

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала-шестерні 14.01.05

шляхом структурно-параметричної оптимізації верстатного пристрою на

шпонково-фрезерній операції

Здобувача (ки) групи ТМ.м-31 Гриценка Олександра Олександровича

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Олександр ГРИЦЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Артем ЄВТУХОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

менеджер глобального розвитку

WAGO GmbH & Co. KG Дмитро Адаменко

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	6
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі.....	6
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі.....	8
1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва.....	9
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	10
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	13
1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	19
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	21
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів оброблення заготовки та вибір оптимального технологічного процесу.....	21
2.2 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї.....	23
2.3 Аналіз фрезерної операції схеми базування та закріплення заготовки.....	28
2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів.....	32
2.5 Визначення режимів різання та технічне нормування операції.....	33
2.6 Проектування верстатного пристрою.....	36
2.7 Висновок.....	41
РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА ФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ.....	42
3.1 Актуальність, мета та методи дослідження.....	42
3.2 Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та топологічного аналізу.....	43
3.3 Висновок.....	58

ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	60
Додаток А.....	62
Додаток Б.....	63
Додаток В.....	64
Додаток Г.....	66

ВСТУП

Актуальність теми. Деталь «вал-шестерня 14.01.05» є важливим елементом коробки швидкостей головного приводу верстату 6P81Г. Верстати цієї моделі призначені для виконання широкого спектра механічних операцій, зокрема фрезерування, свердління та розточування, що дозволяє обробляти деталі різних форм із матеріалів, таких як сталь, чавун, кольорові метали, їхні сплави та інші. Зазначений верстат забезпечує можливість обробки деталей середнього розміру та ваги, що робить його універсальним і широко застосовуваним у виробництві.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення деталі «вал-шестерня 14.01.05», зокрема шпонково-фрезерна операція, а також конструкція верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки.

Предмет дослідження: структура та параметри технологічного процесу виготовлення «вала-шестерні 14.01.05», зокрема шпонково-фрезерної операції, а також конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення деталі «вал-шестерня 14.01.05» шляхом структурно-параметричної оптимізації конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки під час шпонково-фрезерної операції.

Для досягнення мети було поставлено такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі «вал-шестерня»;
- 2) розробити оптимізований технологічний процес виготовлення деталі «вал-шестерня»;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки під час фрезерної операції;
- 4) Виконати статичний і топологічний аналіз розробленого верстатного пристрою та внести корективи до його конструкції.

Методи дослідження. Для побудови твердотільної моделі запропонованого верстатного пристрою використовувався графічний інженерний пакет FUSION

360. Дослідження конструкції пристрою, зокрема статичний і топологічний аналіз, проводилося з використанням програмного комплексу ANSYS Workbench.

Практичне значення отриманих результатів. Результати роботи включають розробку прототипу верстатного пристрою, призначеного для базування та закріплення заготовки під час фрезерної операції у технологічному процесі виготовлення деталі «вал-шестерня 14.01.05». Правильність конструктивних рішень підтверджено шляхом проведення статичного та топологічного аналізу, що дозволяє рекомендувати пристрій для впровадження у виробничий процес.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку посилань з 12 джерел, 65 сторінок основного тексту, 30 рисунків та 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі

Об'єкт дослідження - це технологічний процес виробництва вал-шестерні з індексом 14.01.05, яке входить до складу коробки подач консольно-фрезерного верстата 6Р81Г і забезпечує передачу крутного моменту та обертання від ведучого валу до гвинтів подач.

Горизонтально-консольний фрезерний верстат 6Р81 спеціально розроблений для обробки широкого спектра матеріалів, включаючи сталь, чавун, кольорові метали та пластмаси. Завдяки можливості використання різних типів фрез – циліндричних, торцевих, дискових, кутових та спеціалізованих – верстат може застосовуватись у виробництві як одиничних, так і серійних та масових виробів.

Вал-шестерня входить до коробки подач кріпиться до корпусу двигуна гвинтами і розташована в порожнині консолі. Шестерні зчіплюються між собою та з валом коробки, що дозволяє передавати різні швидкості руху. Коробка також може мати функції реверсу, зчеплення і прискореного ходу, які керуються вручну за допомогою рукояток на консолі. Перемикання передач здійснюється ковзним механізмом зі шкалою, який кріпиться спереду і може бути знятий для зручності обслуговування.

Передача обертання шпинделя здійснюється через клинопасову передачу з кулачковою муфтою та підшипниками, що забезпечують стійке обертання. Коробка швидкостей з плунжерним насосом для мастила гарантує плавне перемикання швидкостей, а коробка передач столу підтримує різноманітні швидкості подач і реверс, що дозволяє точно контролювати переміщення столу.

Вал-шестерня 14.01.05 східчастий вал який має шпонковий паз, та зубчасту частину.

Вал-шестерня виготовлений з конструкційної середньовуглецевої конструкційної сталі 40Х, відомої своїми відмінними механічними властивостями.

Завдяки міцності та зносостійкості сталь 40Х широко застосовується у виробництві важливих деталей, що зазнають високих навантажень, таких як вали, осі, шестерні, шпинделі та інші елементи обладнання. Додавання хрому підвищує твердість і стійкість до корозії після термічної обробки, роблячи сталь особливо придатною для тривалої експлуатації. Помірний вміст вуглецю сприяє середній зварюваності та дає можливість додаткового зміцнення для покращення характеристик.

