворення і теплообміну елементів верстата з оточенням і спряженими деталями, геометрією елементів конструкції, накладеними зовнішніми зв'язками. Більшість цих факторів є керованими, їх можна прогнозувати на стадії проектування верстатів [1].

Зміни температурних полів станин металорізальних верстатів викликаються наступними причинами [1]:

- 1) тепловиділенням у механізмах і агрегатах, розташованих на станині або всередині неї;
- 2) теплоутворенням у напрямних;
- 3) теплообміном з охолоджуючою рідиною, що стікає на станину;
- 4) променевим теплообміном між несучою системою та нагрітими агрегатами;
- 5) коливанням температури навколишнього середовища.

Зміни температури несучої системи викликають температурні деформації останніх, що призводять до взаємного переміщення вузлів верстата, що впливає на точність обробки (рис. 1) [1].

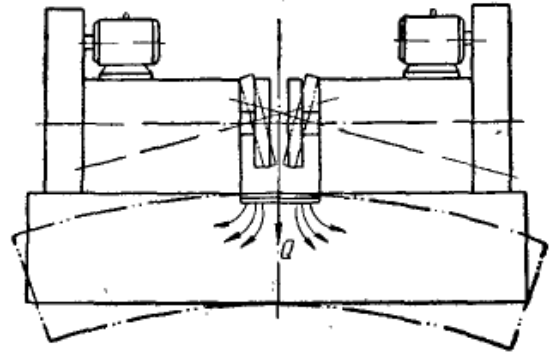


Рисунок 1 – Вплив температурних деформацій станин шліфувальних верстатів на точність обробки (Q - потоки тепла в станину)

Одним з основних джерел тепловиділення в верстаті, яке найбільшою мірою впливає на температурні зміщення в зоні різання є шпindelні опори. На тепловиділення в опорі впливають частота обертання, спосіб змащування опори, властивості мастила та якість складання вузла. Тепловиділення регламентуються допустимим нагрівом підшипників. Норма нагрівання встановлена тільки для верстатів класу Н (допустимий нагрів на зовнішньому кільці підшипника складає 70°C), для верстатів інших класів існують рекомендації [2].

Основні способи зменшення температурних деформацій зводяться до наступного [2]:

1. Зменшення теплоутворення в двигунах, опорах і передачах у результаті застосування рідкого мастила. Вдосконалення системи змащування суворим нормуванням кількості мастила, що подається, матеріалу, що сприяє зменшенню тепловиділення і скороченню втрат.

2. Теплова ізоляція джерел тепла від основних деталей несучої системи та інтенсивне відведення теплоти, що утворюється в них, минувши несучу систему.

3. Доцільне розташування джерел тепла, як правило, у верхній частині верстата, а найбільш могутніх джерел теплоутворення (двигуна головного приводу, резервуарів систем змащування, охолодження і гідроприводу) – винесенням на достатнє віддалення за межі верстата, як це роблять в сучасних прецизійних верстатах.

4. Взаємна компенсація температурних деформацій за рахунок внесення змін у конструкцію базових деталей для поліпшення балансу температурних деформацій. Для регулювання величини температурної деформації іноді використовують спеціальні матеріали з коефіцієнтом лінійного розширення, відмінним від звичайного ливарного чавуну. Так, легований нікелем чавун (36 % Ni) має коефіцієнт лінійного розширення в 5 разів менший, ніж сірий чавун, а у сплавів типу інвар цей коефіцієнт менше в 10 - 12 разів. Компенсація температурних деформацій можлива також при штучному підігріванні окремих частин несучої системи, наприклад, теплим повітрям від двигунів.

5. Автоматична компенсація температурних переміщень шляхом зміни деформацій найбільш важливих вузлів і внесення поправок в їх розташування від спеціального приводу мікропереміщень.

Одним із засобів інтенсивного зменшення впливу теплових деформацій на точність обробки на прецизійних верстатах є збільшення тепловіддачі основних вузлів верстату. Новітньою тенденцією в світі верстатобудування є використання теплових труб для відведення тепла від несучої системи.

Теплова труба являє собою пристрій, що має дуже високу теплопередатну здатність. Уперше ідея теплової труби була запропонована Гоглером у 1942 р. Але тільки на початку 60-х років, після того, як Гровер незалежно від Гоглера знову винайшов теплову трубу, її чудові властивості були відповідно оцінені, і з'явилися серйозні дослідження і розробки [3].

