

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Металорізальні верстати та інструмент

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
магістр

на тему Дослідження впливу компанування шпиндельного вузла верстата з
ЧПК на температурні деформації

Виконав: студент VI курсу, групи М-213м
спеціальності (напряму підготовки)

Металорізальні верстати та системи

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

133 Галузеве машинобудування

Бугаєва К.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Солоха В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Глушко А.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Металорізальних верстатів та інструментів
 Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
 Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (код і назва)
 Напрямок підготовки Металорізальні верстати та системи
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ШВ та Ш
М. В. Франко
 "14" 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Бугаєва Катерина Олександрівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту (роботи) Дослідження впливу компанування шпиндельного вузла верстата з ЧПК на температурні деформації

Рівень проекту (роботи) Солоха В.В кандидат технічних наук, доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від "07" 11 2018 року № 340

Строк подання студентом проекту (роботи) _____

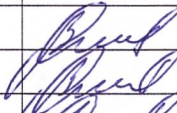
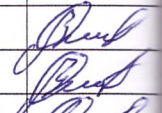
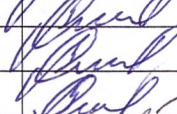
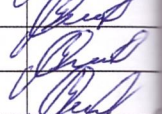
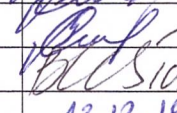
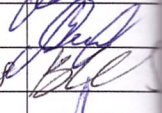
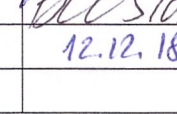
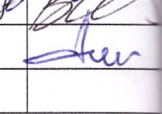
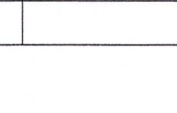
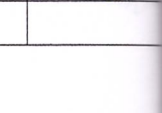
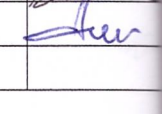
Вихідні дані до проекту (роботи) Максимальна частота обертання шпинделя $n=4500 \text{ хв}^{-1}$, потужність двигуна в режимі S1 $P = 15 \text{ кВт}$

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

аналіз конструкцій шпиндельних вузлів токарних верстатів з ЧПУ; розрахунок тепловідведення в опорах шпинделя і їх температури, температурних зсувів осі шпинделя, визначення впливу зсувів на точність обробки, порівняння впливу температурних зсувів для різних конструкцій і компонувань шпиндельного вузла, обґрунтування вибраного варіанту конструкції ШВ

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
конструкції шпиндельних вузлів, що розглядалися в аналізі, креслення ШВ вибраного варіанту конструкції: загальний вигляд, розрізи схеми базування шпиндельного вузла в станині

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

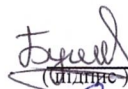
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконав завдання
1	Солоха В.В., канд. техн. наук, доцент		
2	Солоха В.В., канд. техн. наук, доцент		
3	Солоха В.В., канд. техн. наук, доцент		
4	Солоха В.В., канд. техн. наук, доцент		
5	Шмирко В.І., к.т.н, доц		
Нормоконтроль	Пучило А.В., старший викладач	12.12.18	

7. Дата видачі завдання 03.09.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Пр
1.	Аналіз конструкції випереджувальних вузлів верстатів	10.09.18	
2.	Розрахунок шестовирішення в окремих випереджувальних і термостатичних деформацій	01.10.18 8.10.18	
3.	Розрахунок термостатичних деформів	19.10.18	
4.	Розробка конструкції випереджувального бабіна	26.10.18	
5.	Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	16.11.18	
6.	Оформлення оформлення матеріалу, звіту	29.11.18	
7.	Нормоконтроль	11.12.18	
8.	Ведитарій	11.12.18	
9.	Виконання процедур дозволу до замовлення	12.12.18	

Студент


(підпис)Бугасова К.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: стр.85, рисунков 23, таблиць 2, перелік літературних джерел 12.

Об'єктом дослідження є вплив компанування шпиндельних вузлів токарних верстатів з ЧПУ

Метою завдання є мінімізація температурних деформацій шляхом зміни конструкції, геометрії та базування шпиндельної бабки на верстаті

Необхідно було вирішити наступні задачі: проаналізувати конструкції шпиндельних вузлів токарних верстатів; ознайомитись із впливом температурних деформацій на надійність і точність оброблюваних деталей; розрахувати тепловиділення в опорах шпинделя та їх температури; розрахувати осьове та результуюче навантаження для шпиндельного вузла верстата, визначити температури в шпиндельних опорах верстата, розрахувати температурні зсуви осі шпинделя двох порівнюваних верстатів. На підставі виконаної роботи сконструювати шпиндельну бабку з мінімальними температурними деформаціями шляхом змінення корпусу та зміни схеми базування.

ВЕРСТАТ, ДЕТАЛЬ, КОНСТРУКЦІЯ, ОБЛАДНАННЯ,
НАВАНТЖЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ, ТОЧНІСТЬ,
ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ

РЕФЕРАТ

ПЗ: стр.85, рисунков 23, перечень литературных источников 12.

Объектом исследования является влияние компоновки шпиндельных узлов токарных станков с ЧПУ.

Целью задания является минимизация температурных деформаций путем изменения конструкции, геометрии и базирования шпиндельной бабки на станке.

Необходимо было решить следующие задачи: проанализовать конструкции шпиндельных узлов токарных станков; ознакомиться с влиянием температурных деформаций на точность обработки деталей; рассчитать тепловыделение в опорах шпинделя и их температуру; рассчитать осевую и результирующую загрузку для шпиндельного узла станка, определить температуру в шпиндельных опорах станка, рассчитать температурные сдвиги оси шпинделя двух сравниваемых станков. На основании проделанной работы сконструировать шпиндельную бабку с минимальными температурными деформациями путем изменения корпуса и изменения схемы базирования.

ВЕРСТАТ, ДЕТАЛЬ, КОНСТРУКЦІЯ, ОБЛАДНАННЯ,
НАВАНТЖЕННЯ, ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ, ТОЧНІСТЬ,
ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ

ABSTRACT

EN. pages 85, drawings 23, literary sources 11.

The object of research is the impact of the spindle assembly of CNC lathe machines

The purpose of the task is to minimize temperature deformations by changing the design, geometry and base of the spindle shaft on the machine

The following tasks were to be solved: to analyze the designs of the spindle units of lathes; to get acquainted with the influence of temperature deformations on the reliability and precision of machined parts; calculate the heat dissipation in the spindle supports and their temperature; calculate the axial and resultant load for the spindle knot of the machine, determine the temperature in the spindle supports of the machine, calculate the temperature shifts of the spindle axis of the two comparable machines. On the basis of the work done, construct a spindle bath with minimal temperature deformations by changing the casing and changing the base layout.

LATHE MACHINES, DETAIL, CONSTRUCTION, EQUIPMENT, LOADING, TEMPERATURE DEFORMATION, ACCURACY, SPINNING MACHINE

ЗМІСТ

Завдання на дипломний проект.....	2
РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ШПИНДЕЛЬНИХ ВУЗЛІВ ТОКАРНИХ ВЕРСТАТІВ.....	13
1.1 Температурні деформації технологічної системи.....	15
1.2 Вплив температурних деформацій на надійність і точність оброблюваних деталей.....	17
1.3 Визначення температурних деформацій корпусів шпиндельних бабок.....	20
2 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИДІЛЕННЯ В ОПОРАХ ШПИНДЕЛЯ І ЇХ ТЕМПЕРАТУРИ.....	21
2.1 Розрахунок осьового та результуючого навантаження для шпиндельного вузла верстата Doosan Infracore PUMA 2100.....	21
2.2 Розрахунок осьового та результуючого навантаження для шпиндельного вузла верстата Goodway Machine Corp. GA 2000.....	25
2.3 Визначення температури в шпиндельних опорах верстатів	27
3 РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗСУВІВ ОСІ ШПИНДЕЛЯ.....	40
3.1 Розрахунок температурного поля і температурних деформацій шпинделя верстата GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000.....	40
3.2 Розрахунок температурного поля і температурних деформацій шпинделя верстата Doosan Infracore PUMA 2100.....	43
4 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	49
4.1 Вибір параметрів шпиндельної бабки.....	49
4.2 Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі.....	51
4.3 Визначення температурного поля розробляємої конструкції шпиндельної бабки.....	55
4.4 Розрахунок температурних деформацій.....	57

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	57
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	57
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	66
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	69
5.4 Забезпечення безпеки при роботі на токарному верстаті з ЧПК.....	72
5.5 Заходи з пожежної безпеки.....	75
5.6 Оцінка стійкості системи управління промислового об'єкта.....	78
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84
Додаток А – Результат розрахунку надлишкової температури в шпиндельних опорах верстата Doosan Puma Infracore 2100.....	85
Додаток Б – Результат розрахунку надлишкової температури в шпиндельних опорах в шпиндельних опорах верстата Goodway Machine GA 2000.....	86
Додаток В – Схема базування шпиндельної бабки Doosan Infracore Puma 2100.....	87
Додаток В – Схема базування шпиндельної бабки GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000.....	88

ВСТУП

Вітчизняний та закордонний досвід виробництва та експлуатації металорізальних верстатів показує, що одною з головних проблем у верстатах є отримання заданої точності обробки та збереження її в процесі експлуатації.

Ступінь дії факторів, впливаючих на точність обробки залежить від особливостей конструкції верстатів, технологій та організації виробництва, які використовуються при їх експлуатації. Дослідження показують, що похибки обробки, пов'язані з тепловими деформаціями елементів верстата співрозмірні з допусками на виготовлення деталей та з вимогами до точності переміщення робочих органів верстата, а й не рідко значно їх перевищують. Тому для підвищення точності обробки деталей на металорізючих верстатах необхідно глибоко та всебічно вивчити теплові процеси, що протікають в них при роботі. Для активного впливу на формування точності металорізючого верстата необхідно шукати загальні закономірності формування та керування просторово-часовою зміною температурного поля та теплових деформацій верстата.

Визначення таких закономірностей має велике практичне значення, так як вміння правильно оцінювати очікувані величини теплових деформацій та знати характер зміни їх під час роботи верстата дозволить на різних стадіях створення та експлуатації верстата приймати раціональні рішення для зниження поганого впливу теплових деформацій на точність верстатів. В загальній сукупності процесів, які призводять до зниження точності обробки деталей на металорізючих верстатах, значну роль відіграють теплові процеси, які обумовлюються зміною теплового стану механізмів та вузлів верстата. Тепловий вплив формується під дією джерел тепловиділення, котрі за місцем їх виникнення поділяються на зовнішні та внутрішні. Найбільш визначними є внутрішні джерела тепловиділення (опори шпинделя; системи мащення та гідравліки; направляючі; ходові гвинти; електродвигуни; електросистема

верстата; пристрій ЧПУ; система охолодження; редуктора приводів подач та приводів головного руху; процес різання).

. Температурне поле та теплові деформації вузлів та деталей верстата залежать від багатьох факторів: конструкції та компоновки вузлів верстата; режимів роботи верстата; геометричних розрізів та форми деталей; механічних та теплофізичних характеристик матеріалів; способу кріплення та базування деталей; умов теплообміну з навколишнім середовищем; виду, потужності та розташування тепла.

Виникаючі при роботі верстата теплові деформації механізмів та вузлів призводять до зміни положення робочих органів верстата та викривленню траєкторії їх переміщення. При цьому викривлення траєкторії переміщення робочих органів верстата, а похибка положення робочих органів призводить до виникнення похибки оброблюємої деталі, тому ланцюг «інструмент – деталь» є одним із найважливіших для справної роботи металорізального верстата. Оскільки в сучасних верстатах інструмент розташовують під кутом, необхідно це враховувати, особливо коли площини інструмента та шпиндельних бабок не співпадають. Враховуючи це метою дипломної роботи є – дослідження впливу компанування шпиндельного вузла токарного верстата з ЧПК на температурні деформації.

ВСТУП

Вітчизняний та закордонний досвід виробництва та експлуатації металорізальних верстатів показує, що одною з головних проблем у верстатах є отримання заданої точності обробки та збереження її в процесі експлуатації.

Ступінь дії факторів, впливаючих на точність обробки залежить від особливостей конструкції верстатів, технологій та організації виробництва, які використовуються при їх експлуатації. Дослідження показують, що похибки обробки, пов'язані з тепловими деформаціями елементів верстата співрозмірні з допусками на виготовлення деталей та з вимогами до точності переміщення робочих органів верстата, а й не рідко значно їх перевищують. Тому для підвищення точності обробки деталей на металорізальних верстатах необхідно глибоко та всебічно вивчити теплові процеси, що протікають в них при роботі. Для активного впливу на формування точності металорізального верстата необхідно шукати загальні закономірності формування та керування просторово-часовою зміною температурного поля та теплових деформацій верстата.

Визначення таких закономірностей має велике практичне значення, так як вміння правильно оцінювати очікувані величини теплових деформацій та знати характер зміни їх під час роботи верстата дозволить на різних стадіях створення та експлуатації верстата приймати раціональні рішення для зниження поганого впливу теплових деформацій на точність верстатів. В загальній сукупності процесів, які призводять до зниження точності обробки деталей на металорізальних верстатах, значну роль відіграють теплові процеси, які обумовлюються зміною теплового стану механізмів та вузлів верстата. Тепловий вплив формується під дією джерел тепловиділення, котрі за місцем їх виникнення поділяються на зовнішні та внутрішні. Найбільш визначними є внутрішні джерела тепловиділення (опори шпинделя; системи мащення та гідравліки; направляючі; ходові гвинти; електродвигуни; електросистема

верстата; пристрій ЧПУ; система охолодження; редуктора приводів подач та приводів головного руху; процес різання).

. Температурне поле та теплові деформації вузлів та деталей верстата залежать від багатьох факторів: конструкції та компоновки вузлів верстата; режимів роботи верстата; геометричних розрізів та форми деталей; механічних та теплофізичних характеристик матеріалів; способу кріплення та базування деталей; умов теплообміну з навколишнім середовищем; виду, потужності та розташування тепла.

Виникаючі при роботі верстата теплові деформації механізмів та вузлів призводять до зміни положення робочих органів верстата та викривленню траєкторії їх переміщення. При цьому викривлення траєкторії переміщення робочих органів верстата, а похибка положення робочих органів призводить до виникнення похибки оброблюємої деталі, тому ланцюг «інструмент – деталь» є одним із найважливіших для справної роботи металорізального верстата. Оскільки в сучасних верстатах інструмент розташовують під кутом, необхідно це враховувати, особливо коли площини інструмента та шпиндельних бабок не співпадають. Враховуючи це метою дипломної роботи є – дослідження впливу компанування шпиндельного вузла токарного верстата з ЧПК на температурні деформації.

1 ТЕМПЕРАТУРНІ ДЕФОРМАЦІЇ ВЕРСТАТІВ

1.1 Аналіз конструкцій шпиндельних вузлів токарних верстатів

Шпиндельні вузли призначені для виконання точного обертання інструмента або заготовки і в значній мірі визначають якість обробки.

Критеріями працездатності є:

- точність;
- швидкість;
- навантажувальна здатність;
- статична жорсткість;
- динамічні характеристики;
- енергетичні втрати;
- нагрівання опор;
- статичні, динамічні та температурні відхилення переднього кінця шпинделя,
- ресурс роботи.

Конструкція шпиндельного вузла залежить від типу і розміру верстата, класу його точності, граничних параметрів обробки (максимальної частоти обертання, ефективної потужності привода).

Конфігурацію переднього кінця шпинделя вибирають залежно від способу кріплення інструмента або заготовки. Так як для їх кріплення застосовують стандартні пристосування, то передні кінці шпинделів для більшості типів верстатів призначаються відповідно до стандартів. В залежності від вимог до процесу змінення інструмента або пристосування центрування здійснюється конусом Морзе, конусами з конусністю 7/24 або 1/3.

Конфігурація внутрішніх поверхонь визначається наявністю отворів та конструкцією затискного пристрою, вбудованого в шпиндель.

Конструкції шпиндельних вузлів багатоцільових верстатів різноманітні та складні. Токарні верстати з ЧПУ середніх розмірів зазвичай мають похиле або кутове компонування супорта.

Сучасні верстати середніх розмірів мають, як правило, оригінальне компонування, яке дозволяє:

- підвищити їх жорсткість;
- покращити захист напрямних та гвинтових передач;
- забезпечити вільний відвід стружки та видалення її з робочої зони;
- застосовувати завантажувальні пристрої будь-яких типів;
- забезпечувати вільний доступ до інструменту та пристроїв;
- підвищити безпеку роботи.

У більшості випадків верстати з горизонтальною віссю шпинделя мають наступні типи компонування: похиле, вертикальне або кутове.

При похилій компоновці напрямляючі нижнього та верхнього супорта розташовані під кутом $60...75^\circ$ до горизонту, а при вертикальній - 90° . У верстатів кутового компонування з одним супортом наявні горизонтальні напрямляючі, з двома супортами – вертикальні та похилі. Таке компонування забезпечує більш високу жорсткість, захист напрямляючих та гвинтів, вільний доступ при завантаженні заготовок та зміні інструмента, краще видалення стружки.

Отже шпиндельні вузли можуть базуватися на горизонтальній площині або на похилій площині паралельній осі X. Ці відмінності можуть суттєво впливати на точність обробки через температурні деформації шпиндельної бабки, що виникають під час роботи верстата.

Розглянемо конструкції шпиндельних вузлів багатоцільових верстатів GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000 та Doosan Infracore PUMA 2100.

У верстата GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000 шпиндельна бабка виконана у вигляді симетричної конструкції, що в свою чергу зменшує температурні деформації в площині базування шпиндельної бабки. Але так як площина базування бабки і вісь X не паралельні існують деформації в

вертикальній площині, які в свою чергу впливатимуть на температурні зсуви осі шпинделя і відповідно на точність обробки.

Верстат Doosan Infracore PUMA 2100. Шпиндельна бабка виконання у вигляді несиметричної конструкції. Площина базування бабки та вісь X паралельні, а отже деформації у вертикальній площині виключаються.

1.1 Температурні деформації технологічної системи

Температурні деформації технологічної системи, пов'язані з нерівномірним нагріванням основних вузлів верстата та їх подальшого температурного розширення одним з найсильніших факторів, що впливають на точність обробки. Температурні деформації виникають від дії сил різання та тертя. В результаті роботи цих сил, оброблені деталі, ріжучий інструмент і несуча система верстата нагріваються, що призводить до температурних деформацій вузлів верстата. Температурне поле верстатів можна розділити на три види [1].