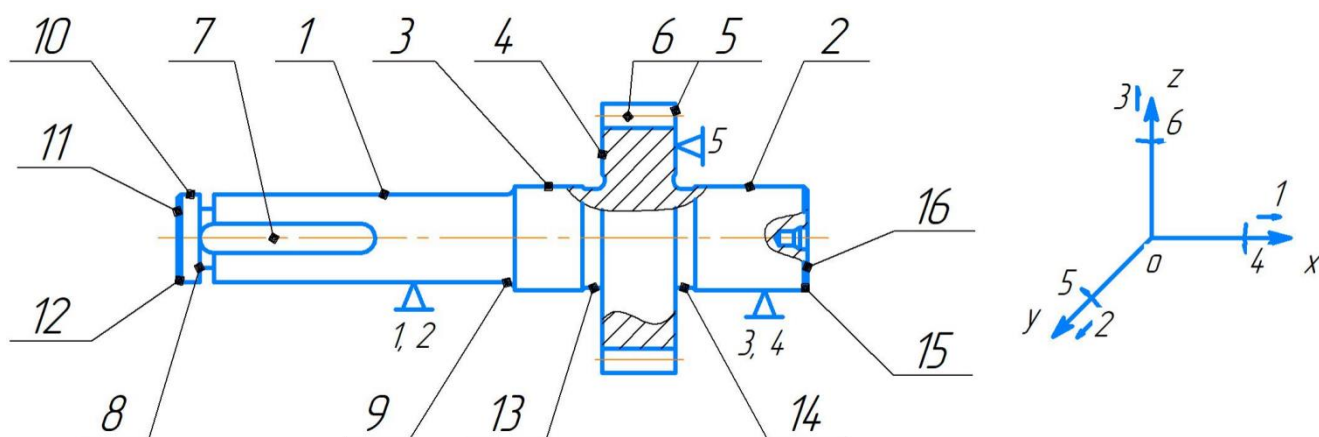


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Вал-шестерня»

Поверхні 1, 2 та 5 виконують функції основних конструкторських баз - подвійна напрямна база (ПНБ) та опорна база (ОБ), відповідають за правильне положення деталі в механізмі. Допоміжні бази це поверхні 3, 4, 7 та 8, всі інші поверхні вільні. Вал встановлений в підшипнику зі сторони шпонкового пазу, поверхня 2 сторони встановлено кришку з зазором 0,005...0,030 мм для роботи як підшипник ковзання. Торцевий зазор для поверхонь між шестірними зуб'ями становить 0,010–0,020 мм, що забезпечує плавне обертання. Зубчаста поверхня передає крутний момент через шпонку на вал, а фіксуюча шайба утримує прямозубе колесо.

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі

Вал-шестерня 14.01.05 відповідає типовістю та має форму східчастого вала з зубчастим вінцем та шпонковим пазом. Габаритні розміри $\varnothing 36,68$ мм (максимальний діаметр шестірни), $\varnothing 14$ мм (діаметр циліндричних поверхонь), 86 мм (довжина), вага деталі – 185 г. Модуль (m) - 2,5, кількість зубців (z) - 12, кут нахилу зубів (β) - 0° .

Підвищені вимоги до поверхні 6 щодо точності вінця задано ступенем 8-9-9-N, радіального биття 0,01 мм, паралельності 0,005 мм, ширини зубчастої частини h6 та шорсткості Ra 0,8 мкм. Через великі навантаження на зубцях шестірни схильні до викривування та зношення. Для запобігання цьому передбачена твердість зубчастої частини 48...52 HRC. Це обґрунтовано функціональним призначенням цієї поверхні бо ця поверхня виконує функцію передачі крутного моменту, працюючи при циклічних контактних навантаженнях і зазнаючи посилене зношення. Дотримання цих вимог забезпечує плавність ходу та довговічність.

До деталі поверхні 7 висуваються такі вимоги: точність розміру 4H11, допуск паралельності паза щодо вісі деталі - 0,01 мм, допуск симетричності - 0,05 мм, а шорсткість поверхонь за Ra - 1,6 мкм основної поверхні, Ra - 3,2 бокових поверхонь. Тому що ця поверхня приймає та передає крутний момент через шпонку. Дотримання цих вимог до взаємного розташування поверхонь забезпечить рівномірний розподіл контактного навантаження на бокові сторони паза, що знизить швидкість їх зношування і ймовірність руйнування.

Циліндрична поверхня 1 виконує роль базової, забезпечуючи базування валу та служить вимірювальною базою з допуском k6, що відповідає перехідній посадці та зазначає умову навантаження циркуляційне (обертання валу), основне навантаження постійно піддається в одному напрямку радіального навантаження. При цьому полі допуску вал отримує середні навантаження та забезпечує найбільший термін роботи деталі. Шорсткість поверхні Ra 0,2 мкм. Поверхня 2, що працює як підшипник ковзання, піддається високоточній - обробці з забезпеченням гарантованого зазору в межах 0,005...0,03 мм. Такий зазор

дозволяє підтримувати стабільний мастильний шар, що мінімізує тертя, знос і підвищує довговічність з'єднання. Шорсткість поверхні Ra - 0,2 мкм. Для запобігання швидкому зношенню передбачається місцева закалка 48...52 HRC.

Кількість видів, проєкції, технічні вимоги регламентовані робочим кресленням є достатніми для розуміння конфігурації деталі, технічних вимог на її виготовлення.

1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначається сукупністю технологічних, організаційних та економічних характеристик, які залежать від спеціалізації, обсягу та постійності номенклатури продукції, а також від способу переміщення виробів між робочими місцями. Кількісно тип виробництва оцінюється за коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, який розраховується як відношення кількості унікальних операцій, виконуваних підрозділом протягом місяця, до кількості робочих місць [1].

Для розрахунку $K_{з.о}$ використовуються основний час виконання операцій базового технологічного процесу та річний обсяг випуску деталей. Деталізовані дані та результати розрахунків наведено у Додатку Є.

Згідно додатку Б, для виготовлення деталі 14.01.05 в наявних умовах характерним є середньо-серійний тип виробництва ($K_{з.о}=13,46$). Цей тип відрізняється обмеженою номенклатурою продукції, причому вироби одного найменування виготовляються партіями з однакових за розмірами та конструкцією деталей, які запускаються у виробництво одночасно та періодично повторюються. Середньо-серійне виробництво є одним із найпоширеніших типів і передбачає використання верстатів з ЧПК, обробних центрів, уніфікованих та стандартних ріжучих і вимірювальних інструментів.

Форма організації виробництва для виготовлення вал-шестерні в умовах середньо-серійного виробництва - це предметно-замкнена дільниця. Такий підхід забезпечує концентрацію всіх необхідних операцій і обладнання в межах однієї дільниці, що сприяє підвищенню продуктивності, скороченню часу на

транспортування деталей між операціями та мінімізації втрат часу на переналагодження.

Вибір предметно-замкненої ділянки обґрунтовано необхідністю підвищення ефективності виробничого процесу в умовах середньо-серійного виробництва, де важливо досягти високої стабільності якості деталей і знизити виробничі витрати.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Вал-шестерня є розповсюджена деталь, технології виготовлення таких деталей є часто трапляються у виробництві.