Певним чином теплова труба аналогічна термосифону (рис.2,а). У трубі міститься невелика кількість рідини, потім із труби викачують повітря і вона щільно зачиняється. Нижній кінець труби нагрівається, що викликає випар рідини і рух пари до холодного кінця труби, де він конденсується. Конденсат під дією гравітаційних сил повертається до гарячого кінця. Прихована теплота пароутворення велика, тому, навіть при дуже малій різниці температур між кінцями термосифону, він може передавати значну кількість теплоти.

Теплова труба за конструкцією аналогічна термосифону, але в тепловій трубі на внутрішній стінці укріплений гніт, зроблений, наприклад, із декількох шарів тонкої сітки, і конденсат повертається у випарник під дією капілярних сил (рис.2,б). У тепловій трубі на розташування випарника не накладається ніяких обмежень, і вона може працювати при будь-якій орієнтації у просторі. Звичайно, якщо випарник

теплової труби виявляється в нижній точці, гравітаційні сили будуть діяти в одному напрямку з капілярними.

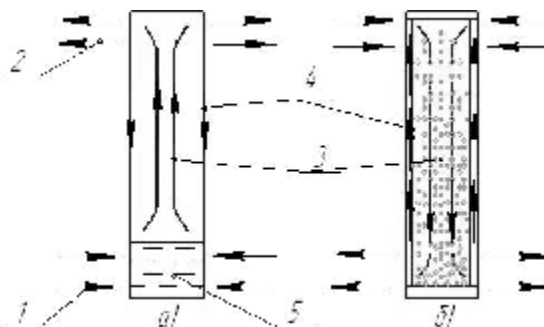


Рисунок 2 – Схеми теплової труби та термосифона: а – термосифон; б – теплова труба; 1 – підведення теплоти; 2 – відведення теплоти; 3 - пар; 4 – конденсат; 5 – рідина

Теплові труби як прилади для відведення теплових потоків використовуються вже давно, але питання використання їх для стабілізації термічних деформацій елементів несучої системи верстату є ще маловивченим і доволі перспективним.

Розглянемо шпіндельний вузол верстату, для чого створимо тривимірну комп'ютерну модель одного з існуючих верстатів – токарного верстату моделі 16K20 (рис.3), при цьому не виконуємо моделювання дрібних деталей (шпонок, кілець, фасок, округлень та ін.).

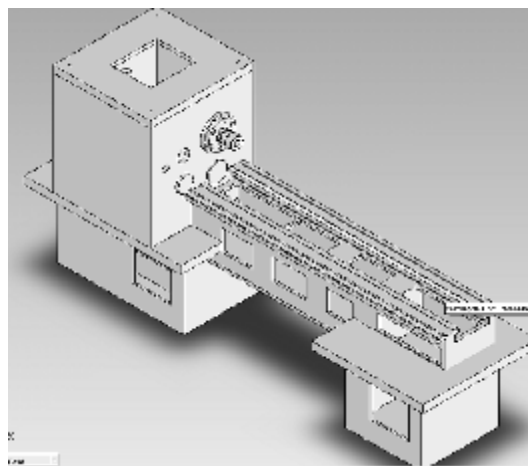


Рисунок 3 – тривимірна модель токарного верстату 16K20

Розрахунок теплових потоків та температур, що передаються скрізь деталь та патрон до передньої опори шпінделя будемо проводити із використанням пакету програм SolidWorks та CosmosWorks. Для цього виконали наступні дії:

1. Створили в програмі 3D модель заготовки.
2. Із застосуванням програми CosmosWorks виконали дослідження з термічного навантаження даної деталі:
 - задаємо матеріал заготовки – сталь 30;
 - задаємо навантаження та обмеження – температуру $T=368^{\circ}\text{C}$ та теплову потужність випроміню-

вання $Q_0=266$ Вт;

- будуюмо сітку кінцевих елементів;
- виконуємо моделювання за допомогою програми CosmosWorks.

За результатами моделювання температура на задньому торці заготовки дорівнює $T=369^\circ\text{C}$. У подальшому моделюванні впливу температури на патрон шпиндельного вузла використовуємо саме цю температуру.

Моделювання впливу температури на патрон виконуємо аналогічно.

За результатами моделювання дії температури на спрощену модель патрона токарного верстату, отримали температуру на передньому кінці шпинделя $T_{ш}=369^\circ\text{C}$.

За рекомендаціями [2] приймаємо температуру кільця підшипників для прецизійних верстатів 70°C . Моделюємо вплив цих факторів на шпиндель токарного верстату. Отримаємо температуру внутрішнього кільця підшипника передньої опори шпиндельного вузла з врахуванням теплоти, що виділяється в зоні різання (рис.4).