До першого виду відноситься зміна температур тих точок верстата, які є джерелами інтенсивного тепловиділення або розташовані в безпосередній близькості від останніх. Стабілізація температур таких точок настає через порівняно короткі проміжки часу. Тривалість часу стабілізації температур різних точок верстата залежить від інтенсивності тепла та температури навколишнього середовища. Теплова рівновага, що характеризується рівністю тепловиділення і тепловіддачі, настає набагато швидше за значних різниць температур, тобто при великих температурах нагрівання і низьких температурах навколишнього середовища. Тривалість стабілізації температур нагрівання залежить також від маси нагрітих об'єктів.

До другого виду відносяться такі зміни температур, які стабілізуються протягом значно більшого проміжку часу, ніж температурні зміни першого

виду. Таке відносно невелике нагрівання властиво зазвичай тим вузлами станка, які самі не є джерелами тепловіддачі і знаходяться на відстані від останніх. Ці вузли нагріваються головним чином під впливом охолоджувальної рідини, температура якої поступово підвищується. Температурні зміни другого вигляду часто не стабілізуються упродовж всієї зміни.

До третього виду відносяться зміни температур тих точок верстата, які самі не є джерелами тепловіддачі, тепло до них надходить від джерел тепловіддачі. Графіки температурних змін третього вигляду мають характерний S-подібний вид. Це пояснюється тим, що для розповсюдження тепла до тих точок, які самі не виділяють тепло, потрібно деякий проміжок часу. При цьому час слід відрховувати від початку роботи верстата. До третього виду можна віднести зміни температур периферійних точок бабки виробу та столів круглошліфувальних верстатів.

З точки зору точності розмірів важливою обставиною є те що в верстатах наявні два види температурних деформацій:

- що стабілізуються на протязі порівняно коротких проміжків часу;
- що стабілізуються за більш довгі відрізки часу.

Сумарний вплив тих і інших деформацій викликає складну, в деяких випадках немонотонну зміну розмірів оброблюваної деталі. Типовим прикладом температурних деформацій першого виду є деформації шліфувальних бабок та тепло переміщення шпинделів у підшипниках.

Прикладом температурних деформацій другого вигляду можуть бути деформації станин верстатів. Обидва види температурних деформацій надають істотного впливу на точність обробки. Однак найбільш сильно впливають деформації другого виду. Це пояснюється тим, що вплив зазначених деформацій на точність розмірів не можна усунути за допомогою методу попереднього розігрівання станка, як, наприклад, можна усунути вплив температурних деформацій першого виду.

Температурні деформації металообробних верстатів викликають не тільки помилки розмірів, але і помилки форми оброблюваних деталей (під впливом короблення, теплових перекосів і поворотів різних вузлів верстата).

1.2 Вплив температурних деформацій на надійність і точність оброблюваних деталей

Точність обробки на металорізальних верстатах в значній мірі визначається температурними деформаціями їх деталей. Температурні похибки можуть становити до 60- 80% загальної похибки обробки. Величина температурних зсувів елементів конструкції верстата, наведених до зони різання, формується температурним полем елементів і їх геометрією. Температурне поле визначається інтенсивністю джерел тепловиділення, умовами теплообміну з навколишнім середовищем і сполученими деталями. Основними джерелами тепловиділення в верстатах є шпиндельні підшипники, механізми приводу, гідросистема, системи охолодження і мастила. Ступінь впливу різних джерел оцінюється кількістю тепла, що виділяється і віддаленістю від зони різання. Виходячи з цього, на особливу увагу заслуговують підшипники шпиндельних вузлів, розташовані безпосередньо в ланцюзі деталей інструмент.[2]

Температурні деформації металорізального верстата утворюються в результаті виділення тепла в зоні різання, в робочих механізмах та під впливом навколишнього середовища. В результаті теплових деформацій змінюються лінійні розміри деталей, форма їх поверхонь і взаємне розташування, як поверхонь деталей, так і розташування найважливіших деталей верстата – шпинделя, шпиндельної бабки, стола, станини та ін.

Температурні деформації також впливають на такий показник надійності металорізального верстата як довговічність. Внаслідок зміни

лінійних розмірів суміжних деталей змінюються величини зазорів і натягів. У результаті збільшення натягів у опорах розтоку зростає момент холостого ходу, погіршуються умови мащення, підвищується зношування і навіть виникає заїдання. Зміна взаємного розташування поверхонь опор кочення через температурні деформації призводить до появи додаткових зусиль, збільшення сил тертя в опорах, виникнення згинаючих та крутних коливань. Порушення форми відповідальних поверхонь, викликане температурними деформаціями, змінює контактну піддатливість стиків і зменшує їхню несучу здатність, що різко скорочує довговічність підшипників кочення. Результати випробувань, проведених в ВНППіе, показали, що підшипники майже всіх типів при середньому збільшенні температури на 50-60°C працюють дуже короткий час, а іноді і зразу виходять з ладу [3].

Зовнішні джерела надають значний вплив на температурні деформації верстата. Наприклад, нагрів сонячними променями стінки передньої бабки круглошліфувального верстата протягом 2 годин призводить до відхилення від прямолінійності переміщення столу на 4,5 мкм. Одним з найбільш ефективних способів зменшення впливу зовнішніх джерел на температурні деформації верстатів є установка обладнання в термоконстантних приміщеннях. Внутрішні джерела відносяться до джерел, що знаходяться в робочому стані. До них відносяться: електрообладнання, гідрообладнання, пари тертя та інше. Від цих джерел тепло передається до вузла верстата конвекцією або через стики з'єднання деталей і викликає їх температурну деформацію. Більший вплив на надійність верстата надають ті джерела тепла, які знаходяться в його найбільш відповідальних вузлах, наприклад в підшипниках шпиндельних вузлів.

Експерименти показують, що фактична температура нагріву опор шпиндельних вузлів часто відрізняється від розрахункової. Це свідчить про вплив технологічних факторів на процес теплоутворення в вузлах. До них відносяться відхилення розмірів, форм і взаємного розташування відповідальних поверхонь, що виникають на етапах обробки та зборки. Їх

природа пов'язана перед усім з силою тертя, пластичною та еластичною деформацією, в першу чергу в підшипниках. Робота сил тертя в більшості перетворюється в тепло.

При збільшенні радіальної сили, що діє на підшипник, у нього посилюється виділення тепла. Збільшення радіальних сил у опорах може бути результатом відхилень від співвісності поверхонь кочення підшипників [4].

Значний вплив на температурний вплив оброблюваної заготовки вузлів верстата надає тепло, яке утворюється при різанні. Велика продуктивність різання часто викликає більший нагрів заготовки. Для того, щоб заготовка не зсунулася з місця при обробці її, закріплюють з великими силами. Часто це операція супроводжується деформаціями або виникненням напруг всередині заготовки. Нагрів заготовки повинен викликати її розширення і подовження, але якщо ці деформації перешкоджають закріпленню сили, то в заготовці залишаються теплові напруги, які можуть бути досить значними. В чугуні ця напруга складає близько $1 \text{ Н/}^{\circ}\text{C} \cdot \text{мм}^2$, а в сталі - в 2 рази більше. Величини деформацій і напруги залежать від коефіцієнта теплового розширення та модуля пружності. Для збереження теплової стабільності, зменшення температурних деформацій і підвищення надійності станка необхідно виявляти всі джерела теплоутворення та визначати найбільш інтенсивні виникнення. Повинні бути встановлені причини інтенсивного теплоутворення та прийняті заходи технологічного та конструктивного характеру для їх усунення. Треба прагнути керувати тепловими потоками всередині верстата, відводячи тепло від відповідальних деталей, локалізуючи і виділяючи джерела.

1.3 Визначення температурних деформацій корпусів шпиндельних бабок

Величина та напрямок температурних деформацій корпусів шпиндельних бабок, які впливають на точність обробки, в основному визначається температурою стінок, які входять в розмірний ланцюг верстат – деталь – інструмент. Зазвичай в коробках такими стінками є стінки, які несуть опори шпинделів. Температурні деформації стінки можуть бути визначені, якщо її вподобити круглому диску з внутрішнім радіусом, рівним лінійному розміру, який входить в розмірний ланцюг (наприклад, висоті центрів). Приймаємо, що джерело тепла розташований в центрі розглядаємого диску та тепло рівномірно поступає в диск через поверхню внутрішньої розточки, що призводить до симетричного розподілення температури відносно вісі диска та постійному по його товщині.

Отримане при вказаних припущеннях рівняння може бути вирішено в окремому порядку, коли температура відома як функція радіусу диска. Вказана залежність дуже складна, тому для практичних розрахунків можливо прийняти, що температурне збільшення Δ розрахункового розміру корпусу шпиндельної коробки (наприклад, висоти центрів) пропорційно середньозваженій температурі.

При визначенні середньозваженої температури корпусів шпиндельних бабок слід розрізняти два випадки:

- 1) виділення тепла виконується в основному в механізмах, заключених внутрішньо коробки; стінки нагріваються приблизно рівномірно;
- 2) виділення тепла виконується в основному в опорах, розміщених в стінках коробки. Стінки нагріваються нерівномірно.

2 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИДІЛЕННЯ В ОПОРАХ ШПИНДЕЛЯ І ЇХ ТЕМПЕРАТУРИ

Температура шпиндельного вузла визначається тепловиділенням в опорах шпинделя та тепловиділенням в передачах розміщених в шпиндельній бабці верстата. Нагрівання підшипників шпиндельних опор визначається втратами на тертя, які можна оцінити моментом тертя в опорах або кількістю тепла, що виділяється в опорах.

2.1 Розрахунок осьового та результуючого навантаження для шпиндельного вузла верстата Doosan Infracore PUMA 2100

Призначаємо режими різання з каталогу [5]

Глибина різання t , мм

$$t = 3,5$$

Подача S_o мм/об

$$S_o = 0,3$$

Швидкість різання V_i м/хв

$$V_i = 300$$

Частота обертання шпинделя n , хв^{-1} розраховується за формулою

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (2.1)$$

де V – швидкість різання, м/хв;

D – діаметр оброблюваної поверхні, мм

$$n = \frac{1000 \cdot 300}{3,14 \cdot 50} = 1910$$

Призначається дійсне значення частоти обертання шпинделя, n_d , хв^{-1}

$$n_d = 2000$$

Дійсне значення швидкості різання, V_d , м/хв. розраховується за формулою

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000}, \quad (2.2)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 2000}{1000} = 314$$

Тангенціальна сила різання P_z , Н розраховується за формулою

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p \quad (2.3)$$

де C_p , x , y , n – показники степені

$C_p = 300$, $x = 1$, $y = 0,75$, $n = -0,15$, $K_p = 1$ – для поздовжнього точіння конструкційної сталі інструментом з твердого сплаву [7, с.273 табл. 22]

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3,5^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 314^{-0,15} \cdot 1,0 = 1809$$

Осьова сила P_y , Н розраховується за формулою

$$P_y = (0,4 \dots 0,5)P_z$$

$$P_y = 0,4 \cdot 1809 = 633,15 \text{ Н}$$

Визначаємо силу натягу F_H , Н за формулою

$$F_H = \frac{2 \cdot M}{D_{\text{шк}}} = 2 \frac{(P_z \cdot \frac{D}{2})}{D_{\text{шк}}} \quad (2.4)$$

де $D_{\text{шк}}$ – діаметр шківів, мм

$$F_H = \frac{2(1809 \cdot \frac{50}{2})}{196} = 461$$

Знаходимо реакції опор з рівнянь моментів

$$\sum M_{Raz} = 0, \quad Rb_z \cdot b - P_z \cdot (b + c) - F_H \cdot a = 0 \quad (2.5)$$

$$Rb_z = \frac{P_z \cdot (b+c) + F_H \cdot a}{b} \quad (2.6)$$

$$Rb_z = \frac{1809 \cdot (256 + 155) + 461 \cdot 134}{256} = 3145,6$$

$$\sum M_{Rbz} = 0, \quad -P_z \cdot c - Ra_z \cdot b - F_H \cdot (a + b) = 0 \quad (2.7)$$

$$Ra_z = \frac{-P_z \cdot c - F_H \cdot (a+b)}{b} \quad (2.8)$$

$$Ra_z = \frac{-1809 \cdot 155 - 461 \cdot (134 + 256)}{256} = -1797,6$$

$$\sum M_{Ray} = 0, \quad P_y \cdot (b + c) - Ra_y \cdot b = 0 \quad (2.9)$$

$$Ra_y = \frac{P_y \cdot (b+c)}{b} \quad (2.10)$$

$$Ra_y = \frac{633,15 \cdot (256 + 155)}{256} = 1016,5$$

$$\sum M_{Rby} = 0, \quad P_y \cdot c + R_{by} \cdot b = 0 \quad (2.11)$$

$$Rb_y = - \frac{P_y \cdot c}{b} \quad (2.12)$$

$$Ra_y = - \frac{633,15 \cdot 155}{256} = -383,35$$

Виконуємо перевірку

$$\sum F_z = 0 \quad F_H + R_{bz} + R_{az} - P_z = 0 \quad (2.13)$$

$$461 + 3145,6 + (-1797,6) - 1809 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad -R_{ay} - R_{by} + P_y = 0 \quad (2.14)$$

$$383,35 - 1016,5 + 633,15 = 0$$

Сумарні реакції опор

$$A = \sqrt{Ra_z^2 + Ra_y^2} \quad (2.15)$$

$$A = \sqrt{(-1797,6)^2 + (-383,35)^2} = 1832$$

$$B = \sqrt{Rb_z^2 + Rb_y^2} \quad (2.16)$$

$$B = \sqrt{3145,6^2 + 1016,5^2} = 3305$$

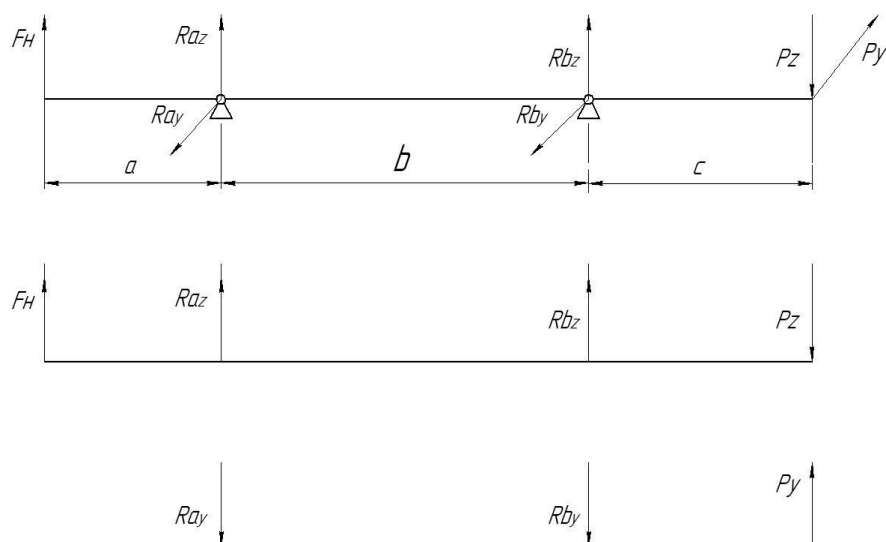


Рисунок 2.1 – Схема навантаження шпинделя

2.2 Розрахунок осьового та результуючого навантаження для шпиндельного вузла верстата Goodway Machine Corp. GA 2000

Режими різання призначаються аналогічні як і для верстата Puma 2100

Глибина різання t , мм

$$t = 3,5$$

Подача S_o мм/об

$$S_o = 0,3$$

Швидкість різання V_i м/хв

$$V_i = 300$$

Частота обертання шпинделя n , хв^{-1} розраховується за формулою

$$n = \frac{1000 \cdot 300}{3,14 \cdot 50} = 1910$$

Призначається дійсне значення частоти обертання шпинделя, n_d , хв^{-1}

$$n_d = 2000$$

Дійсне значення швидкості різання, V_d , м/хв. розраховується за формулою

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 2000}{1000} = 314$$

Тангенціальна сила різання P_z , Н розраховується за формулою

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3,5^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 314^{-0,15} \cdot 1,0 = 1809$$

Осьова сила P_y , Н

$$P_y = 0,4 \cdot 1809 = 633,15 \text{ Н}$$

Визначаємо силу натягу F_H , Н

$$F_H = \frac{2(1809 \cdot \frac{50}{2})}{196} = 461$$

Знаходимо реакції опор з рівнянь моментів

$$\sum M_{Raz} = 0, \quad Rb_z \cdot b - P_z \cdot (b + c) - F_H \cdot a = 0 \quad (2.41)$$

$$Rb_z = \frac{P_z \cdot (b+c) + F_H \cdot a}{b} \quad (2.42)$$

$$Rb_z = \frac{1809 \cdot (265 + 273) + 461 \cdot 258}{265} = 4121,4$$

$$\sum M_{Rbz} = 0, \quad -P_z \cdot c - Ra_z \cdot b - F_H \cdot (a + b) = 0 \quad (2.43)$$

$$Ra_z = \frac{-P_z \cdot c - F_H \cdot (a+b)}{b} \quad (2.44)$$

$$Ra_z = \frac{-1809 \cdot 273 - 461 \cdot (258 + 265)}{265} = -2773,4$$

$$\sum M_{Ray} = 0, \quad P_y \cdot (b + c) - R_{by} \cdot b = 0 \quad (2.45)$$

$$R_{by} = \frac{P_y \cdot (b+c)}{b} \quad (2.46)$$

$$Rb_y = \frac{633,15 \cdot (265 + 273)}{265} = 1285,41$$

$$\sum M_{Rby} = 0, \quad P_y \cdot c + R_{ay} \cdot b = 0 \quad (2.47)$$

$$Ra_y = - \frac{P_y \cdot c}{b} \quad (2.48)$$

$$Ra_y = - \frac{633,15 \cdot 273}{265} = -652,26$$

Виконуємо перевірку

$$\sum F_z = 0 \quad F_H + R_{bz} + R_{az} - P_z = 0 \quad (2.49)$$

$$461 + 4121,4 + (-2773,4) - 1809 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad -R_{ay} - R_{by} + P_y = 0 \quad (2.49)$$

$$652,26 - 1285,41 + 633,15 = 0$$

Сумарні реакції опор

$$A = \sqrt{(-2773,4)^2 + 652,26^2} = 2849$$

$$B = \sqrt{4121,4^2 + 1285,41^2} = 4317$$

Схема навантаження шпинделя надається на рисунку 2.1

2.3 Визначення температури в шпиндельних опорах верстатів

Надлишкова температура в шпиндельних опорах розраховується за наступними формулами.