Позитивні ознаки технологічності деталі є матеріал сталь 40Х вона часто використовується в машинобудуванні, також її можна легко замінити на іншу марку без суттєвих змін фізик-хімічних показників, такі як 38ХА, 45Х, 40ХН та інші. Також сталь добре оброблюється та має добру зварюваність.

Габарити деталі дозволяють оброблювати її на малогабаритних верстатах, зручно базувати та закріплювати.

Мала маса деталі 185 г. заготовки 235 г позитивний аспект виробу бо при такій масі деталі не потрібні механізми для транспортування та завантаження.

Класифікація форми виробу – класичний вал-шестерня в якому наявні циліндричні поверхні та плоскі торці, завдяки яким можна легко базувати деталь на верстаті. Також на деталі наявні штучні бази (центральні отвори) завдяки яким можна легко базувати на токарному, шліфувальному верстаті.

Шпонковий паз характеризується малими габаритами $\varnothing 4H11$ довжиною 24 мм, глибиною 2,5 мм та поверхневим положенням. Доступність інструменту позитивно впливає на технологічність елемента. Закритий шпонковий паз не дозволяє використовувати високопродуктивне фрезерування на прохід дисковою фрезою.

Розміри на кресленні проставлені чітко та зрозуміло. Завдяки чіткому розміщенню розмірів деталей легко вимірювати і контролювати розміри.

До креслення висуваються вимоги, щодо розмірів, якості, допусків та взаємного розміщення:

- Радіальне биття зовнішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 12k6$; $\varnothing 36,62f7$; $\varnothing 14$ із зазором 0,005 ... 0,030 мм, по базі Б від вісі деталі з допуском 0,01 мм. Вимагає високої точності позиціювання відносно бази Б. Забезпечення цих вимог потребує використання точних верстатів, точних вимірювальних інструментів, що підвищує складність виготовлення та підвищеної кваліфікації робітника.

- Торцеве биття 10h6 торцевих поверхонь шестірні з відхиленням від вісі деталі на 0,01 мм, щодо бази Б. Критичний параметр, який вимагає високоточної наладки обладнання. Такий рівень точності вимагає додатковий контроль, та можливо корекцію при виробництві. Забезпечення цього критерію впливає на швидкість та ефективність процесу.

- Допуск паралельності торцевих поверхонь шестірні 10h6 з відхиленням 0,005 мм. Жорстка вимога, яка потребує високої точності обробки для досягнення показника в цій межі. Ця вимога збільшує час виконання операції, вимагає додатковий контроль.

- Допуск паралельності бокових поверхонь пазу 4H11 відносно бази Б складає 0,013 мм.

- Допуск симетричності бокових поверхонь пазу 4H11 відносно бази Б повинно відповідати 0,052 мм.

Допуски паралельності та симетричності бокових поверхонь пазу вимагаються використання спеціальних пристроїв для контролю та прецизійного обладнання. Для забезпечення таких умов обробки шпонкового пазу потрібно чітко базувати деталь, що ускладнює процес виготовлення та підвищує вимоги до робітника.

Вал-шестерня має складний конструктивний елемент, що ускладнює виробництво оброблення деталі - вінець валу. Цей елемент характеризується високою точністю розмірів елементів, взаємним кутовим розміщенням, формою, та поетапним виконанням (зубонарізання, термічна обробка та зубошліфування). Для виготовлення потрібні верстати зубообробної групи, інструменти для

виконання роботи та вимірювальний інструмент. Отже зубчаста частина характеризується як нетехнологічна ознака.

Аналіз технологічності конструкції деталі за кількісними характеристиками.

Рівень технологічності конструкції за точністю обробки деталі розраховується за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}},$$

де T_{cp} – середній квалітет точності оброблюваних поверхонь;

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i * n_i}{\sum n_i},$$

де T_i – квалітет точності оброблюваної поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету точності.

$$T_{cp} = \frac{6*2+7*1+11*1}{4} = 7,5.$$

В результаті маємо

$$K_T = 1 - \frac{1}{7,5} = 0,86.$$

Рівень технологічності конструкції щодо шорсткості поверхонь визначають за формулою

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}},$$

де $Ш_{cp}$ – середня шорсткість оброблюваних поверхонь, мкм.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i * n_i}{\sum n_i},$$

де $Ш_i$ – шорсткість оброблюваної поверхні, мкм;
 n_i – кількість поверхонь деталі з відповідною шорсткістю.

$$Ш_{cp} = \frac{0,2*3+0,4*3+0,8*1+6,3*15}{22} = 4,413 \text{ мкм.}$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{4,413} = 0,77.$$

Кількісне оцінювання технологічності конструкції деталі за ознакою використання матеріалу розраховується за формулою:

$$K_{в.м.} = \frac{M_d}{M_3},$$

де M_d - маса готової деталі.

M_3 - маса заготовки.

$$K_{в.м.} = \frac{185}{235} = 0,78$$

Отже, за результатами кількісного аналізу технологічності конструкції деталі можна зробити висновок: конструкція деталі є технологічною з оцінкою «добре».

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Опис даного технологічного процесу:

005 Заготівельна (обробка тиском).

Заготовку отримуємо методом штампування. В штампувальний прес поміщається нагріта до високої температури заготовка. Потім нагрітій заготовці під високим тиском надається форма, застосовуючи штамп та матрицю. У процесі штампування матеріал стискається, а зайвий матеріал видаляється.

До переваг можна віднести високу точність виготовленої заготовки, висока продуктивність. До виділених недоліків можна віднести високу вартість обладнання.

010 Технічний контроль.

Здійснюємо контроль всіх розмірів заготовки відносно вимог, зазначених у заготівельному кресленні.

015 Токарно-гвинторізна.

На даній операції підготовлюються базові поверхні. Цей етап забезпечує базову точність розмірів і підготовку поверхонь для подальших операцій. Використання цього обладнання дозволяє досягти прийнятного рівня точності для подальшої обробки.

Установ А

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø36,62.

Установ Б

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø14.