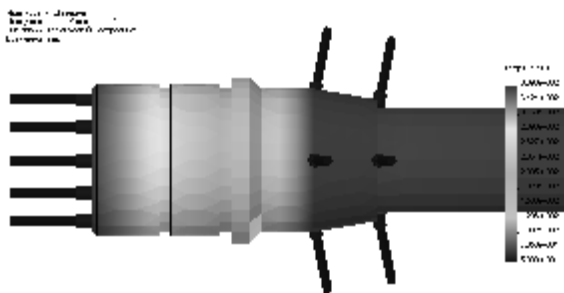


Рисунок 4 – Температурні поля кінця шпинделю

Для отримання математичної моделі впливу температури передньої опори шпиндельного вузла та кількості теплових труб на відхилення вісі шпинделю від нульового положення проводимо повний факторний експеримент, який має план типу 2^k , де k – кількість факторів, що враховуються в експерименті.

Для переходу від натуральних значень факторів до значень „ ± 1 ” виконується кодування факторів, яке визначається співвідношенням [4]:

$$x_i = \frac{x_j - x_{j0}}{I_j}, \quad (1)$$

де x_i – кодоване поточне значення фактора (± 1); x_j – дійсне поточне значення фактора; x_{j0} – дійсне значення нульового рівня; I_j – дійсне значення інтервалу варіювання;

$$x_{j0} = \frac{x_H + x_B}{2}, \quad (2)$$

де x_H та x_B – дійсне значення нижнього та верхнього рівнів фактора;

$$I_j = x_B - x_H, \quad (3)$$

Формула (2) являє собою лінійне перетворення факторного простору, тобто перенесення початку координат у точку, що відповідає x_{j0} , та вибір масштабів по осям в одиницях інтервалів варіювання.

Ми маємо дві незалежні змінні x_1 та x_2 , кожна з яких варіюється на рівнях ± 1 . Тоді кількість необхідних дослідів буде дорівнювати чотирьом.

При моделюванні змінюємо температуру передньої опори шпиндельного вузла (T) у межах $60-80^\circ\text{C}$, кількість теплових труб (n) в межах від 3 до 12.

Скориставшись формулою (2), розраховуємо дійсне значення нульового рівня, та представимо результати у вигляді табл. 1.

Таблиця 1 – Кодування змінних факторів

Рівень факторів	Т, °C	
	x_1	x_2
Верхній (+)	80	12
Нульовий (0)	70	8
Нижній (-)	60	3

За допомогою формули (1) складаємо матрицю планування (табл.2).

Таблиця 2 – Матриця планування 2^2 для двофакторного експерименту

№ дослідів	Змінні	
	x_1	x_2
1	-	-
2	+	-
3	-	+
4	+	+

Потім перевіряємо умови значущості та умови адекватності за стандартною методикою [4].

Після планування експерименту, виконуємо комп'ютерне моделювання в середовищі програми COSMOS Works (рис.5, 6). У результаті отримуємо переміщення кінця шпинделя верстата під впливом силових навантажень (рис. 7).

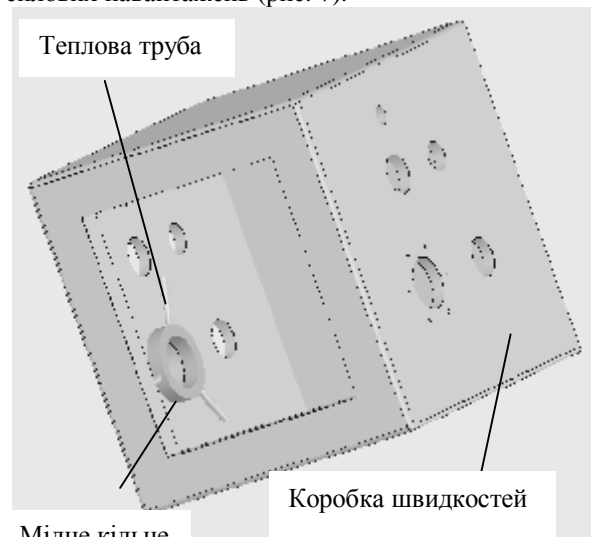


Рисунок 5 – Комп'ютерна модель коробки швидкостей з тепловими трубами

Результати обчислень зводимо в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати комп’ютерного моделювання

№ дослідів	Температура T, °C	Кількість n, штук	Зміщення Δ, мм
1	60	3	0,019102
2	80	3	0,029971
3	60	12	0,0183
4	80	12	0,028713
5	70	8	0,03