Радіуси зовнішніх кілець підшипників, встановлених в опорах, м

$$r_{1\text{пшоп}1,2} = \frac{D_{\text{пшоп}1,2}}{2}, \quad (2.17)$$

де $D_{\text{пшоп1,2}}$ – зовнішній діаметр підшипника, встановленого в 1, 2 опорі

м

Середній діаметр підшипників, встановлених в опорах, м

$$T_{\text{пшоп1,2}} = \frac{D_{\text{пшоп1,2}} + d_{\text{пшоп1,2}}}{2} \quad (2.18)$$

де $d_{\text{пшоп1,2}}$ – внутрішній діаметр підшипника, встановленого в 1, 2

опорі м

Сумарна ширина кілець підшипників, встановлених в опорах, м

$$b_{\text{оп1,2}} = k_{\text{пшоп1,2}} \cdot b_{\text{пшоп1,2}} \quad (2.19)$$

де $k_{\text{пшоп1,2}}$ – кількість підшипників, встановлених в опорі 1, шт.;

$b_{\text{пшоп1,2}}$ – ширина кільця підшипника, встановленого в опорі 1,2.

Площа поперечного перерізу шпинделя

$$\begin{aligned} F_{\text{шп1оп1}} &= \frac{\pi(D_{\text{шп1оп1}}^2 - d_{\text{шп1оп1}}^2)}{4} \\ F_{\text{шп2оп1}} &= \frac{\pi(D_{\text{шп1оп1}}^2 - d_{\text{шп2оп1}}^2)}{4} \\ F_{\text{шп1оп2}} &= \frac{\pi(D_{\text{шп1оп2}}^2 - d_{\text{шп1оп2}}^2)}{4} \\ F_{\text{шп2оп1}} &= \frac{\pi(D_{\text{шп1оп2}}^2 - d_{\text{шп2оп2}}^2)}{4} \end{aligned} \quad (2.20)$$

Периметр тепловіддаючої поверхні шпинделя, м

$$U_{\text{шп1оп1}} = 2 \cdot (\pi \cdot D_{\text{шп1оп1}} + L_{\text{шп1оп1}}), \quad (2.21)$$

де $L_{\text{шп1оп1,2}}$ – довжина нескінченної частини шпинделя, яка виходить з опори 1,2 м;

$L_{\text{шп2оп1}}$ – довжина кінцевої частини шпинделя, яка виходить з опори 1,2 м

$$U_{\text{шп2оп1}} = 2 \cdot (\pi \cdot D_{\text{шп2оп1}} + L_{\text{шп2оп1}})$$

$$U_{\text{шп1оп2}} = 2 \cdot (\pi \cdot D_{\text{шп1оп2}} + L_{\text{шп1оп2}})$$

$$U_{\text{шп2оп2}} = 2 \cdot (\pi \cdot D_{\text{шп2оп2}} + L_{\text{шп2оп2}})$$

Периметр тепловіддаючої поверхні шпиндельної коробки, м

$$U_{\text{шкоп1,2}} = 2(B_{\text{шкоп1,2}} + H_{\text{шкоп1,2}}) + 2 \cdot \pi \cdot r_{1\text{пшоп1,2}}, \quad (2.22)$$

де $B_{\text{шкоп1,2}}$ – ширина стінки шпиндельної коробки з опорою 1,2 м;

$H_{\text{шкоп1,2}}$ – висота стінки шпиндельної коробки з опорою 1,2 м

Площа поперечного перерізу стінки шпиндельної коробки, м

$$F_{\text{шкоп1,2}} = B_{\text{шкоп1,2}} \cdot H_{\text{шкоп1,2}} - \pi \cdot r_{1\text{пшоп1,2}}^2 \quad (2.23)$$

Розрахунок моменту тертя холостого ходу в підшипниках, Н·мм

Мащення мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$$M_{o_{\text{м1оп1,2}}} = f_{o_{\text{м1}}} \cdot 10^{-7} (\nu_{\text{м1}} \cdot n)^{\frac{2}{3}} \cdot (T_{\text{пшоп1,2}} \cdot 10^3)^3, \quad (2.24)$$

де $f_{o_{\text{м1}}}$ – коефіцієнт для радіально-упорних однорядних кулькових підшипників при мащенні розбризкуванням мастилом;

$\nu_{\text{м1}}$ – в'язкість мастила при робочій температурі

Мащення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80

$$M_{o_{m2оп1}} = f_{o_{m2}} \cdot 10^{-7} (\nu_{m2} \cdot n)^{\frac{2}{3}} \cdot (T_{пшоп1} \cdot 10^3)^3$$

$$M_{o_{m1оп2}} = f_{o_{m2}} \cdot 10^{-7} (\nu_{m2} \cdot n)^{\frac{2}{3}} \cdot (T_{пшоп2} \cdot 10^3)^3$$

Розрахунок складової моменту тертя, яка залежить від навантаження,
Н·мм

$$\mu_{1оп1,2} = 0,002 \left(\frac{F_{оп1,2}}{C_{оп1,2}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.25)$$

де $C_{оп1,2}$ – статична вантажопідйомність підшипника, який встановлений в опорі 1,2, Н

$$f_{1оп1,2} = 1,5 \cdot \frac{F_{aоп1,2}}{F_{оп1,2}} + 0,25 \quad (2.26)$$

де $F_{aоп1,2}$ – осьове навантаження на опору 1,2, ;Н

$F_{оп1,2}$ – результуюче навантаження на опору 1,2, Н

$$M_{1оп1,2} = \mu_{1оп1,2} \cdot f_{1оп1,2} \cdot F_{оп1,2} \cdot \frac{T_{пшоп1,2} \cdot 10^3}{2} \quad (2.27)$$

Момент тертя в опорі в залежності від типу мастильного матеріалу,
частоти обертання шпинделя, М, Н·мм

Мащення мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$$M_{m1оп1} = M_{ом1п1} + M_{1оп1} \quad (2.28)$$

$$M_{m1оп2} = M_{ом1п2} + M_{1оп2}$$

Мащення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80

$$M_{m2оп1} = M_{ом2п1} + M_{1оп1}$$

$$M_{m2оп2} = M_{ом2п2} + M_{1оп2}$$

Потужність тепловиделення в опорах, Вт

Мащення мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$$\begin{aligned} N_{\text{м1оп1}} &= 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot M_{\text{м1оп1}} \\ N_{\text{м1оп2}} &= 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot M_{\text{м1оп1}} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Мащення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80

$$\begin{aligned} N_{\text{м2оп1}} &= 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot M_{\text{м2оп}} \\ N_{\text{м2оп2}} &= 1,047 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot M_{\text{м2оп}} \end{aligned}$$

Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі для торцевих стінок шпиндельних коробок пруткових револьверних автоматів. Коефіцієнт тепловіддачі для стінки, дотичної до шківа пасової передачі

$$\alpha_{\text{шкоп2}} = 1,38 \left(\frac{n}{9,549} \right)^{0,42} \cdot \left(\frac{R_o}{h_a} \right)^{0,4} \cdot R_o^{-0,16} \cdot i^{0,3} \cdot (1 - 3 \cdot l) \cdot b^{-0,38} \quad (2.30)$$

де R_o – радіус шківа пасової передачі, м;

h_a – відстань від осі шківа до точки в зоні якої визначається коефіцієнт тепловіддачі, м

i – кількість пасів на шківу пасової передачі;

l – відстань між бічною поверхнею стінки шпиндельної коробки та шківом, м;

b – відстань між зовнішньою поверхнею паса та внутрішньою поверхнею захисного кожуха пасової передачі, м

Коефіцієнт тепловіддачі для стінки, дотичної до робочої зони верстата
Швидкість обертання прутка в цанговому патроні, м/с

$$v_{\text{гр}1} = \frac{n}{60} R_v \quad (2.31)$$

де R_v – радіус прутка, що обертається в цанговому патроні, м

Розрахунок коефіцієнта K_{h1}

$$K_{h1} = 1 - e^{\frac{-h1}{0,6 \cdot R_v}} \quad (2.32)$$

де $h1$ – довжина прутка, що обертається в робочій зоні верстата, м

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі стінки шпиндельної коробки

$$\alpha_{\text{шкоп}1} = 4,62 \cdot v_{\text{гр}1}^{0,57} \cdot R_v^{0,32} \cdot x^{-0,75} \cdot K_{h1} \cdot K_{h2}, \quad (2.33)$$

де x – відстань від бічної поверхні стінки до поверхні прутка, що обертається в робочій зоні верстата, м;

K_{h2} – коефіцієнт який визначається за діаграмою [9]

Коефіцієнт m для стінки шпиндельної коробки, яка вміщує опору 1

$$m_{\text{оп}1} = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{шкоп}1} \cdot U_{\text{шкоп}1}}{\lambda \cdot F_{\text{шкоп}1}}} \quad (2.34)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу шпинделя, Вт/(м*К)

Коефіцієнт m для стінки шпиндельної коробки, яка вміщує опору 2

$$m_{\text{оп}2} = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{шкоп}2} \cdot U_{\text{шкоп}2}}{\lambda \cdot F_{\text{шкоп}2}}}$$

Коефіцієнт y для стінки шпиндельної коробки, яка вміщує опору 1

$$\psi_{оп1} = \frac{J_1(m_{оп1} \cdot r_{2оп1}) \cdot K_1(m_{оп1} \cdot r_{1оп1}) - J_1(m_{оп1} \cdot r_{1оп1}) \cdot K_1(m_{оп2} \cdot r_{2оп2})}{J_0(m_{оп1} \cdot r_{2оп1}) \cdot K_1(m_{оп1} \cdot r_{2оп1}) + J_1(m_{оп1} \cdot r_{2оп1}) \cdot K_0(m_{оп2} \cdot r_{2оп2})} \quad (2.35)$$

Коефіцієнт у для стінки шпіндельної коробки, яка вміщує опору 2

$$\psi_{оп2} = \frac{J_1(m_{оп2} \cdot r_{2оп2}) \cdot K_1(m_{оп2} \cdot r_{1оп2}) - J_1(m_{оп2} \cdot r_{2оп2}) \cdot K_1(m_{оп2} \cdot r_{2оп2})}{J_0(m_{оп2} \cdot r_{1пшоп1}) \cdot K_1(m_{оп2} \cdot r_{2оп2}) + J_1(m_{оп2} \cdot r_{2оп2}) \cdot K_0(m_{оп2} \cdot r_{1пшо2})}$$

Коефіцієнт, який враховує тепловідведення стінки шпіндельної коробки з опорою 1

$$K_{1оп1} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_{стшк} \cdot \lambda \cdot \psi_{оп1} \cdot r_{1пшоп1} \cdot L_{шкор1} \cdot m_{оп1} \cdot b_{оп1}}{\alpha_{стшк} \cdot b_{оп1} + \lambda \cdot m_{оп} \cdot \psi_{оп1} \cdot L_{шкп1}} \quad (2.36)$$

Коефіцієнт, який враховує тепловідведення стінки шпіндельної коробки з опорою 2

$$K_{1оп2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \alpha_{стшк} \cdot \lambda \cdot \psi_{оп2} \cdot r_{1пшоп2} \cdot L_{шкор2} \cdot m_{оп2} \cdot b_{оп2}}{\alpha_{стшк} \cdot b_{оп2} + \lambda \cdot m_{оп2} \cdot \psi_{оп2} \cdot L_{шкп2}}$$

Коефіцієнт, який враховує тепловідведення в шпіндель, якщо одна частина шпинделя, яка виходить з опори, вважається нескінченною, а інша – кінцевою

$$m_2 = \sqrt{\frac{\alpha_{2оп1} \cdot U_{шп2оп1}}{\lambda_1 \cdot F_{шп2оп1}}} \quad (2.37)$$

$$K_{2оп1} = \frac{\alpha_{стшк} \cdot \pi \cdot D_{шп1оп1} \cdot b_{оп1} \cdot (\sqrt{\alpha_{1оп1} \cdot \lambda_1 \cdot F_{шп1оп1} \cdot U_{шп1оп}} + \frac{\alpha_{2оп1} \cdot U_{шп2оп1}}{m_2}}{\alpha_{стшк} \cdot \pi \cdot D_{шп1оп1} \cdot b_{оп1} + \sqrt{\alpha_{1оп1} \cdot \lambda_1 \cdot F_{шп1оп1} \cdot U_{шп1оп}} + \frac{\alpha_{2оп1} \cdot U_{шп2оп1}}{m_2}} \times$$

$$\times \frac{\tanh(m_2 \cdot L_{шкп2оп1})}{\tanh(m_2 \cdot L_{шкп2оп1})} \quad (2.38)$$

Мащення мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$$v_{m1op1,2} = \frac{2N_{m1op1,2}}{K_{1op1,2} + K_{2op1,2}} \quad (2.39)$$

Мащення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80 (УкЛи4/13-2)

$$v_{m2op1,2} = \frac{2N_{m2op2}}{K_{1op2} + K_{2op2}} \quad (2.40)$$

Розрахунок виконується в програмі MathCad

Для заданих конструкцій визначені наступні технологічні, геометричні розміри, що впливають на потужність втрат на тертя в опорах шпинделя які надаються в таблиці 1

Таблиця 2.1 – Вихідні данні для розрахунку тепловиділення в опорах

Параметр	Значення	
	PUMA 2100	Goodway Machine GA 2000
Коефіцієнт теплопровідності поверхні	2675	2675
Зовнішній діаметр підшипника, в опорі 1	0,18	0,15
Зовнішній діаметр підшипника, в опорі 2	0,17	0,14
Внутрішній діаметр підшипника, в опорі 1,	0,12	0,10
Внутрішній діаметр підшипника, в опорі 2	0,108	0,09
Ширина кільця підшипника, в опорі 1, м	0,028	0,037
Ширина кільця підшипника, встановленого в опорі 2, м	0,045	0,037
Кількість підшипників, в опорі 1, шт	3	3
Кількість підшипників, в опорі 2, шт	1	1
Висота стінки шпиндельної коробки з опорою 1, м	0,588	0,49

Продовження таблиці 2.1

Параметр	Значення	
	PUMA 2100	Goodway Machine GA 2000
Ширина стінки шпindelьної коробки з опорою 1, м	0,090	0,123
Довжина стінки шпindelьної коробки з опорою 1, м	0,278	0,356
Висота стінки шпindelьної коробки з опорою 2, м	0,588	0,49
Ширина стінки шпindelьної коробки з опорою 2, м	0,055	0,079
Довжина стінки шпindelьної коробки з опорою 2, м	0,278	0,381
Коефіцієнт теплопровідності стінки шпindelьної коробки, Вт/(м·К)	50	50
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу шпинделя, Вт/(м·К)	47,8	47,8
Коефіцієнт тепловіддачі нескінченної частини шпинделя, яка виходить з опори 1, Вт/(м ² ·К)	8,128	8,128
Коефіцієнт тепловіддачі кінцевої частини шпинделя, яка виходить з опори 1, Вт/(м ² ·К)	8,128	8,128
Коефіцієнт тепловіддачі нескінченної частини шпинделя, яка виходить з одного боку опори 2, Вт/(м ² ·К)	8,128	8,128
Коефіцієнт тепловіддачі кінцевої частини шпинделя, яка виходить з іншого боку опори 2, Вт/(м ² ·К)	8,128	8,128
Довжина нескінченної частини шпинделя (опори 1), м	0,428	0,507
Довжина кінцевої частини шпинделя (опора 1), м	0,148	0,234
Довжина частини шпинделя, (опора 2)	0,397	0,484
Довжина частини шпинделя, яка виходить з іншого боку опори 2, м	0,177	0,265

Продовження таблиці 2.1

Параметр	Значення	
	PUMA 2100	Goodway Machine GA 2000
Зовнішній діаметр нескінченної частини шпинделя, яка виходить з опори 1, м	0,106	0,10
Зовнішній діаметр кінцевої частини шпинделя, яка виходить з опори 1	0,12	0,118
Зовнішній діаметр частини шпинделя, яка виходить з одного боку опори 1, м	0,106	0,09
Зовнішній діаметр частини шпинделя, яка виходить з іншого боку опори 1, м	0,12	0,10
Діаметр отвору в нескінченній частині шпинделя, яка виходить з опори 1, м	0,076	0,076
Діаметр отвору в кінцевій частині шпинделя, яка виходить з опори 1, м	0,076	0,076
Діаметр отвору в частині шпинделя, яка виходить з одного боку опори 2, м	0,076	0,076
Діаметр отвору в частині шпинделя, яка виходить з іншого боку опори 2, м	0,076	0,076
Частота обертання шпинделя хв^{-1}	2500	2500
Радіус кола, описаного з центру підшипника через найвіддаленіший кут стінки шпиндельної коробки з опорою 1, м	0,568	0,368
Радіус кола, описаного з центру підшипника через найвіддаленіший кут стінки шпиндельної коробки з опорою 2, м	0,568	0,368

Продовження таблиці 2.1 – Вихідні данні

Параметр	Значення	
	PUMA 2100	Goodway Machine GA 2000
Коефіцієнт для радіально-упорних однорядних кулькових підшипників при мащенні розбризкуванням мастилом	2	2
Коефіцієнт для радіально-упорних однорядних кулькових підшипників при мащенні пластичним мастилом	1	1
Статична вантажопідйомність підшипника в опорі 1	86500	86500
Статична вантажопідйомність підшипника в опорі 2	190000	190000
Результуюче навантаження на опору 1	3305	1380
Результуюче навантаження на опору 2	1838	2849
Осьове навантаження на опору 1	542,7	542,7
Осьове навантаження на опору 2	0	0
Радіус шківів пасової передачі, м	0,098	0,094
Відстань від осі шківів до точки в зоні А, в якій визначається коефіцієнт тепловіддачі, м	0,065	0,065
Кількість пасів на шківу пасової передачі	1	1
Відстань між бічною поверхнею стінки шпиндельної коробки та шківом, м	0,020	0,020
Відстань між зовнішньою поверхнею паса та внутрішньою поверхнею захисного кожуха пасової передачі	0,057	0,060

Продовження таблиці 2.1

Параметр	Значення	
	PUMA 2100	Goodway Machine GA 2000
Радіус прутка, що обертається в цанговому патроні, м	0,070	0,070
Відстань від бічної поверхні стінки до поверхні прутка, що обертається в робочій зоні верстата, м	0,188	0,188
Довжина прутка, що обертається в робочій зоні верстата, м	0,120	0,120
Коефіцієнт, який визначається за діаграмою	1,42	1,42
В'язкість мастила Т22 ГОСТ 32-74 при робочій температурі	22	22
В'язкість мастила ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80 при робочій температурі	16	16

Результати розрахунку надлишкової температури шпиндельних опор верстатів Doosan Puma Infracore 2100 та Goodway Machine GA 2000 надаються в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків надлишкової температури шпиндельних опор верстатів

Назва верстата	Мащення мастилом Т22 ГОСТ 32-74		Мащення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80	
	передньої	задньої	передньої	задньої
Doosan Puma Infracore 2100	21,216	13,014	9,086	5,314
Goodway Machine GA 2000	16,344	11,745	6,869	4,882

3 РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗСУВІВ ОСІ ШПИНДЕЛЯ

3.1 Розрахунок температурного поля і температурних деформацій шпинделя верстата GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000

Розглянемо шпиндельну бабку верстата з точки зору температурної поведінки. Температурне поле формується за рахунок тепла, що виділяється в шпиндельних опорах.