Ріжучі інструменти: Різець прохідний MWLNL-2525-M06. Різець прохідний (чистовий) SVJCL-2525-M16. Пластина токарна чорновий WNMG 0604 - WNMG 06 04 08-WL 4315. Пластина токарна чистова SVJCL-2525-M16 - VCMT 160404 NN LT10.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-150-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018. Мікрометр МК-25 0-25 мм iso9001:2018, МК-50 25-50 мм iso9001:2018.

До переваг можна віднести універсальність верстату та продуктивність завдяки потужному двигуну та жорсткій конструкції можливо знімати велику

кількість матеріалу за один прохід. Частота обслуговування та вимоги до технічного стану верстата відносяться до недоліків.

020 Токарно-гвинторізна.

На даній операції виробляється канавка під стопорне кільце.

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø14.

Ріжучі інструменти: різець канавковий (відрізний) BKTR-JK-2525-4C. Різець прохідний (чистовий) SVJCL-2525-M16. Пластина токарна канавкова BKTR-JK-2525-4C - MGM. 400.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-150-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

025 Токарно-гвинторізна.

На даній операції формуються фаски.

Установ А

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø14.

Установ Б

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø14.

Ріжучі інструменти: Різець прохідний MWLNL-2525-M06. Пластина токарна чорновий WNMG 0604 - WNMG 06 04 08-WL 4315.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-150-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

030 Токарно-гвинторізна.

На даній операції формуються уступи під вихід шліфувального круга.

Установ А

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø14.

Установ Б

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат 16K20.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон 200 мм, задній центр.

Базові розміри: Ø14.

Ріжучі інструменти: Різець прохідний MWLNL-2525-M06. Пластина токарна чорновий WNMG 0604 - WNMG 06 04 08-WL 4315.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-150-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

035 Технічний контроль.

Здійснюємо контроль всіх розмірів заготовки відносно вимог, зазначених у кресленні.

040 Фрезерна.

На фрезерному верстаті 6Д91 здійснюється фрезерування шпонкового паза, що є важливим етапом для подальшого з'єднання деталі з іншими елементами. Шпонковий паз потребує високої точності і стабільності розмірів для забезпечення відповідності конструктивним вимогам. Використання фрезерного верстата дозволяє досягти цих параметрів, забезпечуючи довговічність з'єднання і стабільність у роботі механізму.

Обладнання: фрезерний верстат 6Д91.

Верстатний пристрій для фрезерування шпонкового пазу.

Розміри 4Н11, l=24, h=2,4.

Ріжучі інструменти: фреза кінцева 2234-4010 Р6М5.

Переваги верстата висока точність обробки шпоночних пазів, збільшена кількість швидкостей дозволяє йому більш продуктивно виконувати операції та його енергоефективність. Недоліками можна виділити доволі слабкий двигун, що не дозволить оброблювати матеріали підвищеної твердості.

045 Зубофрезерна.

На операції виконується фрезерування зубців 6 (див. Рис. 1.1), які служать для передачі крутного моменту у вузлі.

Нарізання зубів шестірні є ключовим етапом, що впливає на функціональність деталі в кінцевому вузлі. Верстат 5К301П і фреза забезпечують високу кінематичну точність профілю зубів, що критично важливо для передачі крутного моменту. Фреза обрана з метою досягнення точності і стабільності профілю зубів, що забезпечує злагоджену роботу зубчастого зачеплення.

Обладнання: 5К301П.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон.

Базові розміри: Ø36,62.

Інструменти: прямозуба фреза $m=2.5$, $z=12$.

Вимірювальний інструмент: універсальний зубомір.

Переваги верстата точність обробки що досягається конструкцією верстата, напів автоматизоване виробництво та його універсальність що дозволяє виконувати роботи з різних матеріалів та великою кількістю інструменту. Недоліки складність конструкції ускладнює його обслуговування, ремонт, та високі вимоги до робочого.

050 Слюсарна.

Механічне притуплення гострих кромки по кресленню.

Використовується слюсарний верстат.

Інструмент: надфілі, напильники, рашпилі.

055 Термообробка.

Термообробка зубчастого вінця та циліндричної поверхні Ø14 здійснюється для забезпечення зносостійкості. Також термічна обробка виконується для покращення властивостей сталі, твердості та зносостійкості. Завдяки цьому

зменшується ризик деформації, руйнація деталі та підвищується зносостійкість інструменту, що позитивно складується на процесі шліфування.

060 Круглошліфувальна.

Круглошліфування використовується для остаточної обробки циліндричних поверхонь. Шліфувальний верстат 3У10В забезпечує високу точність діаметрів і низьку шорсткість, що критично важливо для з'єднання і сумісності деталі з іншими компонентами механізму. Шліфування дозволяє досягти ідеальної геометрії і підвищеної зносостійкості. Недоліком круглошліфування є низька продуктивність виконання роботи, високі вимоги до оператора.

Обладнання: 3У10В.

Верстатний пристрій: передній та задній центри.

Базові розміри: Ø12k6, Ø14, Ø36,62f7.

Інструменти: шліфувальний круг ПП14АФ60.

Вимірювальний інструмент: мікрометр МК-25 0-25 мм iso9001:2018, МК-50 25-50 мм iso9001:2018.

Переваги висока точність обробки та якість шліфування, універсальність оброблюваних поверхонь та компактність, верстат класифікується як малогабаритний. До недоліків відноситься обмеженість оброблюваних заготовок 100 мм, та складність в обслуговуванні, що потребує постійного технічного контролю для підтримання точності.

065 Зубошліфувальна.

Остаточне шліфування зубів деталі проводиться на зубошліфувальному верстаті 5891С для забезпечення високої кінематичної точності та необхідної якості поверхні. Це забезпечує зниження шуму, зменшення зношення та підвищення ефективності передачі моменту. Недоліком зубошліфування є низька продуктивність виконання роботи, потребує високої кваліфікації до оператора. Зубошліфувальна ускладнює процес виготовлення деталі, та збільшує вартість готового виробу.

Обладнання: 5891С.

Верстатний пристрій: передній та задній центри.

Вимірювальний інструмент: універсальний зубомір.

Переваги верстата висока точність оброблюваних поверхонь. Потреба кваліфікованого персоналу, та висока вартість верстату відноситься до недоліків верстату.

070 Промивання

Очищення деталі проводиться у спеціальних ваннах для видалення залишок стружки, абразиву, останки мастильно-охолоджувальної рідини, бруду. Покращує точність та чистоту поверхонь, забезпечуючи належні умови для остаточного контролю якості.