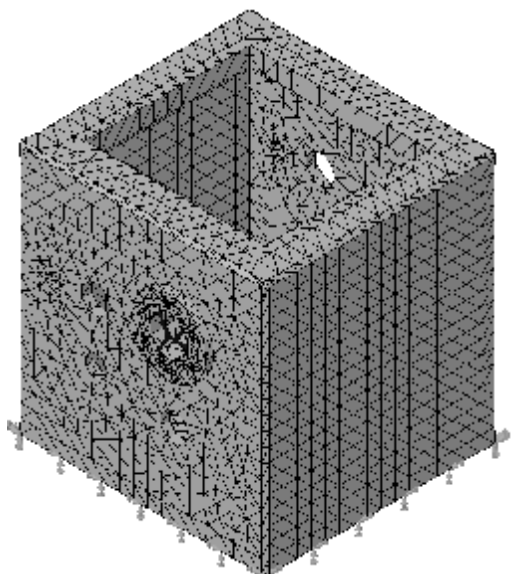


Рисунок 6 – Модель з сіткою та навантаженнями та граничними умовами

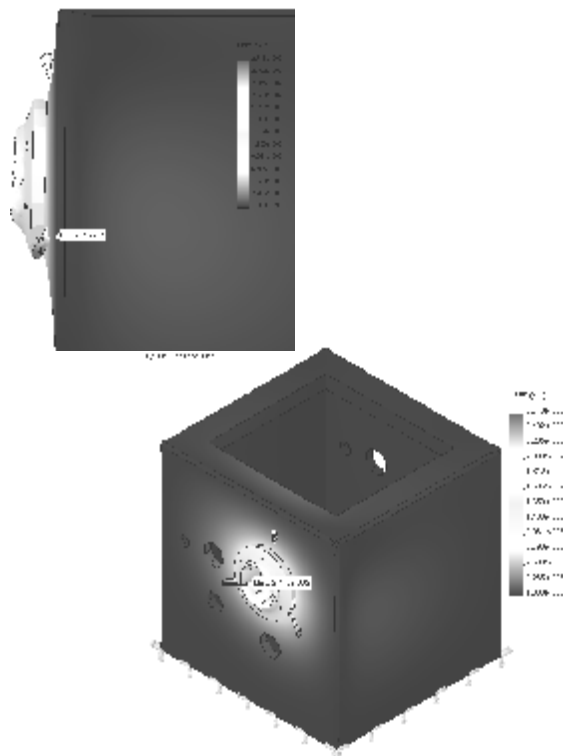


Рисунок 7 – Епюра статичних переміщень передньої опори шпинделя

Обробку результатів досліджень проводимо із використанням програми Statgraphics 5.0 Plus.

Запишемо отримані дані в матрицю планування, додавши ще одну колонку – Δ відхилення вісі шпинделя від нульового положення.

Статистичне опрацювання даних (табл. 4) дозволило постулювати таке рівняння регресії:

$$\Delta = -0,136937 + 0,0055105T + 0,00062889n - 0,000025333T \cdot n \quad (4)$$

Отримане рівняння і є рівнянням математичної моделі впливу температури та кількості теплових труб на жорсткість несучої системи верстату.

Таблиця 4 – Матриця планування 2² і результати експерименту

№ дослідження	x ₁	x ₂	Відхилення Δ, мм
1	-	-	0,019102
2	+	-	0,029971
3	-	+	0,0183
4	+	+	0,028713

Висновки. В результаті виконання даної роботи встановлено можливість підвищення точності обробки на прецизійних верстатах за рахунок перерозподілу та стабілізації деформацій, обумовлених нерівномірними тепловими полями з використанням теплових труб:

- визначено базові вузли та елементи несучої системи верстату, теплові деформації котрих впливають на точність обробки, – шпиндельні вузли, пінолі, напрямні;

- встановлено залежність статичних переміщень передньої опори шпинделя і точності обробки від температури передньої опори шпиндельного вузла коробки швидкостей і кількості теплових труб, що використовуються для відведення тепла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Металлорежущие станки / Под. ред. В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1986. – 574 с.
2. Расчетный анализ деформационных, динамических и температурных характеристик шпиндельных узлов. – М.:ЭНИМС, 1989. – 63 с.
3. Дан П.Д., Рэй Д.А., Тепловые трубы. – М.: Энергия, 1979. - 272 с.
4. Х. Шенк. Теория инженерного эксперимента. Под. ред. Н.П. Бусленко – М.: Мир, 1972. – 322 с.

Статья поступила 15.11.2007.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Саленком О.Ф.