За допомогою програми Solidworks було побудовано спрощену геометричну 3-D модель шпиндельної бабки.

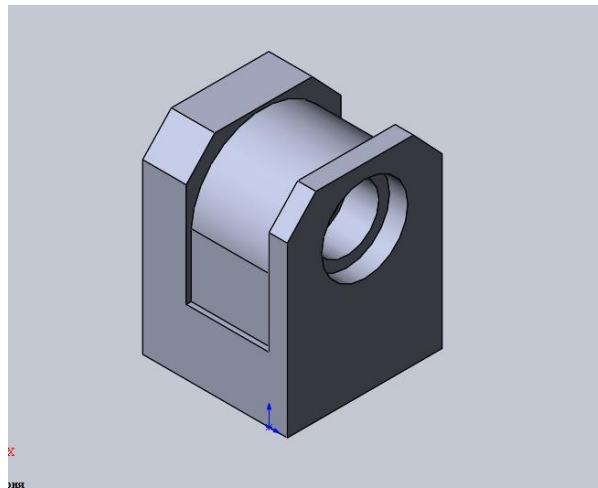


Рисунок 3.1 – 3-D модель шпиндельної бабки верстата GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000

Розрахунок стаціонарного температурного поля та температурних деформацій шпиндельної бабки для трьохвимірної задачі виконується методом скінченних елементів.

Для цього задаються наступні властивості матеріалу:

- коефіцієнт лінійного розширення $ALPX = 1,2 \cdot 10^{-5}$
- коефіцієнт Пуассона $PRXY = 0,3$
- коефіцієнт теплопровідності $KXX = 0,049$

- модуль пружності $E_X = 1.2 \cdot 10^{11}$

Наступним кроком є завдання типу елемента. Для моделювання теплопровідності в твердотільній моделі обираємо Thermal Mass/ Solid $\rightarrow$ 20 node 90. Це елемент який являє собою 6-ти кутник з 20 вузлами 8 з яких розташовані на кутах, а 12 на серединах сторін.

Створюємо скінчено елементну сітку.

Навантаження в тепловому розрахунку задається у вигляді прикладання граничних умов. Граничні умови задаємо на геометричну модель (обираючи вкладку площа):

а) постійна температура – температура підшипників в першій та другій опорі;

б) конвекція – поверхнева гранична умова, що задається на зовнішні поверхні моделі для врахування «витоків» тепла в навколишнє середовище. Для торцевих поверхонь шпindelної коробки $\lambda=50$, для бокових поверхонь $\lambda=8 \text{ Вт(м}^2/\text{К)}$, для поверхні з ребрами $\lambda=14 \text{ Вт(м}^2/\text{К)}$

Після формування математичної моделі виконуємо розрахунок температурного поля шпindelної коробки

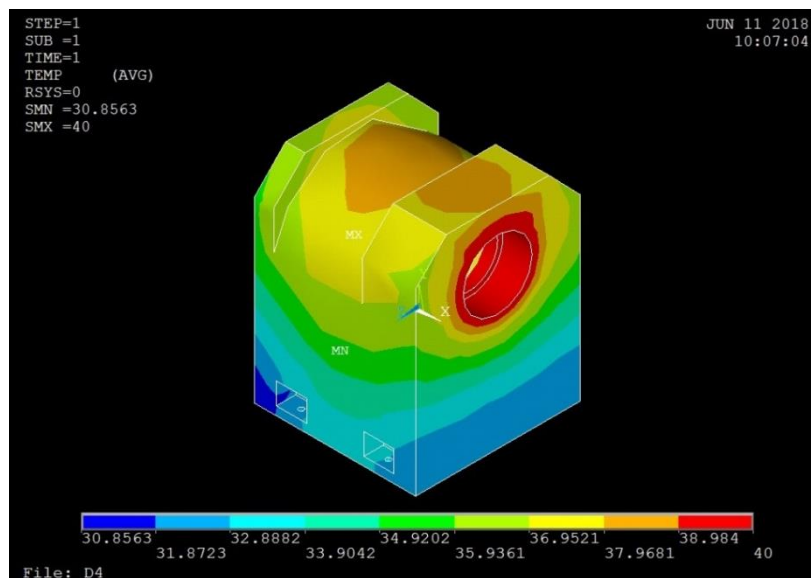


Рисунок 3.2 – Результат розрахунку температурного поля при роботі верстата верстата GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000

Для отримання даних про температурні зміщення вісі, проводимо структурний аналіз. Отже на двох передніх поверхнях кріплення бабки до верстата задаємо 0 по вісі X та Z. Для всієї нижньої базової поверхні прикладаємо навантаження 0 по вісі Y, а також тепловий розрахунок, що був отриманий раніше.

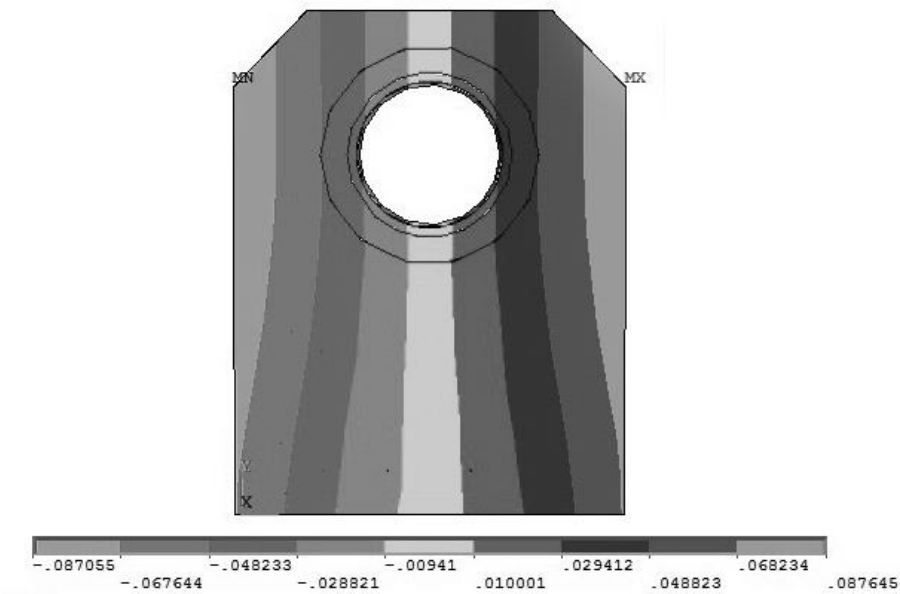


Рисунок 3.3 – Результат структурного аналізу

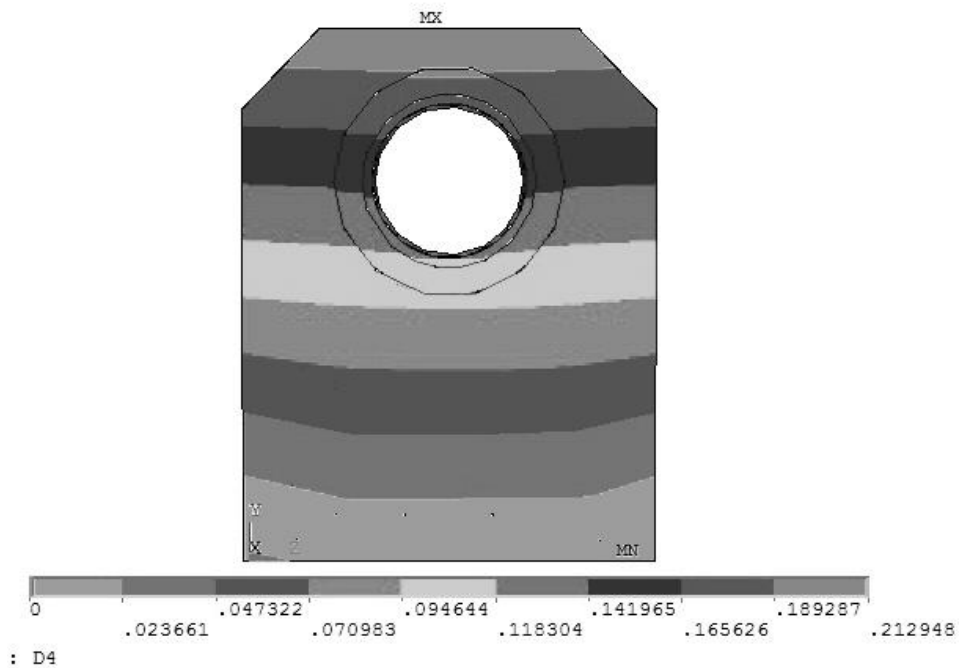


Рисунок 3.4 – Результат структурного аналізу за віссю Y

Проаналізувавши отримані результати можна сказати що з точки зору тепловиділення кращою є шпиндельна бабка верстата GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000, бо вона є термоситеричною. Деформації верстата за віссю Z становлять нульове значення.

Відносні зсуви осі шпинделя і інструмента внаслідок вертикальних деформацій шпиндельної бабки при розташуванні супорта під кутом 30° до горизонту визначається за формулою

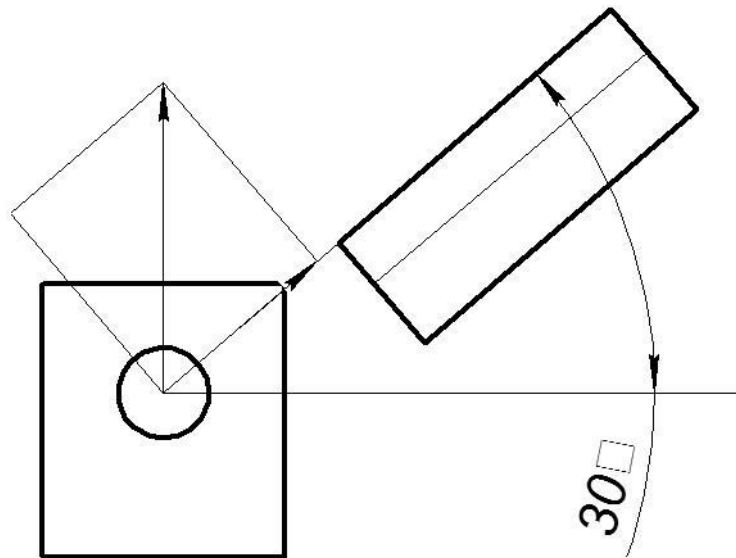


Рисунок 3.5 – Схема розкладання температурних зміщень

$$\delta_v = \delta_{\text{верт}} \cdot \sin 30, \quad (3.1)$$

де $\delta_{\text{верт}}$ – вертикальні зміщення осі шпинделя бабки (рис 3.4)

$$\delta_{\text{верт}} = 0,142$$

$$\delta_v = 0,142 \cdot \sin 30 = 0,071$$

Відносний зсув у горизонтальній площині складає 0,071 мм. Для прикладу для обробки $\varnothing$ 180-250 мм поле допуску для 8 квалітету складає 72 мкм, отже температурні деформації витратять все поле допуску.

3.2 Розрахунок температурного поля і температурних деформацій шпинделя верстата Doosan Infracore PUMA 2100

Розглянемо шпиндельну бабку верстата з точки зору температурної поведінки. Температурне поле формується за рахунок тепла, що виділяється в шпиндельних опорах.

За допомогою програми Solidworks було побудовано спрощену геометричну 3-D модель шпиндельної бабки.

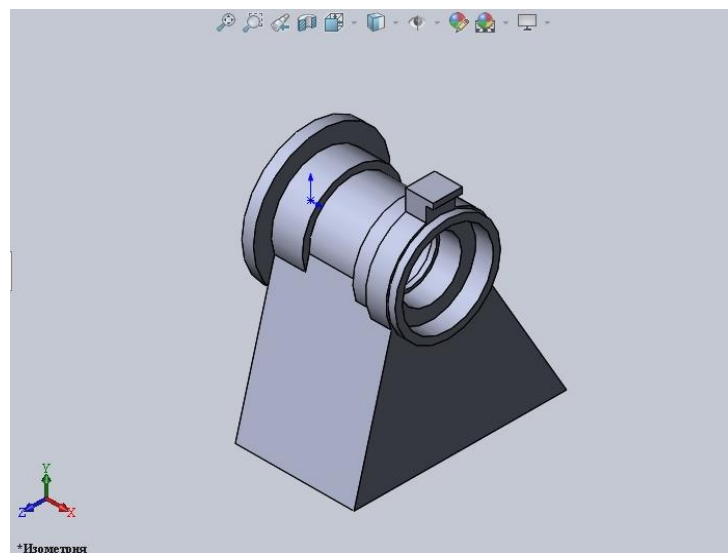


Рисунок 3.6 – 3-D модель шпиндельної бабки верстата Doosan Infracore PUMA 2100

Розрахунок стаціонарного температурного поля та температурних деформацій шпіндельної бабки для трьох вимірної задачі виконується методом скінченних елементів.

Для цього задаються наступні властивості матеріалу:

- коефіцієнт лінійного розширення $ALPX = 1,2 \cdot 10^{-5}$
- коефіцієнт Пуассона $PRXY = 0,3$
- коефіцієнт теплопровідності $KXX = 0,049$
- модуль пружності $EX = 1,2 \cdot 10^{11}$

Наступним кроком є завдання типу елемента. Для моделювання теплопровідності в твердотільній моделі обираємо Thermal Mass/ Solid $\rightarrow$ 20 node 90. Це елемент який являє собою 6-ти кутник з 20 вузлами 8 з яких розташовані на кутах, а 12 на серединках сторін.

Створюємо скінченно елементну сітку.

Навантаження в тепловому розрахунку задається у вигляді прикладання граничних умов. Граничні умови задаємо на геометричну модель (обираючи вкладку площа):

а) постійна температура – температура підшипників в першій та другій опорі;

б) конвекція – поверхнева гранична умова, що задається на зовнішні поверхні моделі для врахування «витоків» тепла в навколишнє середовище. Для торцевих поверхонь шпіндельної коробки $\lambda = 50 \text{ Вт(м}^2/\text{К)}$, для бокових поверхонь $\lambda = 8 \text{ Вт(м}^2/\text{К)}$, для поверхні з ребрами $\lambda = 14 \text{ Вт(м}^2/\text{К)}$

Після формування математичної моделі виконуємо розрахунок температурного поля шпиндельної коробки

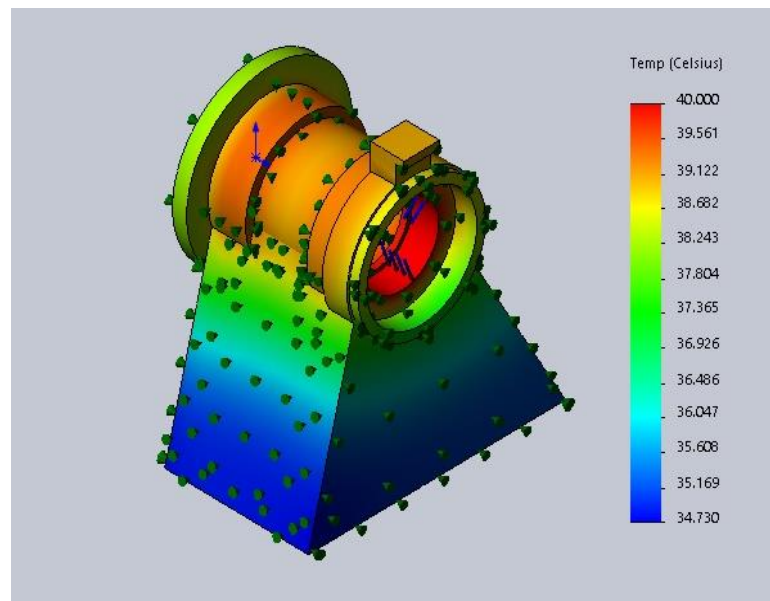


Рисунок 3.7 – Результат розрахунку температурного поля при роботі верстата верстата Doosan Infracore PUMA 2100

Для отримання даних про температурні зміщення вісі, проводимо структурний аналіз. На двох передніх поверхнях кріплення бабки до верстата задаємо 0 зміщення по вісі X та Z. До всієї нижньої базової опорної поверхні прикладаємо навантаження 0 по вісі Y, а також тепловий розрахунок, що був отриманий раніше.