075 Технічний контроль.

Здійснюємо контроль всіх розмірів деталі відносно вимог, зазначених у кресленні.

1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Проаналізувавши технологічний процес виготовлення вал-шестерні 14.01.05 виявив, що наявна технологія враховує конструктивні вимоги, властивості матеріалу та умови експлуатації. Однак є аспекти, які потребують оптимізації для підвищення точності, продуктивності й економічності процесу.

1) Технологічність конструкції:

- Вал-шестерня виготовлена з матеріалу (сталь 40X), що забезпечує високу міцність та зносостійкість.
- Основні конструктивні елементи (зубчаста поверхня, шпонковий паз, базові поверхні) відповідають стандартам точності та шорсткості.
- Складні елементи, такі як зубчастий вінець, потребують використання спеціального обладнання, що впливає на трудомісткість.

2) Тип виробництва:

- Виробництво відноситься до середньо-серійного типу, що дозволяє використовувати автоматизоване обладнання та стандартизовані процеси для підвищення продуктивності.

3) Аналіз існуючого процесу:

- Технологічний процес включає заготівельні, токарні, фрезерні та зубообробні операції з контролем на кожному етапі.

Завдання для удосконалення технологічного процесу:

1) Оптимізація шпонкового паза: розробити можливість обробки відкритого паза, що дозволить використовувати дискові фрези та підвищити продуктивність.

2) Автоматизація контролю точності: впровадити системи автоматичного вимірювання параметрів (радіального биття, шорсткості), щоб мінімізувати час ручного контролю.

3) Оптимізація термічної обробки: застосувати локальну індукційну обробку зубчастої частини для підвищення точності та зменшення термічних деформацій.

4) Впровадження сучасного обладнання: замінити застарілі моделі токарних і зубофрезерних верстатів на сучасні, з автоматизованими системами завантаження і контролю.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів оброблення заготовки та вибір оптимального технологічного процесу

На основі зауважень та пропозицій які були сформульовані за результатами базового технологічного процесу, було запропоновано перспективний технологічний процес виготовлення деталі. Для зручності порівняння маршрутів базового та перспективного технологічних процесів виготовлення деталі, наведемо інформацію до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняння маршрутів базового та перспективного технологічних процесів виготовлення деталі

Базовий		Перспективний	
Номер операції	Назва операції	Номер операції	Назва операції
1	2	3	4
005	Обробка тиском	005	Обробка тиском
010	Технічний контроль	010	Технічний контроль
015	Токарна	015	Токарна з ЧПК
020	Токарна	020	Технічний контроль
025	Токарна	025	Фрезерна з ЧПК
030	Токарна	030	Зубофрезерна з ЧПК
035	Технічний контроль	035	Слюсарна
040	Фрезерна	040	Термічна обробка(локально-індукційне гартування)
045	Зубофрезерна	045	Круглошліфувальна з ЧПК
050	Слюсарна	050	Зубошліфувальна

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
055	Термічна	055	Промивання
060	Круглошліфувальна	060	Технічний контроль
065	Зубошліфувальна		
070	Промивання		
075	Технічний контроль		

Поставлене завдання підвищити ефективність базового технологічного процесу через підвищення продуктивності, зниження собівартості, поліпшення умов праці. Завдяки впровадженню засобів автоматизації та механізацій, зокрема використанню верстатів з ЧПК, обробних центрів, використанню верстатних пристроїв з механізованими приводами кріпленням заготовки, різального інструменту зі зносостійким покриттям різальної частини.

Металорізальні верстати були замінені на більш сучасні верстати з ЧПК управлінням та ріжучі інструменти зі змінними вставками. Верстат 16K20 було замінено на верстат з системою числового керування Gildemeister CTX 400 S2.

Фрезерні та верстати 6Д91 було замінено на верстат з системою числового керування HAAS EC-1600ZT-5AX.

Зубофрезерний 5K301П замінено на верстат з системою числового керування Comak Mill.

Також було замінено термічну обробку в пічці на більш продуктивну локально-індукційне гартування. Локальна індукційна загартування має низку переваг у порівнянні з іншими методами термічної обробки. Ось ключові плюси цього методу:

1. Локальність обробки: загартовується лише визначена (робоча) зона деталі, що дозволяє зберігати початкові властивості інших частин виробу.
2. Економія енергії та матеріалів: завдяки нагріванню тільки робоча поверхня, зменшуються енергетичні витрати порівняно з об'ємним загартуванням, яке вимагає нагрівання всієї деталі.

3. Швидкість процесу: індукційний нагрів забезпечує миттєве підвищення температури в потрібній зоні, що суттєво скорочує час циклу обробки.

4. Поліпшення механічних властивостей: локальне загартування дозволяє створити шар високої твердості на поверхні при збереженні в'язкості та міцності серцевини деталі. Це забезпечує високий опір зносу та ударним навантаженням.

Оптимізація технологічного процесу обробки шпонкового паза

Обробка шпонкового паза базового технологічного процесу здійснюється за допомогою кінцевої фрези, що має низку обмежень, такі як низька продуктивність (необхідність багаторазових проходів) та низької швидкості різання. Завдяки заміні кінцевої фрези на більш сучасну зі зносостійким покриттям (TiN), стає можливо використання форсованих режимів різання.

Отже, зміна процесу обробки деталі дозволить збільшити продуктивність виготовлення завдяки збільшеним режимам різання. Підвищить точність обробки, завдяки зносостійкому покриттю та збільшить термін служби інструменту.

2.2 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї

Більшість заводських заготовок отримують шляхом відрізання сталі з відповідного розміру прокату далі виконується кування на молотах. Цей метод поширений, але має обмеження щодо точності розмірів отримання заготовок. В результаті цим методом в поковках будуть помітні великі припуски та напуски. Спосіб отримання заготовок повинен бути максимально економічним. Оскільки точність розмірів в данній деталі є не великою, важливіше забезпечити ефективність та економічність для подальшої обробки деталі (мінімізація металоємності та трудомісткості).

При виготовленні заготовки висуваються певні вимоги для подальшої обробки:

1. Мінімізація припусків на обробку: зменшення припусків допомагає знизити виробничі витрати, скорочуючи кількість операцій і проходів під час

обробки. Це сприяє підвищенню ефективності та продуктивності процесу виготовлення.