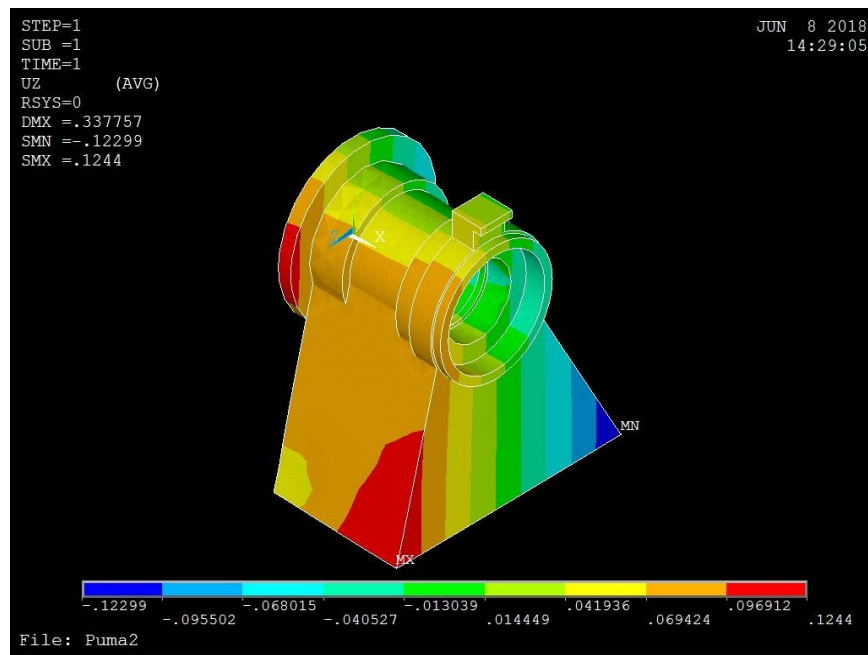


Рисунок 3.8 – Результат структурного аналізу

Конструкція шпиндельної бабки не є термосиметричною, тепловиділення відбувається не рівномірно. За рахунок цього зміщення вісі Z відбувається на величину -0.010 мм, зміщення за віссю Y становлять 0 значення через те, що площини інструментального супорта та площини розташування шпиндельної бабки паралельні вісі X, деформації по вісі Y виключаються. Отже це свідчить про те, що дане базування спричиняє менші температурні деформації.

4 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

На підставі виконаного аналізу та розрахунків температури в опорах, температурних полів та температурних зміщень осей можна зробити висновок, що кращим варіантом буде та конструкція, площина базування якої, буде паралельна площині X та інструментальному супорту.

Виходячи з того, що тоді шпиндельна бабка буде стояти під нахилом, кращим варіантом буде саме не симетрична конструкція, так як в протилежному випадку виключається виникнення термосиметрії, за рахунок того що одна бічна поверхня буде охолоджуватись швидше за іншу.

4.1 Вибір параметрів шпиндельної бабки

Переважає більшість шпиндельних вузлів верстатів створюється методом аналогії на основі типових конструктивних схем і тільки конструктивне оформлення передніх кінців шпинделів виконується згідно вимог державних стандартів. Передні кінці шпинделів служать для базування і закріплення інструменту, оброблюваної деталі або пристосування.

За базу вибираємо компонування шпиндельної бабки верстата Doosan Infracore PUMA 2100. При такому компонуванні змінити характер деформацій можливо шляхом зміни температури. Для мінімізації температурного впливу, необхідно досягти термосиметрії, за рахунок зміни геометричних розмірів.

Враховуючи, що максимальний діаметр обробки прутка складає 65 мм для передньої опори обираємо 3 упорно-радіальних підшипника №7024 ACE/P4A за схемою триплекс.

$$d = 120 \text{ мм}$$

$$D = 180 \text{ мм}$$

$$b = 28 \text{ мм}$$

Для задньої опори обираємо дворядний радіальний підшипник з конусом - для регулювання попереднього натягу

$$d = \text{мм}$$

$$D = 172 \text{ мм}$$

$$b = 42 \text{ мм}$$

Відстань між опорами d , мм встановлюємо враховуючи рекомендації[].

$$d = 256 \text{ мм}$$

Відстань c , мм беремо враховуючи розміри затискного пристрою, ущільнення

$$c = 155 \text{ мм}$$

4.2 Розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі

У зв'язку зі зміною геометрії виконуємо уточнення температурних коефіцієнтів.

За для того аби визначити температурні коефіцієнти на бічних поверхнях, розраховуємо число Грасгофа, яке характеризує ефективність підйомної сили і застосовується при дослідженні вільної конвекції

$$Gr = g \cdot \beta \cdot \Delta t \frac{l^3}{\nu^2} \quad (4.1)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с^2

β – температурний коефіцієнт об'ємного розширення;

Δt – різниця температур, $^{\circ}\text{C}$;

l – висота стінки, м;

ν – температурний коефіцієнт в'язкості теплоносія

$$Gr = 9,8 \cdot 3,665 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot \frac{0,48^3}{(1,51 \cdot 10^{-5})^2} = 278733940,72$$

Число Прандтля характеризує подібність полів швидкості та температури в потоці і є мірою співвідношення інтенсивності перенесення імпульсу внутрішнім тертям та інтенсивності перенесення енергії теплопровідністю в потоці рідини

$$Pr = 0,703 \text{ – для } t = 20^\circ \text{ [8, табл.П-4, с.321]}$$

Число Нусельта – критерій подібності теплових процесів, Характеризує інтенсивність переходу теплоти (теплопередачі) на границі потік-стінка для стаціонарних процесів конвекційного теплообміну

$$Nu_{cp} = \frac{\alpha_{cp} \cdot X}{\lambda_{ж}} = c(Gr \cdot Pr)^n \quad (4.2)$$

де α_{cp} – коефіцієнт тепловіддачі,

X – висота шпіндельної бабки ;

$\lambda_{ж}$ – коефіцієнт теплопровідності теплоносія;

c – коефіцієнт;

n – показник степені

$$Nu_{cp} = 0,135 \cdot (278733940,72 \cdot 0,703)^{\frac{1}{3}} = 77,61$$

Середній коефіцієнт тепловіддачі розраховуємо за формулою

$$\alpha_{cp} = \frac{\lambda_{ж} \cdot Nu_{cp}}{X} \quad (4.3)$$

$$\alpha_{cp} = \frac{2,59 \cdot 10^{-2} \cdot 77,61}{0,48} = 4,19$$

Тепловіддача плоских поверхонь, котрі складають з вертикальною площиною кут φ може бути розрахована з допомогою рівняння шляхом введення до нього поправки, яка залежить від кута φ . Коефіцієнт тепловіддачі нахиленої поверхні визначається як коефіцієнт тепловіддачі вертикальної поверхні, помножений на поправочний множник

Для поверхні зверненої до низу, температурний коефіцієнт розраховується за формулою

$$\alpha = \alpha_{cp} \cdot \cos \varphi^{+0,25} \quad (4.4)$$

де φ – кут між пласкою поверхнею та вертикаллю

$$\varphi = 42^\circ$$

$$\alpha = 4,19 \cdot \cos 42^{+0,25} = 3,89$$

Для поверхні зверненої до гори, температурний коефіцієнт розраховується за формулою

$$\alpha = \alpha_{cp} \cdot \cos \varphi^{-0,25} \quad (4.5)$$

$$\varphi = 55^\circ$$

$$\alpha = 4,19 \cdot \cos 55^{+0,25} = 4,81$$

Коефіцієнти тепловіддачі поверхонь, що обдуваються валами (з ребрами), які обертаються розраховуються по формулі

$$\alpha = 6,49V^{0,76}R_o^{0,51}x^{-0,75}k_{h1}k_{h2}k_bk_ik_{l1}k_{l2}, \quad (4.6)$$

де R_o – радіус

X – відстань від

$k_{h1}k_{h2}$ – коефіцієнт

k_b – коефіцієнт

$k_ik_{l1}k_{l2}$ – коефіцієнт

$$k_{h1} = 1 - e^{-h1/0,6Ro} \quad (4.7)$$

$$k_{h1} = 1 - e^{-\frac{0,115}{0,6} \cdot 0,127} = 0,779$$

$$k_b = 0,35 + 32,5b \quad (4.8)$$

$$k_b = 0,35 + 32,5 \cdot 0,05 = 1,975$$

$$k_i = 0,715 + 0,095i, \quad (4.9)$$

де i – кількість кулачків, шт.

$$k_i = 0,715 + 0,095 \cdot 3 = 1$$

$$k_{l1} = 1,368 - e^{-l1/0,3} \quad (4.10)$$

$$k_{l1} = 1,368 - e^{-\frac{0,135}{0,3}} = 0,73$$

$$k_{l2} = 1 - 3,78\left(\frac{x}{R_o}\right)l_2 \quad (4.11)$$

$$k_{l2} = 1 - 3,78 \cdot \left(\frac{0,15}{0,127}\right) \cdot 0,075 = 0,66$$

k_{h1} – визначається за графіком в залежності від h_2 та x/R

$$\alpha = 6,49 \cdot 26,59^{0,76} 0,127^{0,51} 0,15^{-0,75} \cdot 0,779 \cdot 0,44 \cdot 0,046 \cdot 1,975 \cdot \\ \cdot 1 \cdot 0,73 \cdot 0,66 = 37,3$$

Коефіцієнти тепловіддачі поверхонь, що обдуваються валами (гладкими), які обертаються розраховуються за формулою

$$\alpha = 4,62V^{0,57}R_o^{0,32}x^{-0,75}k_{h1}k_{h2} \quad (4.12)$$

де X – відстань між крапкою на патроні, що розглядається та крайньою точкою шпіндельної бабки, мм

Температура на зазначеній поверхні – змінна, а отже і коефіцієнт тепловіддачі також буде мати змінну величину, тому виконуємо розрахунок з різною величиною X , аби визначити середнє значення коефіцієнту тепловіддачі.

$$X_1 = 0,115$$

$$X_2 = 0,127$$

$$X_3 = 0,160$$

$$\alpha_1 = 4,62V^{0,57}0,127^{0,32}0,115^{-0,75}0,779 \cdot 0,44 = 26,87$$

$$\alpha_2 = 4,62V^{0,57}0,127^{0,32}0,127^{-0,75}0,779 \cdot 0,44 = 24,95$$

$$\alpha_3 = 4,62V^{0,57}0,127^{0,32}0,16^{-0,75}0,779 \cdot 0,44 = 20,98$$

Приймаємо середнє значення $\alpha_2 = 24,95$

Коефіцієнти тепловіддачі поверхонь, що обдуваються шківками поліклинової пасової передачі, які обертаються

$$\alpha = 1,38n^{0,42}\left(\frac{R_o}{h}\right)^{0,4}R_o^{0,16}i^{0,3}(1-3l)b^{-0,38} \quad (4.12)$$

де n – частота обертання шпинделя, об/хв.;

i – кількість пасів, шт.;

h – відстань між крапкою, що розглядається та лінією осей шківів

$$h_1 = 0,18$$

$$h_2 = 0,13$$

$$h_3 = 0,1$$

$$\alpha_1 = 1,38 \cdot 2000^{0,42} \left(\frac{0,083}{0,18}\right)^{0,4} 0,083^{0,16} 4^{0,3} (1 - 3 \cdot 0,016) \cdot 0,3^{-0,38} = 37,62$$

$$\alpha_2 = 1,38 \cdot 2000^{0,42} \left(\frac{0,083}{0,13}\right)^{0,4} 0,083^{0,16} 4^{0,3} (1 - 3 \cdot 0,016) \cdot 0,3^{-0,38} = 42,84$$

$$\alpha_3 = 1,38 \cdot 2000^{0,42} \left(\frac{0,083}{0,1}\right)^{0,4} 0,083^{0,16} 4^{0,3} (1 - 3 \cdot 0,016) \cdot 0,3^{-0,38} = 47,59$$

Приймаємо середнє значення $\alpha_2 = 42,82$

4.3 Визначення температурного поля розробляємої конструкції шпиндельної бабки

Розрахунок стаціонарного температурного поля та температурних деформацій шпиндельної бабки для трьох вимірної задачі виконується методом скінченних елементів.

Для цього задаються наступні властивості матеріалу:

- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_{LPX} = 1,2 \cdot 10^{-5}$
- коефіцієнт Пуассона $\nu_{PRXY} = 0,3$

- коефіцієнт теплопровідності $K_{XX}=0,049$
- модуль пружності $E_X = 1.2 \cdot 10^{11}$

Наступним кроком є завдання типу елемента. Для моделювання теплопровідності в твердотільній моделі обираємо Thermal Mass/ Solid $\rightarrow$ 20 node 90. Це елемент який являє собою 6-ти кутник з 20 вузлами 8 з яких розташовані на кутах, а 12 на серединах сторін.

Створюємо скінчено елементну сітку.

Навантаження в тепловому розрахунку задається у вигляді прикладання граничних умов. Граничні умови задаємо на геометричну модель (обираючи вкладку площа):

а) постійна температура – температура підшипників в першій та другій опорі;

б) конвекція – поверхнева гранична умова, що задається на зовнішні поверхні моделі для врахування «витоків» тепла в навколишнє середовище. Задаємо визначені раніше коефіцієнти тепловіддачі.

Формуємо математичну модель та виконуємо розрахунок температурного поля шпindelної коробки. Результати температурного розрахунку надаються на рисунку 4.1.

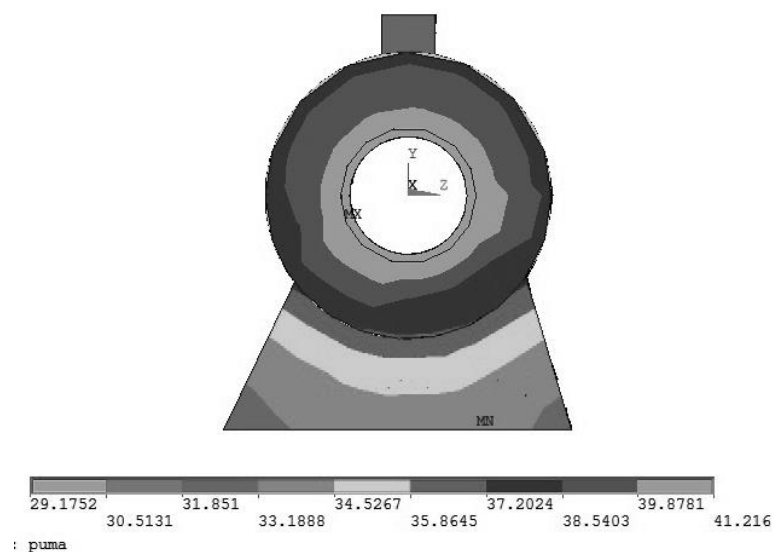


Рисунок 4.1 – Температурное поле розробленої конструкції шпindelної бабки спереду

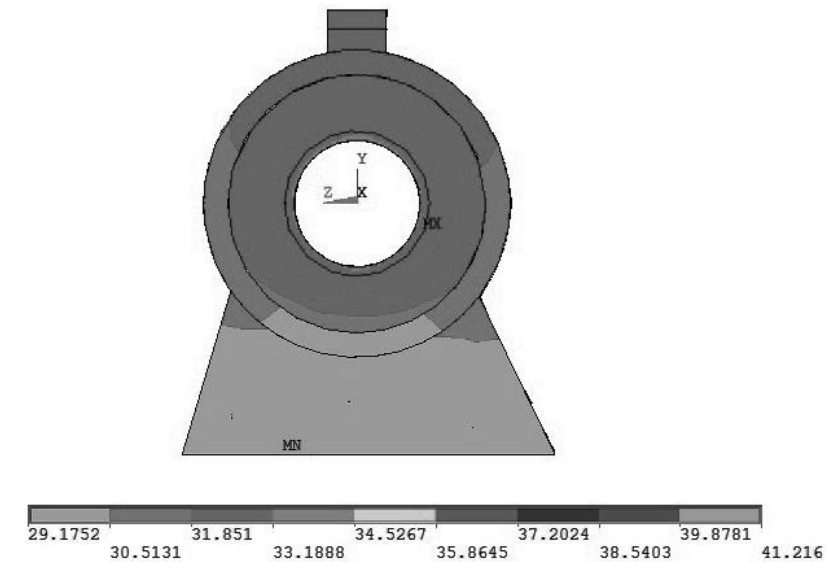


Рисунок 4.2 – Температурне поле розробленої конструкції шпindelьної вид ззаду

4.4 Розрахунок температурних деформацій

Для отримання даних про температурні зміщення вісі, проводимо структурний аналіз.

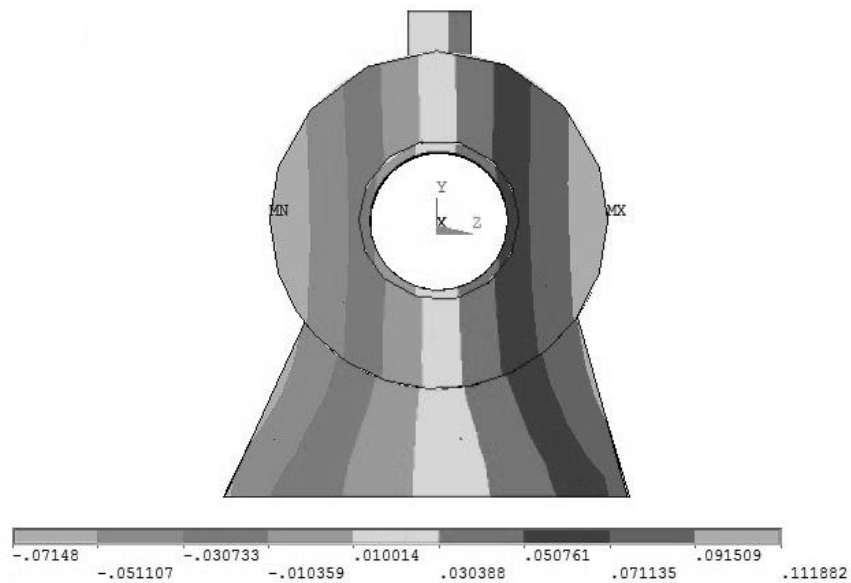


Рисунок 4.3 – Результати розрахунку температурного зміщення розробленої конструкції шпindelьної бабки за віссю Z спереду

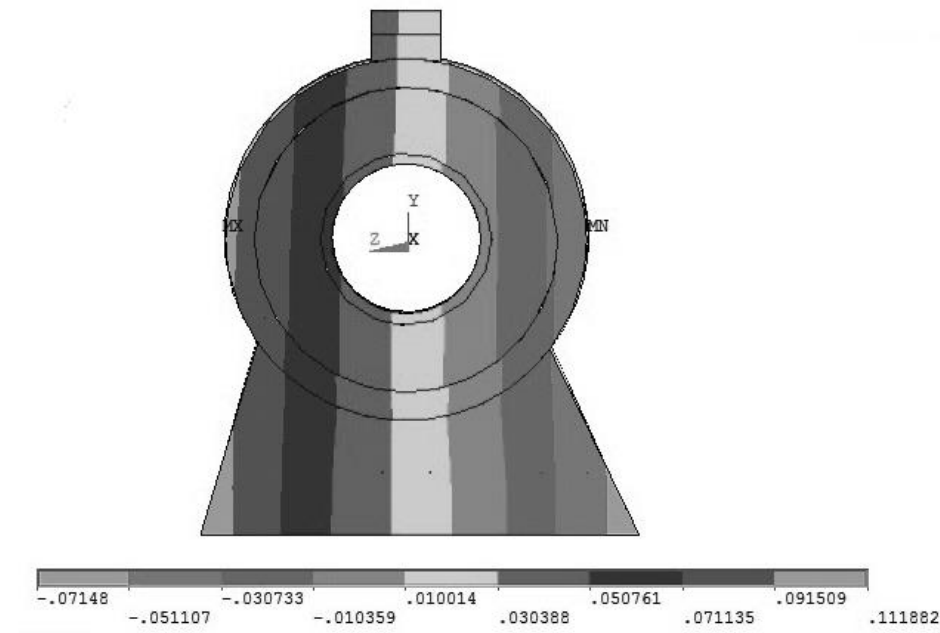


Рисунок 4.4 – Результати розрахунку температурного зміщення розробленої конструкції шпиндельної бабки за віссю Z

Проаналізувавши отримані результати можемо сказати, що зміщення вісі Z відбувається на $+0,02$ мм, враховуючи дію пружних відтискань, можемо з упевненістю сказати що цей показник буде збільшено. Спробуємо за рахунок нахилу однієї з бічних поверхонь змінити знак зміщення вісі. Збільшуємо кут нахилу бічної поверхні до 86°

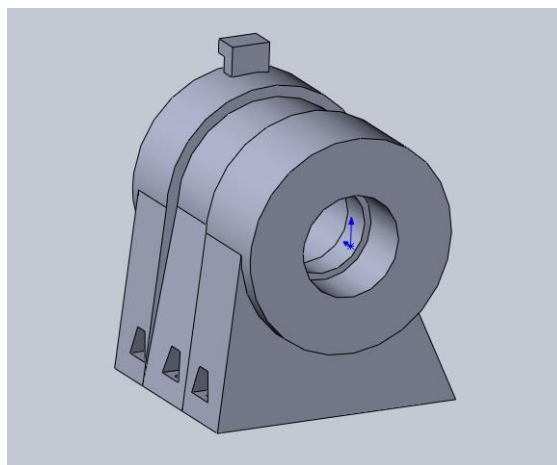


Рисунок 4.5 – Шпиндельна бабка зі збільшеним кутом бічної поверхні

Температурними деформаціями можна керувати змінюючи схему фіксації шпиндельної бабки на станині верстата. Схема встановлення фіксуючих елементів визначає напрямок та величину температурних зміщень вісі шпинделя. Розглянемо декілька варіантів кріплення шпиндельної бабки до верстата.[9]

Варіант 1. Отвори для кріплення верстата знаходяться на однаковій відстані від бічних та торцевих стінок шпиндельної бабки. Схема розташування кріпильних отворів знаходиться на рисунку 11. Зміщення по вісі X та Z задаємо нульове, до всієї нижньої поверхні прикладаємо нульове навантаження за віссю Y. а також прикладаємо теплових розрахунок, який був отриманий раніше.

Результати структурного розрахунку для даного типу базування надаються на рисунку 4.4

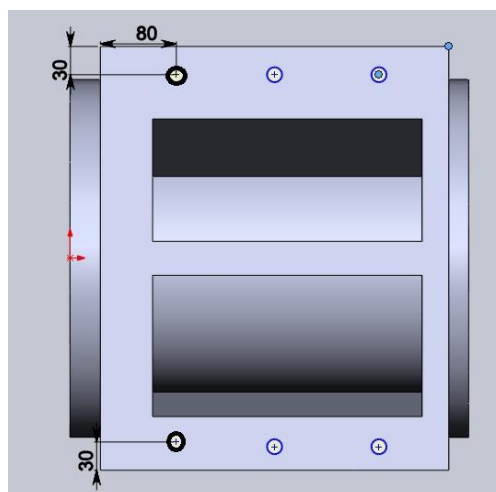


Рисунок 4.6 – Перший варіант схеми розташування кріпильних отворів

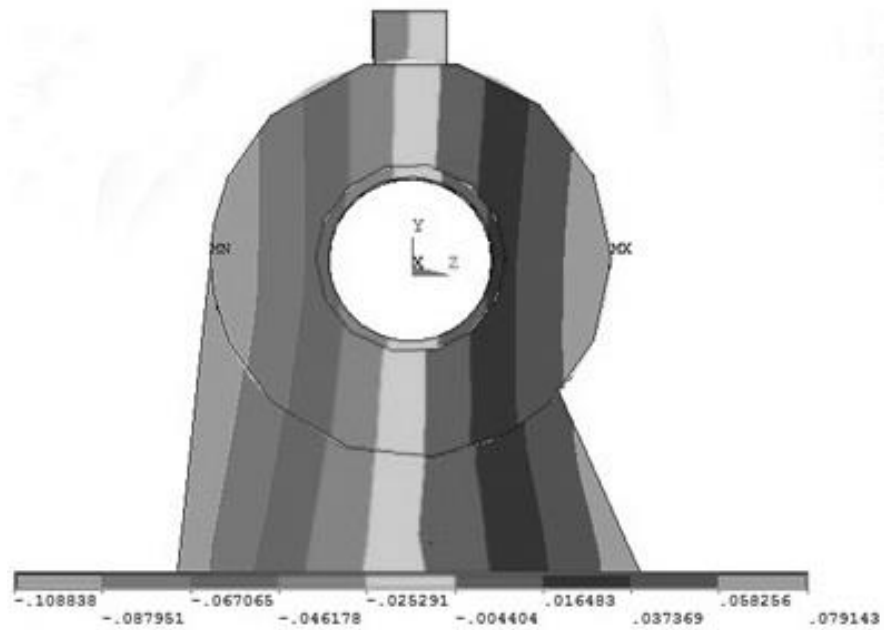


Рисунок 4.7 – Температурні деформації вид спереду вид

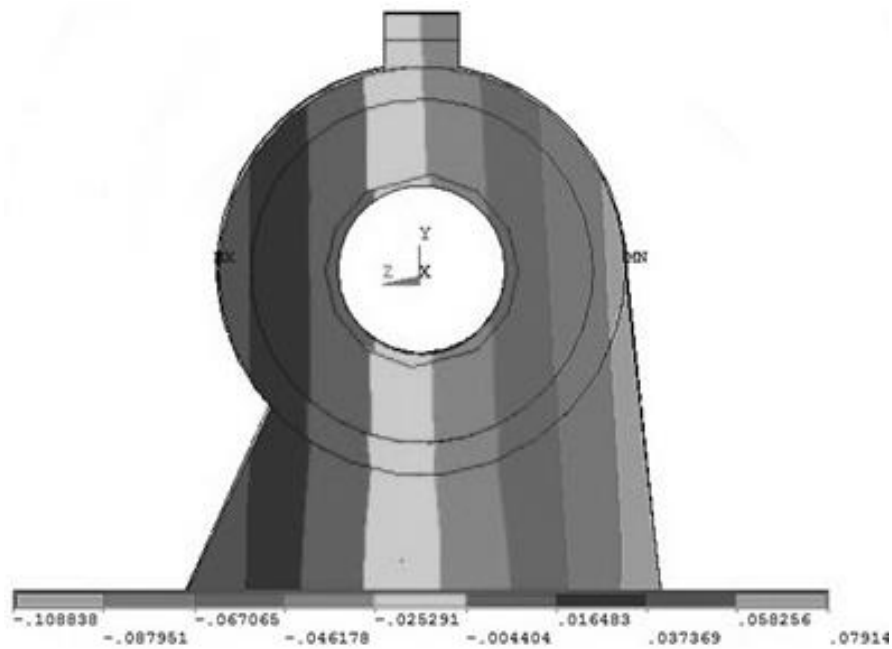


Рисунок 4.8 – Температурні деформації вид ззаду

За отриманими результати розрахунку можна побачити що зміщення вісі Z є нерівномірним, тобто спереду бабки воно складає близько $-0,01$, а з заду близько $-0,025$. В такому випадку виникає перекос осі, який в свою

чергу вплине на такі показники точності як відхилення розмірів, відхилення форми та розташування.

Варіант 2. Спробуємо змістити один кріпильний отвір відносно іншого. Схема розташування кріпильних отворів знаходиться на рисунку 13. Зміщення по вісі X та Z задаємо нульове, до всієї нижньої поверхні прикладаємо нульове навантаження за віссю Y, а також прикладаємо теплових розрахунк.

Результати структурного розрахунку для даного типу базування надаються на рисунку 4.6

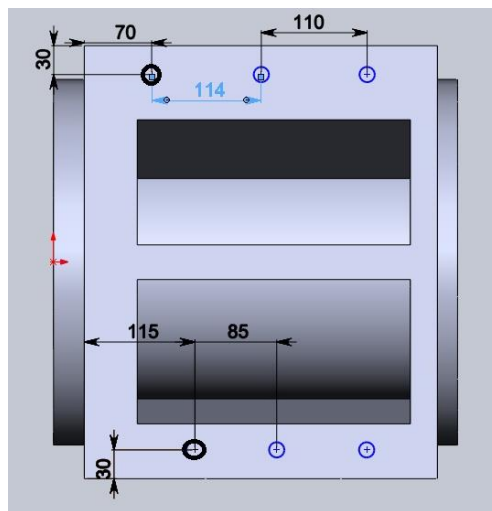


Рисунок 4.6 – Другий варіант схеми розташування кріпильних отворів

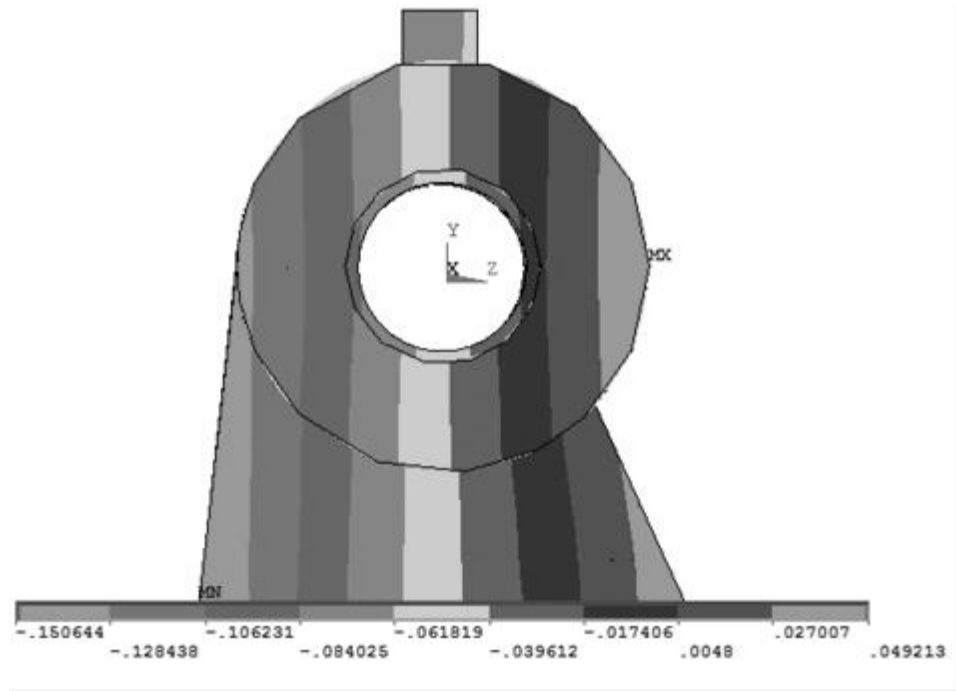


Рисунок 4.7 – Температурні деформації, вид спереду

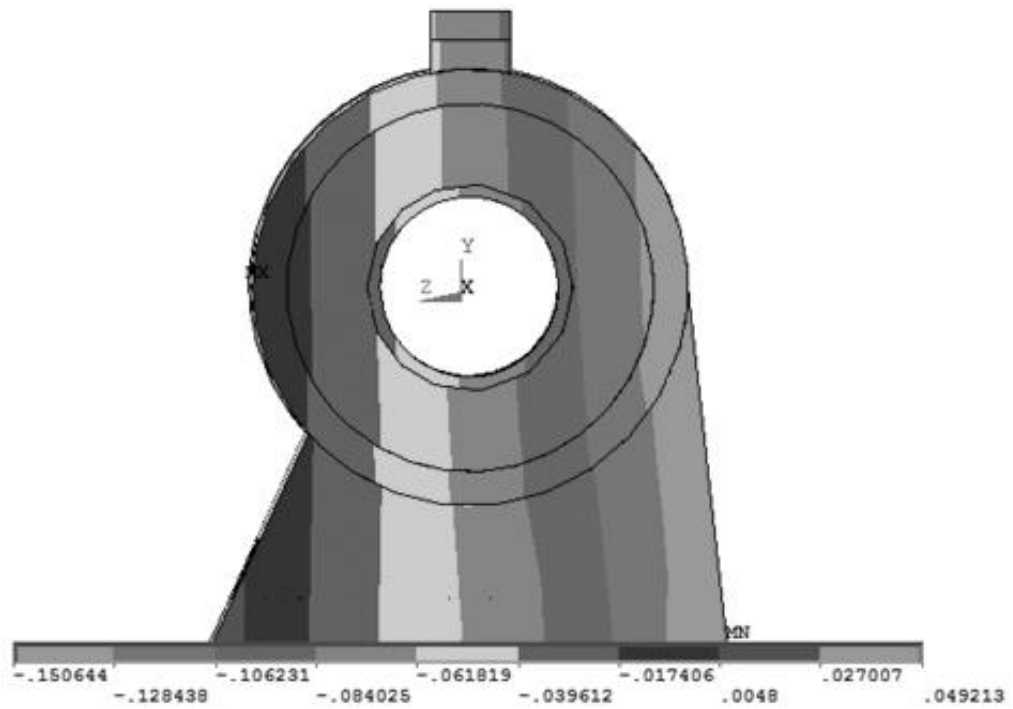


Рисунок 4.8 – Температурні деформації, вид ззаду

Спираючись на отримані результати можна зробити висновок, що таке розташування кріпильних отворів спричинить суттєвий перекош вісі. Спереду зміщення становить -0.03 , а наприкінці шпиндельної коробки -0.063 , тобто вдвічі більше. А отже використання такої схеми є недоцільним.

Варіант 3. На двох передніх поверхнях кріплення бабки до верстата задаємо 0 зміщення по вісі X та Z. До всієї нижньої базової опорної поверхні прикладаємо навантаження 0 по вісі Y, а також тепловий розрахунок, що був отриманий раніше. Схема розташування кріпильних отворів надається на рисунку 4.8

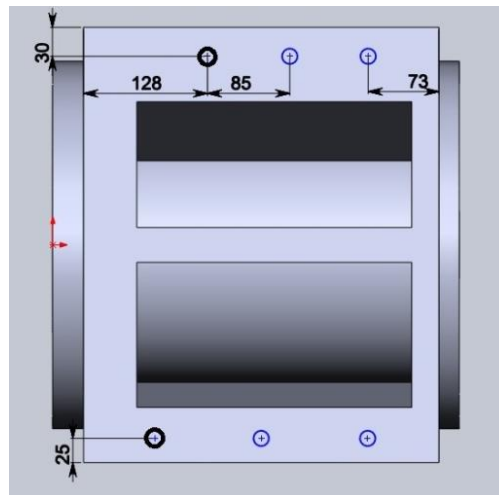


Рисунок 4.9 – Третій варіант розташування кріпильних отворів

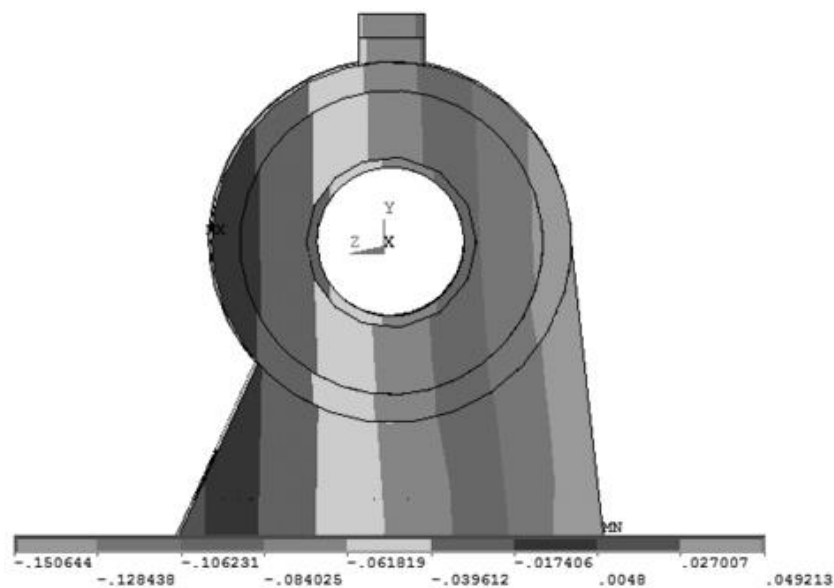


Рисунок 4.10 – Температурні деформації, вид спереду

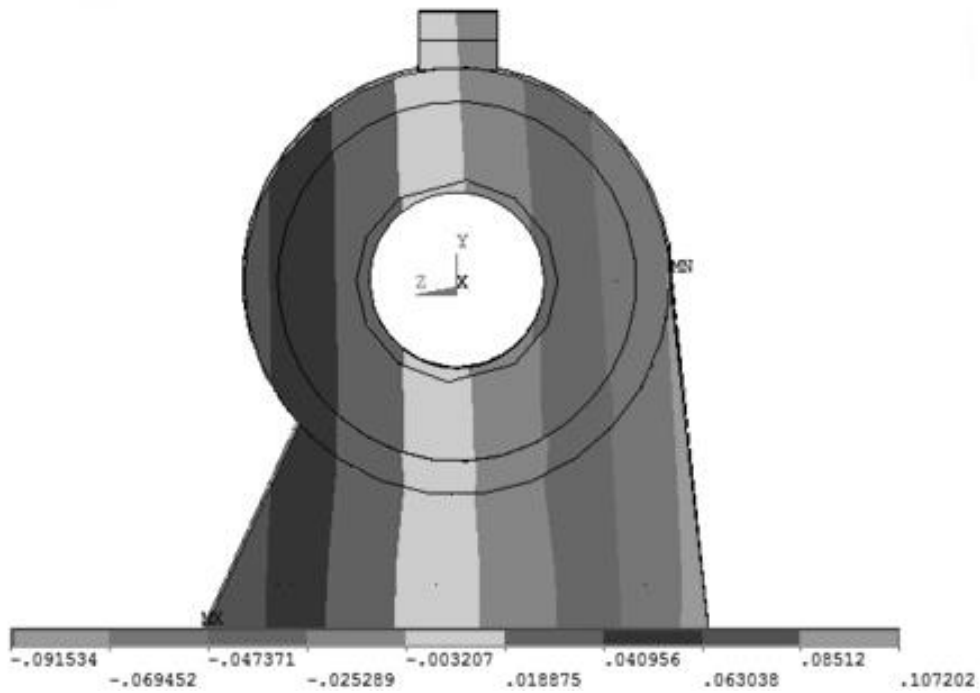


Рисунок 4.11 – Температурні деформації , вид ззаду

Отримавши розрахунки з даним типом базування, ми можемо бачити що зміщення вісі Z відбувається приблизно на -0.003мм , як на виді з переду так і на вигляді з заду. Тобто в даному випадку ми виключаємо можливість перекосу вісі.