2. Оптимальне розташування ливарних і штампувальних ухилів: раціональне розташування ухилів у заготовках забезпечує якісне формування деталей під час ливарних і штампувальних процесів. Це включає правильне розміщення каналів для розплавленого металу або оптимальну орієнтацію виробів, що сприяє досягненню необхідної форми та якості.

3. Висока точність розмірів: забезпечення точних розмірів заготовок є ключовим для спрощення подальшої механічної обробки. Це гарантує взаємозамінність деталей, знижує потребу в додаткових операціях і покращує якість кінцевого продукту.

4. Усунення або зменшення дефектного шару: мінімізація або повне усунення дефектного шару підвищує якість заготовок, зменшує припуски й продовжує термін служби ріжучого інструменту. Це позитивно впливає на точність та якість кінцевих виробів.

Одним із наслідків наявності дефектного шару є збільшення припусків. Це пояснюється тим, що дефектний шар зазвичай має нерівномірну форму або поверхню, що вимагає видалення більшого обсягу матеріалу для досягнення необхідних розмірів та форми деталі. Крім того, дефектний шар негативно впливає на стійкість ріжучого інструменту: нерівності, тріщини або небажані зміни у структурі матеріалу заготовки можуть призводити до підвищеного зносу або ламкості інструменту, скорочуючи термін його служби і вимагаючи частішої заміни.

Дотримання технологічних вимог дозволяє покращити якість виробництва заготовок, підвищити ефективність обробки, зменшити витрати та забезпечити економічні переваги. Для цього пропонується застосування більш продуктивного методу отримання заготовок - штампування на кривошипному гарячому штампувальному пресі (КГШП) із використанням індукційного нагріву.

Переваги штампування на КГШП:

1) Зменшення припусків і ухилів: Добре спроектовані штампи дозволяють зменшити зсув половин штампа, скоротити припуски (на 20–30%), напуски, штампувальні ухили (в 2–3 рази) та допуски, що підвищує коефіцієнт використання матеріалу.

2) Покращення якості: Штампування забезпечує високу точність і якість деталей.

3) Підвищення продуктивності: Процес швидкого формування заготовок на КГШП сприяє зростанню продуктивності праці.

Індукційний спосіб нагріву:

Індукційний нагрів є ефективним методом підготовки заготовок до штампування. Він забезпечує рівномірне та швидке нагрівання матеріалу, що дозволяє досягати необхідної пластичності та гнучкості для формування. Оптимальні температури нагріву гарантують високу якість і повторюваність процесу.

Розрахунок заготовки:

Для виконання розрахунків враховуються наступні дані:

Матеріал заготовки - Сталь 40Х ГОСТ 4543-71

C - 0,36...0,44% , Cr - 0,8...1,1% , Si - 0,17...0,37% , Ni < 0,3% , Mn - 0,50...0,80% ,

Cn < 0,3%

Таблиця 2.2.1 - Вихідні данні поковки. [2]

Клас точності поковки	T3
Група сталі	M2
Ступінь складності	C2
Вихідний індекс	7
Маса поковки	0,277 кг

Таблиця 2.2.2 - Припуски і допуски на заготовку, мм

Найменування поверхні	Розмір	Припуск на сторону	Допуски	Додаткові припуски	Розмір заготовка
Зовнішня	Ø37f7	1,1	+0,6 -0,3	0,1	39,4
Зовнішня	Ø14h6	1,1	+0,6 -0,3	0,1	16,4
Зовнішня	Ø12k6	1,1	+0,6 -0,3	0,1	14,4
Лінійна	40±0.31	1,1	+0,6 -0,3	0,2	42,4
Лінійна	18 _{-0.43}	1,1	+0,6 -0,3	0,2	18
Лінійна	10h6	1,1	+0,6 -0,3	0,2	12,6
Лінійна	86 _{-0.87}	1,1	+0,6 -0,3	0,2	88,6

Ескіз заготовки поковки наведений на рис.2.1.

На кресленні заготовки необхідно вказати наступні технічні вимоги:

1. Поковка Гр.ІІ - 285...331 НВ ГОСТ 8479-70.
2. Поковка штампована ГОСТ 7505-89 на КГШП, клас точності Т3, група стали М2, ступінь складності С2, вихідний індекс 7.
3. Допустима величина торцевого задирки 0,1 мм.
4. Зсув площині роз'єму штампа 0,1 мм.
5. Маркувати: номер замовлення, матеріал, номер позиції

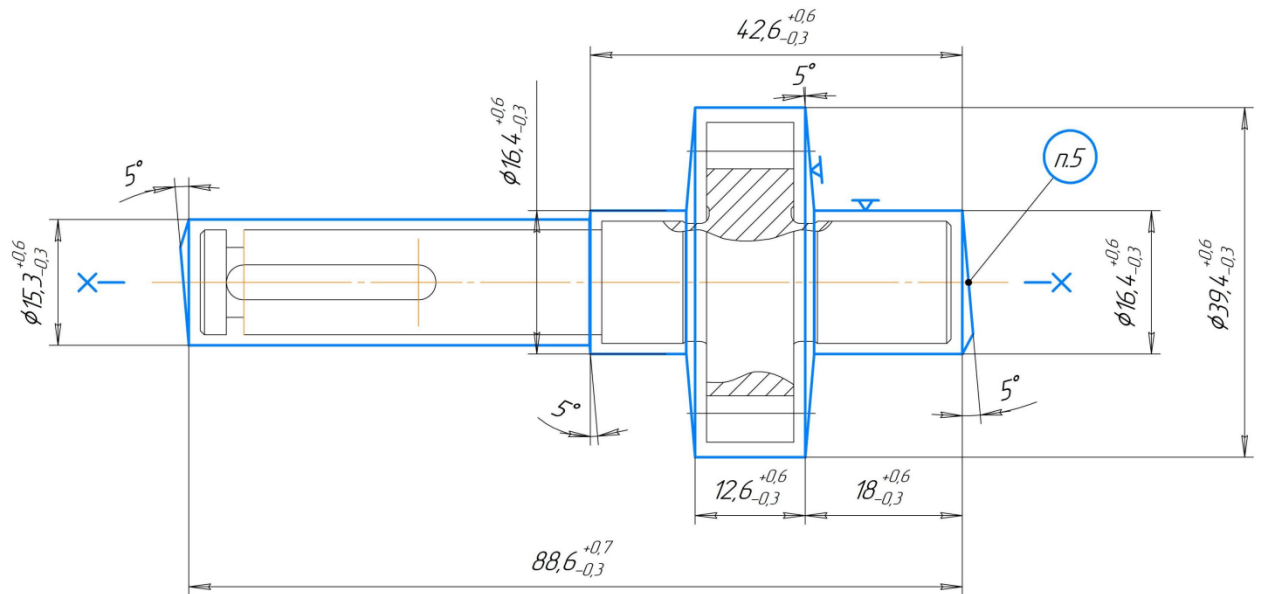


Рисунок 2.1 - Ескіз заготовки деталі 14.01.05

Розрахунок вартості заготовки обчислимо [3] за формулою, грн :