Від’ємне значення зміщення компенсується за рахунок пружних відтискань та зношування інструмента.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Тема дипломного проекту - «Дослідження впливу компанування шпіндельного вузла верстата з ЧПК на температурні деформації», передбачає проведення розрахунків у приміщенні (лабораторії) обладнаному персональними комп'ютерами (далі ПК) з візуальними дисплейними терміналами (далі ВДТ), нижче розглянемо заходи по забезпеченню безпечної роботи, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для приміщення (лабораторії) обладнаного візуальними дисплейними терміналами, у відповідності з методичними вказівками.

Користувачі ПК стикаються з впливом таких фізично небезпечних і шкідливих виробничих факторів як:

- ураження електричним струмом, внаслідок недотримання правил електробезпеки або виходу з ладу електроприладів;
- негативний вплив на нервову систему працюючого через розумове перенапруження, монотонність праці, емоційні перевантаження, недотримання вимог до режимів праці і відпочинку;
- негативний вплив електромагнітного поля, електромагнітного імпульсу.
- негативний вплив на опорно-руховий апарат через тривале перебування в положенні сидячи;
- незадовільні параметри повітряного середовища, вологи, мікроклімату через відсутність або несправність вентиляційної системи;
- негативний вплив на органи зору, що створюється відсутністю або недостатньою освітленістю робочої зони;
- можливість загоряння або короткого замикання через порушення правил пожежної безпеки.

Ці проблеми можуть бути вирішені комплексно, як з позицій ергономіки (поліпшення робочих місць, засобів управління і т.д.), так і з позицій суворої регламентації режимів праці і відпочинку, цілеспрямованої професійної орієнтації.

Електромагнітне випромінювання, впливаючи на організм людини в дозах, що перевищують допустимі, може стати причиною професійних захворювань. В результаті можливі зміни нервової, серцево-судинної, ендокринної та інших систем організму людини. Дія електромагнітних полів на організм людини проявляється у функціональному розладі центральної нервової системи, суб'єктивні відчуття при цьому - підвищена стомлюваність, головні болі і т.п. Первинним проявом дії електромагнітної енергії є нагрів, який може привести до змін і навіть до пошкоджень тканин і органів. Можливі також перегрів організму, зміна частоти пульсу, судинних реакцій.

5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

На підставі загальних вимог техніки безпеки до різного обладнання, специфічних вимог, що встановлюються стандартами та іншими нормативними документами для даної роботи, розроблений комплекс заходів, які забезпечують безпечну роботу та експлуатацію проектного автоматизованого робочого місця.

При роботі в лабораторії на кафедрі головним небезпечним фактором є електричне обладнання. Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення – 4 Ом; НПАОП40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок».Приміщення відноситься до класу

пожежонебезпечної зони П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44; ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения»

По способу захисту людини від ураження електричним струмом, обладнання належить до I класу, оскільки має подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для приєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом, що відповідає вимогам НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Питання правильного електроживлення при об'єднанні комп'ютерів в локальні мережі має важливе значення, як для забезпечення електробезпеки користувачів, так і для безаварійної та безперебійної роботи обладнання.

Заходи щодо забезпечення електробезпеки розроблено відповідно до ГОСТ 12.1.019-90 ССБТ («Електробезпека. Загальні вимоги.») і ГОСТ 12.1.030-91 ССБТ («Електробезпека. Захисне заземлення, занулення»).

Електрична мережа вмикається і вимикається за допомогою пускової апаратури (рубильником).

Для запобігання ураження людини електричним струмом, служить захисне заземлення. Сучасні ПК включаються в розетку за допомогою триполюсною вилки, один з полюсів якої використовується для заземлення. З ним електрично з'єднані металеві неструмоведучих частини ПК, які можуть опинитися під напругою. В офісі передбачається використання тільки триполюсних розеток, у яких відповідний полюс з'єднаний з шиною заземлення.

Кожен блок живлення комп'ютера або периферійного пристрою має мережевий фільтр. Конденсатори цього фільтра призначені для шунтування високочастотних перешкод живлячої мережі на землю через дріт захисного заземлення, яке відповідає на трьохполюсну вилку і розетку.

При з'єднанні двох пристроїв (комп'ютера та принтера) інтерфейсним кабелем, загальний провід інтерфейсів послідовних і паралельних портів пов'язаний зі «схемної землею» і корпусом пристрою. Якщо пристрої, які з'єднуються, надійно заземлені через окремий провід на загальний контур, проблеми різниці потенціалів не виникає.

Згідно з «Правилами улаштування електроустановок» опір захисного заземлення в офісному приміщенні становить не більше 4 Ом.

Рекомендується встановити в приміщенні автоматичні вимикачі, пристрій заземлення контуру згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки».

Робота з ПК включає в себе безпосередній контакт з монітором (дисплеєм), конструкція якого містить електроннопроменеву трубку.

При роботі на ПК оператори піддаються сильному впливу мікрохвильового і рентгенівського випромінювань, які виходять від екранів моніторів. Для збереження здоров'я і працездатності працівників розроблені наступні нормативні документи: ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот», «Основні санітарні правила при роботі з джерелами іонізуючих випромінювань» НРБУ-97 «Норма радіаційної безпеки», які враховані на заводі-виробнику.

Для захисту персоналу потрібно здійснити такі заходи:

- розмістити комп'ютери в офісі в один ряд на відстані більше одного метра від стін;
- робочі місця операторів ПК розташовані на відстані один від одного 1,5 метра.

Згідно рекомендаціям НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення –

кімната відпочинку. Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Задля попередження кістково-м'язових порушень у зв'язку з тривалим статичним напруженням м'язів спини, шиї, рук і ніг необхідно передбачити перерви в роботі та виконувати фізичні вправи 2-3 рази протягом робочого часу. Застосування меблів та організація робочого місця згідно рекомендацій ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ « Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» дає можливість не тільки уникнути прояву захворювань але і забезпечує гарний настрій та високий рівень працездатності.

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Слідуючі вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці») були розроблені правила .

З огляду на специфіку роботи на кафедрі університету, слід зазначити, що види робіт що виконуються в них не пов'язані з виділенням шкідливих речовин, так як переважним видом відходів є використаний папір, який повністю утилізується і не забруднює навколишнє середовище.

Так як робота з обчислювальною технікою є малорухомою і створює велике навантаження на очі і кисті рук, операторам для підтримки працездатності необхідно керуватися ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила и норми роботи з візуальнімі дисплейної терміналамі електронно-обчислювальних машин». Необхідно дотримуватися регламентованих перерв для відпочинку – 15 хвилин через кожні 2 години.

Під час перерв необхідно виконувати гімнастичні вправи. Для меншої втоми кистей рук під час роботи передбачається використання просторих столів, а в разі їх відсутності - спеціальних підставок для рук, а також використання ергономічних клавіатур.

Так як робота з ПК зазвичай проводиться в закритому приміщенні, передбачається кондиціонування повітря. Ці заходи є достатніми для підтримування нормального мікроклімату, так як при роботі ПК не виділяється великої кількості тепла і відсутнє виділення шкідливих речовин в повітря.

Продуктивність праці та самопочуття робочого багато в чому залежать від стану навколишнього середовища і, перш за все, від зміни температури, вологості, швидкості руху повітря, атмосферного тиску, теплового випромінювання. Людина працездатна і відчуває себе добре, якщо температура навколишнього повітря знаходиться в межах:

- 22-24 ° С, відносна вологість становить 40-60%, а швидкість руху повітря 0,2 м / с (ДСН 3.3.6-042- 99 «санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень») – теплий період року;

- 21-23 ° С, відносна вологість становить 40-60%, а швидкість руху повітря 0,1 м / с (ДСН 3.3.6-042- 99 «санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень») – холодний період року

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Робочі місця з ПК по відношенню до світлових прорізів розташовуються так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Штучне освітлення в приміщеннях експлуатації ПК здійснюється системою загального рівномірного освітлення.

Освітленість на поверхні стола в зоні розміщення робочого документа 300-500 лк. Допускається установка світильників місцевого освітлення для підсвічування документів.

Загальне освітлення виконується у вигляді суцільних або переривчастих ліній світильників, розташованих збоку від робочих місць, паралельно лінії зору користувача при рядном розташуванні ПК. При периметральном розташуванні комп'ютерів лінії світильників розташовуються локалізовано над робочим столом ближче до його переднього краю, зверненого до оператора.

За для попередження потрапляння прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої (жалюзі або штори). Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовані люмінесцентні лампи типу ЛБ. При застосуванні яких дотримались наступних умов: температура навколишнього повітря не повинна бути нижче, ніж 5°C; напруга на освітлювальних приладах повинна бути не менше, ніж 90% номінальної.

Поліпшення освітленості сприяє підвищенню працездатності навіть в тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття 90% інформації людина отримує через органи зору. Світло впливає на обмін речовин, серцево-судинну і нервову системи. Рациональне освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, його безпеки. При недостатньому освітленні і його погану якість відбувається швидка втома зорових аналізаторів, підвищується травматичність. Занадто висока яскравість викликає осліплення, порушення функції ока.

За для попередження ризиків захворювання інфекційними хворобами підприємство чи окрема установа має індивідуальну програму забезпечення робітників належними умовами праці та впроваджує профілактичні заходи. Це можуть бути сезонні (профілактичні), планові заходи. Додатковими заходами попередження захворюваності є навчання адміністрації та працівників організацій (підприємств) основам медичних знань, способам збереження здоров'я на робочому місці; нормалізація санітарно-гігієнічних і

психофізіологічних умов праці; залучення працівників до занять фізичною культурою, туризмом і спортом, підвищення доступності цих видів оздоровлення.

5.4 Забезпечення безпеки при роботі на токарному верстаті з ЧПК

Тема дипломного проекту - «Дослідження впливу компанування шпиндельного вузла верстата з ЧПК на температурні деформації», передбачає проведення розрахунків у приміщенні (лабораторії) обладнаному персональними комп'ютерами (далі ПК) з візуальними дисплейними терміналами

Основними нормативними документами, що регламентують безпеку робіт на металорізальних верстатах, є: **ГОСТ 12.3.025-80 ССБТ. «Обработка металлов резанием. Требования безопасности»**; **НАОП 1.4.10-1.02-83 «Правила з техніки безпеки і виробничої санітарії при холодній обробці металів»**, **ГОСТ 12.2.009-80 ССБТ. «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности»**.

Потенційні небезпеки:

а) фізичного характеру: механічне травмування, що може бути пов'язано з руйнуванням ріжучого інструменту при порушенні режимів обробки зразків, деталей (особливо твердосплавних, тому що твердосплавні пластини можуть руйнуватися і наносити травми). До порізів гострими кромками, шороховатістю на поверхні зразків, заготовок, інструментів чи обладнанні може призвести робота на металорізальному обладнанні. Особливу небезпеку травмування представляє стружка. Крім того, існують небезпеки, які виникають при закріпленні, обробці, вимірюванні зразків чи деталей у патронах, що може бути пов'язано з незнанням або порушенням правил безпеки, які зазначені в технічній документації на це обладнання.

При нарізуванні різьблення різцем в упор є небезпека врізання інструмента в шпиндель.

б) психофізіологічного характеру: незадовільна організація робочого місця працівника, яка може бути пов'язана з недостатнім врахуванням вимог ергономіки, зокрема зменшена площа робочої зони за рахунок нагромадження деталей, заготовок тощо.

в) санітарно-гігієнічного характеру, наприклад, підвищена запиленість в зоні дихання при відсутності засобів захисту може привести до бронхітів та збільшенню частоти загальних захворювань; незадовільні метеорологічні параметри повітряного середовища дослідницької лабораторії в наслідок неефективної роботи систем опалення та повітрообмінну можуть привести до загальних захворювань.

- потенційні небезпеки, пов'язані з порушеннями правил пожежної безпеки, наприклад, коротке замикання, тертя поверхонь, несправності системи охолодження апаратів та інші причини можуть призвести до пожеж.

- потенційні небезпеки, пов'язані з проявом наслідків надзвичайних ситуацій, наприклад, невідповідність персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

Заходи по забезпеченню безпеки

Перевірити цілісність ізоляції відкритих частин електропроводки, а також провідника захисного заземлення верстата;

Перевірити справність пускових, зупиняючих і реверсивних пристроїв;

Перевірити справність різального та допоміжного інструмента і надійність його фіксації у інструментальному магазині.

Робоче місце повинно утримуватися в чистоті та порядку, своєчасно очищуватися від масла, емульсії, стружки та інших відходів. Прибирати стружку необхідно за допомогою щітки, гачка або скребка.

В якості засобів захисту від стружки, що відлітає, слід застосовувати огороження зони різання захисними екранами (суцільний захисний екран заввишки до 1 м або сітчастий екран з комірками розміром не більше 3 мм, згідно п. 8.56 розділу II Правил охорони праці під час роботи з

інструментом та пристроями, НПАОП 0.00-1.71-15). При роботі на токарних верстатах використовують захисні екрани, що являють собою металеві рамки з вставленими листами зі сталініту. Товщина матеріалу захисного пристрою збільшується не менш ніж у два рази при обробці заготовки зі швидкістю різання більш 5 м/с. Оглядові вікна в захисних пристроях (екранах) повинні виготовлятися з прозорого спеціального матеріалу в кілька шарів загальною товщиною не менше 10 мм.

Важливою умовою безпеки при роботі твердосплавним інструментом є дотримання встановлених режимів різання.

Кулачки не повинні виходити за межі циліндричної поверхні корпуса, але при обробці заготовок великих діаметрів.

Надзвичайно небезпечно знімати задирки напилком поблизу патрона. У таких випадках варто застосовувати захисне огороження патрона, заблоковане з обертанням шпинделя. Поки огороження відкрите, верстат не включається. При закріпленні заготівель у кулачковому патроні причиною травм може стати забутий у патроні ключ.

Пускові та перемикаючі пристрої токарних верстатів повинні відповідати загальним вимогам, пропонованим до таких пристроїв. З цих вимог особливе значення має усунення можливості їхнього мимовільного (випадкового) вимикання. Стосовно до токарних верстатів це відноситься, насамперед, до блокованих рукояток включення шпинделя. Ці рукоятки повинні завжди мати надійну фіксацію в заданих положеннях. Якщо фіксатор ослабнув, необхідно негайно припинити роботу і сповістити про це майстра.

В токарному верстаті з ЧПК передавальні механізми знаходяться усередині корпусів верстата і не бувають небезпечними. Запобіжні заходи полягають у тім, щоб механізми, що рухаються, були в справності, змазані і відрегульовані, а після ремонту встановлені на свої місця.

Обов'язково виконується послідовність прийомів керування.

Забороняється виконувати прибирання верстата стислим повітрям.

Оператору забороняється :

- виконувати заміну і налагодження різального інструменту, усувати несправності;
- відкривати кришки і блоки у стояку системи програмного керування;
- відкривати пульт керування;
- працювати на верстатах в рукавицях, печатках а також із забинтованими пальцями;
- виконувати заміну сигнальних ламп та ламп місцевого освітлення.

Необхідно слідкувати за рівнем масла в ємкості гідросистеми, за правильністю переміщення інструменту при виконанні програми обробки за контрольними показаннями лімбу або дисплею.

В кулачковому патроні без підтримання центром задній бабки можливо закріплювати тільки короткі, довжиною не більше двох діаметрів, урівноважені деталі; в інших випадках для підтримки користуватись задній бабкою.

При обробці довгих деталей необхідно слідкувати за центром задній бабки: періодично змазувати його та перевіряти осьовий затиск. Не використовувати центр із зношеним конусом.

Забороняється користуватись патронами із зношеними робочими площинами кулачків.

Забороняється обробляти заготовки із збільшеним припуском, з не підготовленими базами та дефектами в місцях затиску.

При виникненні аварійних ситуацій:

1 Якщо під час роботи другої зміни в корпусі погасло освітлення, всім залишатися на свої місцях, команду подавати голосом.

2 У разі виникнення пожежі та задимлення приміщення виконати необхідні заходи по гасінню, включити вентиляційні системи, залишити свої

робочі місця. Якщо залишити приміщення не можливо, необхідно лягти на підлогу і накрити обличчя мокрою ганчіркою.

3 У разі пошкодження водопроводу і попадання води на електроустановки негайно знеструмити дільницю і повідомити про це керівника.