$$S_{\text{зар}} = \left(\frac{C_i}{1000} Q * k_t * k_c * k_v * k_m * k_n \right) - (Q - q) * \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (2.2.5)$$

де C_i – базова вартість 1 тонни заготовки, грн., $C_i = 36700$ грн.;

Q – маса заготовки, кг, $Q_{\text{зарIII}} = 0,23$ кг; $Q_{\text{зарK}} = 0,373$ кг;

k_t – коефіцієнт, що залежить від точності штамповок по [3], при нормальній точності приймаємо $k_t = 1$;

k_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності, по [3] група складності C2, тому $k_c = 0,87$ [3];

k_v – коефіцієнт, що залежить від матеріалу і маси штампування [3], $k_v = 2$ при $Q_2 = 0,23$ кг, $k_v = 1,64$ при $Q_1 = 0,373$ кг;

k_m – коефіцієнт, що враховує марку матеріалу штампування, $k_m = 1,13$ [3];

k_n – коефіцієнт, що враховує обсяг виробництва штамповок, $k_n = 0,8$ [3];

q – маса готової деталі, кг, $q = 0,185$ кг; $S_{\text{відх}}$ – ціна 1 тонни відходів, грн, $S_{\text{відх}} = 4400$ грн.

$$S_{\text{зарIII}} = \left(\frac{46700}{1000} 0,23 * 1 * 0,87 * 2 * 1,13 * 0,8 \right) - (0,23 - 0,185) * \frac{4400}{1000} = 16,89 \text{ грн}$$

$$S_{\text{загК}} = \left(\frac{36700}{1000} 0,373 * 1 * 0,87 * 1,64 * 1,13 * 0,8 \right) - (0,373 - 0,185) * \frac{4000}{1000} = 16,9 \text{ грн}$$

Собівартість штампованої заготовки нижче собівартості заготовки отриманої методом кування:

$$16,69 < 16,9$$

Визначимо річний економічний ефект від впровадження нового методу отримання заготовки куванням на КГШП:

$$E_{\text{заг}} = (S_{\text{загК}} - S_{\text{загШ}}) * N \quad (2.2.6)$$

$$E_{\text{заг}} = (16,9 - 16,69) * 1200 = 252 \text{ грн}$$

Згідно з проведеними розрахунками, ефективність нового методу отримання заготовки становить 252 гривень на рік.

2.3 Аналіз фрезерної операції схеми базування та закріплення заготовки

Необхідно проаналізувати схему закріплення цієї заготовки на базі верстата, згідно модернізованому технологічному процесу. Вибір правильної схеми базування і схеми кріплення впливає не тільки на якість і точність оброблюваної поверхні, але і на вибір відповідного верстата. При розгляді базової схеми необхідно враховувати принцип сталості, який забезпечує однакове положення базової точки, а також принцип єдності технологічної, конструктивної і вимірювальної бази. Зручність фіксації заготовки і можливість виконання багатьох операцій на поверхні заготовки також є важливими факторами.

Аналіз та обґрунтування схем базування та закріплення деталі при фрезеруванні шпонки операція 025. На цій операції необхідно отримати паз 4Н11 (+0,075).

Вибір способу установки та закріплення деталі на верстаті залежить від конфігурації деталі, серійного виробництва та застосованого способу обробки. Способи установки та закріплення заготовки на столі верстата впливають на точність оброблюваної поверхні і загальний час обробки.

Щоб отримати цей паз, було розглянуто дві схеми базування. В обох випадках деталь буде вставлено в призму та закріплено подвійним затискачем.

Розташування опори розглянемо за двома схемами. Перша схема представлена на рисунку 2.4, а друга схема на рисунку 2.5.