4 При аваріях і виникненні виробничих травм негайно повідомити майстра або іншого безпосереднього керівника робіт.

5 У разі отримання штормового попередження будівлю не залишати, відійти від віконних проїомів та місць можливого падіння скла.

6 У всіх випадках виконувати вказівки керівника для усунення небезпечної ситуації.

5.5 Заходи з пожежної безпеки

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір), та класу Е - пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» приміщення (лабораторія) відповідає категорії Д – наявність не займистих речовин і матеріалів в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості дослідницької лабораторії - II.

В лабораторії пожежний інвентар з пожежним інструментом і вогнегасниками розташовано на двох пожежних щитах (стендах), відповідно до "Правил пожежної безпеки в Україні". Серед первинних засобів пожежогасіння особливе місце займають вогнегасники, які відзначаються високою ефективністю дії. В лабораторії встановлено 2 вуглекислотних вогнегасника місткістю 5 л. Даний тип вогнегасників дозволяє гасити електроустановки, що знаходяться під напругою.

Згідно п.3.10 НАПБ Б.03.001-2004 приміщення, в яких розміщені ПК, слід оснащувати переносними вуглекислотними вогнегасниками з розрахунку один вогнегасник ОУ-2 або ОП-5.

Також, для адміністративних приміщень рекомендується використання сповіщувачів пожежі, тому в офісне приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я. Для адміністративних приміщень використовується димові пожежні сповіщувачі.

Для зниження пожежонебезпеки будівлі планується застосування виробів з негорючих полімерів.

Відповідно до ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» застосовується пожежна сигналізація, яка використовує комбіновані теплові і димові сповіщувачі КІ, підключені до сигналізаційного

димової пожежної установці типу СДПУ - 1. Даний комплекс дозволяє контролювати до 10000 м² площі приміщень. У приміщеннях в якості автоматичної пожежної сигналізації використовується АДІ (автоматичної димовий сповіщувач). Принцип його дії заснований на тому, що продукти горіння впливають на іонізаційний струм, що приводить в дію електромагнітне реле, яке включає систему сигналізації.

У службових приміщеннях вивішені «Плани евакуації людей при пожежі», що регламентують дії персоналу в разі виникнення вогнища загоряння і вказують місця розташування пожежної техніки.

Евакуаційні виходи розташовуються, розосереджено, а їх кількість з будівель - не менше двох. При кількості працюючих в зміні до 50 осіб передбачений другий (запасний вихід) на зовнішні сходи.

Коридори і проходи, призначені для евакуації, мають можливо меншу довжину і мінімальна кількість поворотів. На всьому протязі проходу немає порогів або проміжних ступенів, згідно СНиП 2.09.02-85 «Виробничі будівлі».

Зали ПК, приміщення для зовнішніх запам'ятовуючих пристроїв, підготовки даних, сервісної апаратури, архівів, копіювально-розмножувального обладнання і т.п. необхідно обладнати димовими пожежними сповіщувачами. У цих приміщеннях на початку пожежі при горінні різних пластмасових, ізоляційних матеріалів і паперових виробів виділяється значна кількість диму і мало теплоти. В інших приміщеннях, в тому числі в машинних залах, трансформаторних і кабельних каналах, повітроводах допускається застосування теплових пожежних сповіщувачів. Об'єкти необхідно обладнати установками стаціонарного автоматичного пожежогасіння.

5.6 Оцінка стійкості системи управління промислового об'єкта

Принципами стійкості роботи промислових підприємств (об'єктів) в надзвичайних ситуаціях є єдина нормативна і директивна база, яка включає:

- Конституцію України,
- Закон про цивільну оборону України,
- Положення по цивільній обороні,
- Нормативні документи по стійкості роботи об'єктів,
- Директиви начальника штабу ЦО України.

Основним керівним документом, відповідно до якого повинні плануватися та здійснюватися інженерно-технічні заходи цивільної оборони є "Будівельні норми і правила", що зберігають свою чинність на всій території України. Інженерно-технічні заходи цивільної оборони - це комплекс заходів, спрямованих на:

- захист населення та зниження можливих втрат і збитків від наслідків великих виробничих аварій, катастроф та стихійних лих, а також застосування засобів озброєної боротьби під час конфліктних ситуацій;
- підготовку галузей промисловості та об'єктів господарювання до стабільної роботи при загрозі і виникненні великих виробничих аварій, катастроф, стихійних лих та під час розгортання конфліктних ситуацій;
- створення умов для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт /РІНР/ та ліквідації наслідків виробничих аварій, катастроф, стихійних лих та застосування засобів озброєної боротьби.

Норми ІТЗ ЦЗ розповсюджуються :

- на категоровані міста по ЦЗ і окремо розташовані об'єкти особливої важливості і першої категорії;
- на об'єкти які розташовані в категорованих містах, на території, де можливі зруйнування і ураження людей;

- на всю територію України і стосуються захисту населення від радіоактивного зараження місцевості, отруйних речовин і біологічних засобів.

Норми проектування ІТЗ ЦЗ повинні здійснюватись:

- при плануванні і забудові нових житлових і промислових районів і міст, будівель і споруд, промислових підприємств, систем і об'єктів електро-, газо-, водопостачання і зв'язку, транспорту, захисних споруд і ін.;
- при реконструкції міст, підприємств, комунально-енергетичних систем, засобів зв'язку, транспорту.

При проектуванні та здійсненні ІТЗ ЦЗ використовується диференційований метод. Великі адміністративні та промислові центри /міста/ відносять до груп з ЦО за такою класифікацією: міста "особливої групи", 1-ї, 2-ї та 3-ї груп з ЦЗ.

Великі промислові та інші господарські об'єкти відносять до об'єктів "особливої важливості", 1-ї та 2-ї категорій з ЦЗ, при цьому об'єкти атомної енергетики виділяють в окрему групу.

Надалі міста та об'єкти господарювання, що відносяться до груп та категорій з ЦО будуть існувати як "категорійні міста та об'єкти".

Відповідно до вимог проектування ІТЗ ЦЗ здійснюється зонування території, на якій розташовані категорійні міста та об'єкти господарювання. Територія, де може виникнути надмірний тиск у фронті повітряної ударної хвилі $\Delta P_{\phi} = 10$ кПа і більше, складає зону можливих руйнувань. Частина території зони можливих руйнувань, у межах якої надмірний тиск у фронті повітряної ударної хвилі $P_{\phi} = 30$ кПа і більше, складає зону можливих сильних руйнувань.

Для оцінки стійкості функціонування підприємства начальником ЦЗ ОЕ, штабом ЦЗ і головними спеціалістами проводяться спеціальні дослідження. До них залучаються виконавці від ОЕ, робітники галузевих проектно-технологічних і науково-дослідних інститутів.

Робота проводиться в чотири етапи.

На першому етапі дослідження відпрацьовуються необхідні документи:

- наказ начальника ЦЗ ОЕ на проведення дослідження;
- календарний план підготовки і проведення дослідження, де визначаються виконавці, терміни виконання робіт, керівники і склад груп, що вирішують специфічні завдання;
- завдання групам на проведення дослідження по конкретним питанням.

Перша група (від відділу капітального будівництва) визначає фізичну зношеність елементів об'єкту (мінімальний надлишковий тиск, який вони можуть витримати), а також захисних споруд і індивідуальних укриттів для персоналу, що обслуговує агрегати безперервного циклу.

Друга група (від відділу головного механіка) оцінює стійкість технологічного і лабораторного обладнання; можливість виникнення вторинних уражаючих факторів; достатність захисту унікального і цінного обладнання.

Третя група (від відділу головного енергетика) оцінює стійкість функціонування енергооб'єктів, мереж і комунікацій, стійкість функціонування зовнішніх і внутрішніх джерел електроенергії, а також їх вводів.

Четверта група (від відділу головного технолога) визначає найбільш уразливі ділянки технологічного процесу; можливі руйнування станкового обладнання, місця порушення технологічних процесів внаслідок деформації або обвалу елементів будівель; можливість зміни технологічного процесу при виході зі строю уразливих ділянок; можливість заміни матеріалів, сировини, комплектуючих виробів, палива з врахуванням місцевих ресурсів.

П'ята група (від відділу постачання і збитку) оцінює: наявність, умови зберігання і забезпечення збереження запасів і резервів матеріальних цінностей (паливо-мастильних матеріалів, сировини, комплектуючих), їх захищеність від впливу уражуючих факторів; стійкість виробничих зв'язків і умов отримання пального, сировини, комплектуючих виробів від

постачальників; можливість переходу на підвищення норми запасів; можливість постачання за рахунок дублерів і місцевих ресурсів в умовах надзвичайних ситуацій; доцільність розвитку мережі доріг, під'їзних шляхів; терміни роботи об'єкту без поставок необхідних матеріалів.

Шоста група (від штабу і служб ЦЗ) оцінює стійкість систем управління, оповіщення, зв'язку, захисні властивості будівель в радіаційному відношенні; визначає забезпеченість персоналу засобами індивідуального захисту (313), наявність цих засобів і їх готовність до використання за призначенням. Уточнює план ЦЗ об'єкту.

Сьома група, під керівництвом головного інженера об'єкта організовує і контролює роботу всіх груп, оформлює усі необхідні документи стосовно дослідження.

Другий етап дослідження (оцінка стійкості) починається з вивчення району розташування об'єкту (місто, рівнинна або болотиста місцевість), дослідження його планування, комунікацій. При цьому проводиться аналіз уразливості елементів, а також об'єкту в цілому в умовах надзвичайних ситуацій, визначаються інженерно-технічні заходи, виконання яких дозволить забезпечити підвищення стійкості об'єкту.

На даному етапі проводиться аналіз:

- наслідків аварій окремих систем виробництва;
- розповсюдження ударної вибухової хвилі по території об'єкту (місця і характер вибухів, їх потужність і імовірні наслідки);
- розповсюдження вогню при різних видах пожежі;
- надійність комунікацій і промислових комплексів;
- розповсюдження хмари зараженого повітря при викиді шкідливих речовин;
- можливості утворення токсичних і пожеженобезпечних сумішей.

При організації робіт другого етапу можна застосовувати різноманітні методи аналізу пошкоджень і дефектів:

а) метод оцінки зростання пошкоджень в системі після аварії з побудовою "древа відмов";

б) метод побудови "древа подій" для визначення імовірності аварії. При цьому використовується інформація про несправності компонентів обладнання і про можливості зниження їх негативного впливу на навколишнє середовище.[10]

ВИСНОВКИ

1 Проаналізовано варіанти компоновань шпиндельних бабок різної конструкції. Використання термосиметричної конструкції шпиндельної бабки, що базується на горизонтальній площині станини, в разі руху інструмента за віссю X, розміщеною під кутом до горизонталі зумовлює зсуви осі шпинделя стосовно інструмента на 0,14 мм.

2 Температурні деформації вузлів верстата залежить від його конструкції, розташування і інтенсивності джерел тепловиділення, а також від умов тепловідводу. Всі джерела тепла по відношенню до верстата підрозділяються на зовнішні і внутрішні. Зовнішні джерела роблять значний вплив на ТД верстатів.

3 Розраховано та спроектовано шпиндельну бабку з поліпшеними характеристиками в порівнянні з розглянутими варіантами. Розраховано стаціонарне температурне поле та температурні деформації для трьох вимірної задачі методом скінченних елементів.

4 Розглянуто три схеми фіксації шпиндельної бабки на станині верстата. Обрано схему при якій кріпильні отвори зміщені один від одного по прямій на величину 40, в цьому випадку виключається перекося вісі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Соколов Ю.Н. Расчет температурных полей и температурных деформаций металлорежущих станков. ЭНИМС, ЦБТИ, 1958.-58 с.
- 2 Солоха В.В. Влияние схемы закрепления на температурные деформации шпиндельной бабки//Резание и инструмент в технологических системах. – Харьков: ХГПУ, -1998. - №52. – С. 190 – 1942.
- 3 Соколов Ю.Н. Расчет температурных полей и температурных деформаций металлоре- жущих станков: Рук. Материалы. М. ЭНИМС, 1978.
- 4 Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978 - 592 с, ил.
- 5 Пустырев В.Л. Технологическое обеспечение со осности опор при сборке высокочастотных шпиндельных узлов. СТИН, 1989, №3
- 6 2. Детали и механизмы металлорежущих станков/ Под ред. Д.Н. Решетова. – М. Машиностроение, 1972. т.1- 664 с., т.2 – 520 с.
- 7
http://www.goodwaycnc.com/exhtml_goodway/goodway_en/turning/horizontal/gs3000/performance.htm
- 8 Справочник технолога машиностроителя. Том 2/Под редакцией Косиловой А.Г. – М.: Машиностроение, 1985 – 496с
- 9 Михеев М.А, Михеева И.М Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М., «Энергия», 1977 – 344 с
- 10 Buhman K., Reifur B. Alfakalorymetryczna metoda pomiaru wspolczynnika przekazywania ciepla z korpusow obrabiarek do otoczenia. Wroclaw.: 1985 - 78 s
- 11 Соколов Ю.Н. Расчет температурных полей и температурных деформаций металлорежущих станков.- М.: ЦБТИ, 1958 - 80 с
- 12 Самохвалов Е.И. Левина З.М. Температурный анализ шпиндельных узлов токарных станков средних размеров// Станки и инструмент. 1985.- N11 - С17-19

Додаток А

Результат розрахунку надлишкової температури в шпindelьних опорах
верстата Doosan Puma Infracore 2100

Mathcad - [rosr]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 10 B I U

My Site Go

$$K2_{оп2} := \frac{\alpha_{стшп} \cdot \pi \cdot D_{шп1оп2} \cdot b_{оп2} + \sqrt{\alpha_{1оп2} \cdot \lambda_1 \cdot F_{шп1оп2} \cdot U_{шп1оп2}} + \sqrt{\alpha_{2оп2} \cdot \lambda_1 \cdot F_{шп2оп2} \cdot U_{шп2оп2}}}{}$$

$K2_{оп2} = 2.305$

Розрахунок надлишкових температур у шпindelьних опорах верстата

Машення мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$$\vartheta_{м1оп1} := \frac{2 \cdot N_{м1оп1}}{K1_{оп1} + K2_{оп1}}$$

$$\vartheta_{м1оп2} := \frac{2 \cdot N_{м1оп2}}{K1_{оп2} + K2_{оп2}}$$

Машення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80 (УкЛи4/13-2)

$$\vartheta_{м2оп1} := \frac{2 \cdot N_{м2оп1}}{K1_{оп1} + K2_{оп1}}$$

$$\vartheta_{м2оп2} := \frac{2 \cdot N_{м2оп2}}{K1_{оп2} + K2_{оп2}}$$

Результати розрахунків надлишкової температури шпindelьних опор

Частота обертання, об/хв $n = 3.2 \times 10^3$

Машення мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$\vartheta_{м1оп1} = 21.216$ $\vartheta_{м1оп2} = 13.014$

Машення мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80 (УкЛи4/13-2)

$\vartheta_{м2оп1} = 9.086$ $\vartheta_{м2оп2} = 5.314$

Додаток Б

Результат розрахунку надлишкової температури в шпиндельних опорах
в шпиндельних опорах верстата Goodway Machine GA 2000

Mathcad - [rosr]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Constants Arial Cyr 10 **B** *I* U 100%

Машиння мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80 (УкЛи4/13-2)

$$t_{m2оп1} := \frac{2 \cdot N_{m2оп1}}{K_{1оп1} + K_{2оп1}}$$

$$t_{m2оп2} := \frac{2 \cdot N_{m2оп2}}{K_{1оп2} + K_{2оп2}}$$

Результати розрахунків надлишкової температури шпиндельних опор

Частота обертання, об/хв $n = 3.2 \times 10^3$

Машиння мастилом Т22 ГОСТ 32-74

$t_{m1оп1} = 16.344$ $t_{m1оп2} = 11.745$

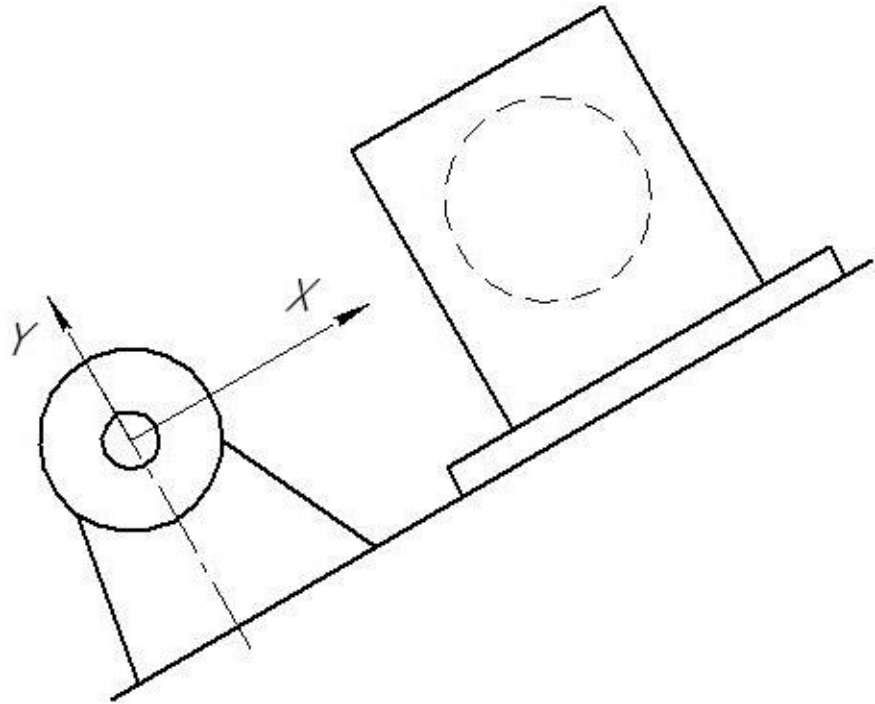
Машиння мастилом ЛКС-2 ТУ 38 4.01.71-80 (УкЛи4/13-2)

$t_{m2оп1} = 6.869$ $t_{m2оп2} = 4.882$

Додаток В

Схема базування шпindelної бабки

Doosan Puma Infracore 2100



Додаток Г

Схема базування шпиндельної бабки
GOODWAY MACHINE CORP. GA-2000