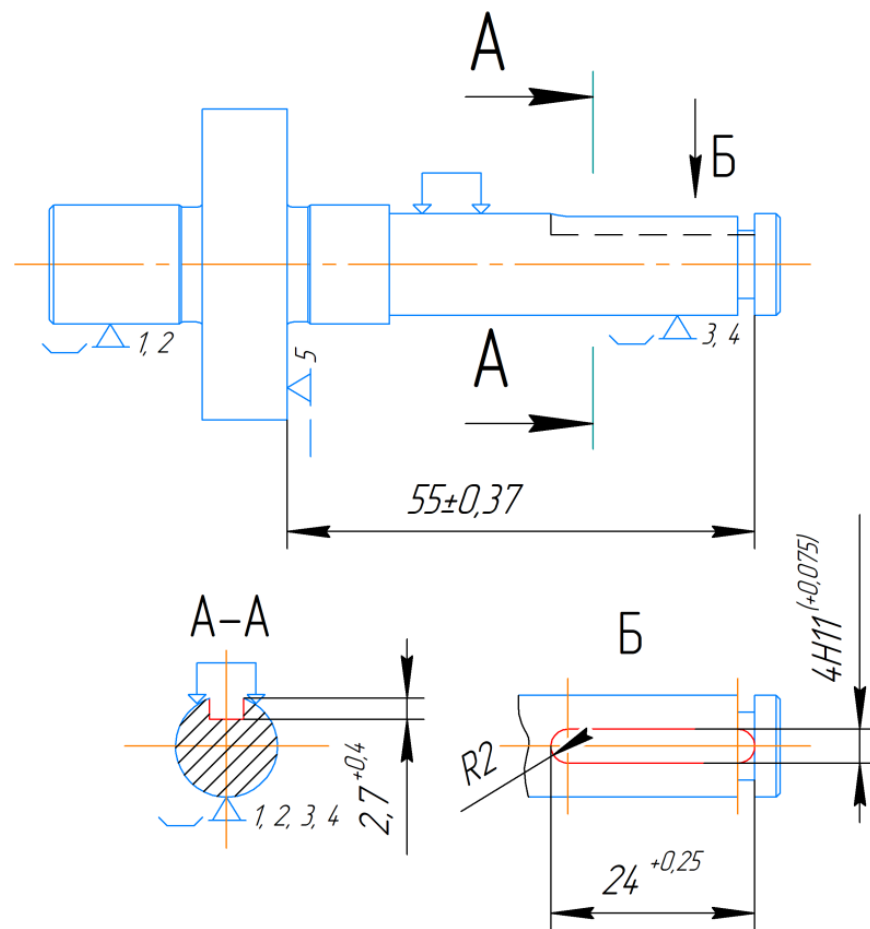


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції 025 за схемою №1

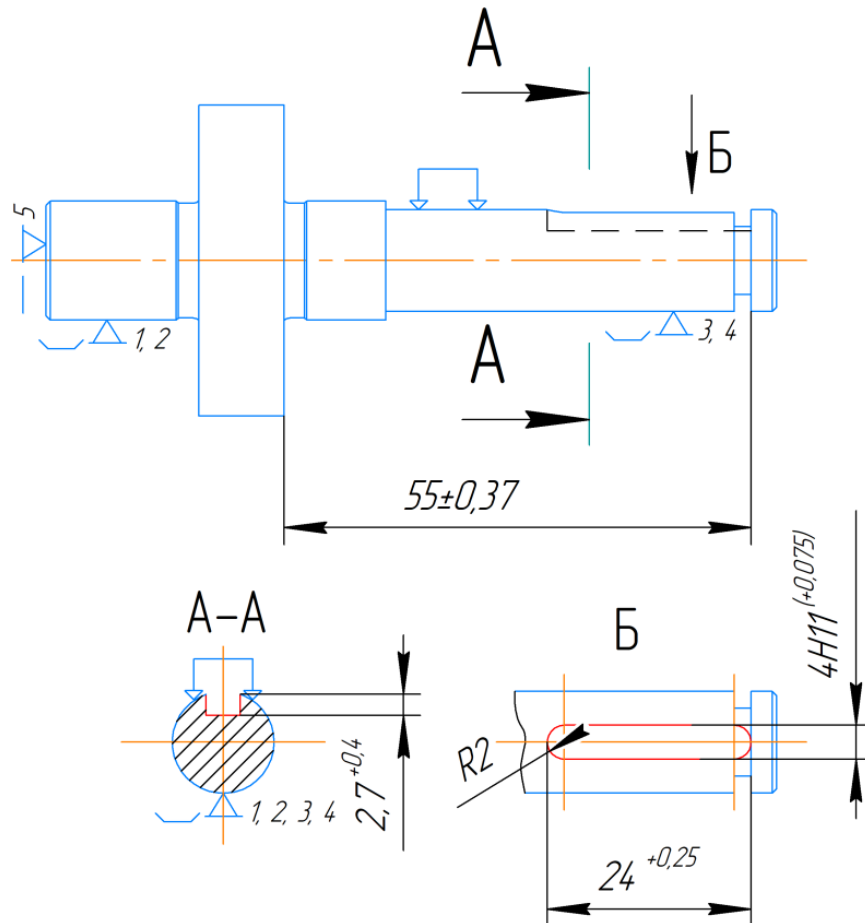


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки 025 за схемою №2

У цьому пристосуванні деталь втрачає п'ять ступенів свободи, що обмежує її рух. Через особливості конфігурації деталі неможливо застосувати додатковий упор або палець для усунення шостого ступеня свободи. Натомість деталь утримується за рахунок сил тертя, щоб запобігти її провертання. Для обох варіантів закріплення використовуються дві технологічні бази: подвійна напрямна база та опорна база. Відповідності між елементами та матриця зв'язків представлені в таблицях 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідностей для установка Б

Зв'язки	Ступінь свободи	Найменування бази
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
Вакансія	IV	

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків установка Б

		X	Y	Z
ОБ	L	0	1	1
	α	0	1	1
ПНБ	L	1	0	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

Для обох схем установки заготовки в призму неминуче виникає похибка базування розміром ε_6 . Ця похибка обумовлена конструкторською базою, що зумовлена оброблюваною поверхню пазу. У цьому випадку конструкторська база зазначається глибиною пазу, яка становить $(2,7^{+0,4}$ мм), де 0,2 мм припадає на припуск з кожної сторони. Розрахунок похибки базування здійснюється за такою формулою (у міліметрах):

$$\varepsilon_{62,7} = \frac{Td}{2} * \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right), \quad (2.3.1)$$

де α - кут призми ($\alpha = 90^\circ$);

Td - поле допуску розміру $(12,4h11_{(-0,11)})$

$$\varepsilon_{62,7} = \frac{0,11}{2} * \left(\frac{1}{\sin 45^\circ} + 1 \right) = 0,13 \text{ мм}$$

Похибка базування для розміру паза 24 мм дорівнює 0.

Похибка базування по першій схемі в осьовому напрямку дорівнює 0, це пов'язано з тим фактом, що конструкторська база та технологічна база збігається.

Похибка базування по другій схемі в осьовому напрямку.

$$\varepsilon_{624}^I = \Sigma Td_{Icx} = 0,37 + 0,37 = 0,74 \text{ мм} \quad (2.3.2)$$

$$\varepsilon_{624}^{II} = \Sigma Td_{IIcx} = 0,74 + 0,009 + 0,43 = 1,179 \text{ мм} \quad (2.3.3)$$

Порівняння двох способів базування заготовки в пристосуванні показує, що перша схема забезпечує меншу похибку базування порівняно з другою. З огляду на цей факт та відповідно до рисунка 2.4, остаточно обираємо першу схему базування заготовки в пристосуванні.

2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для вибору верстатів доцільно використовувати сучасні каталоги-довідники металорізального обладнання. У них наведені технічні характеристики та параметри, що дозволяють обґрунтовано підібрати необхідний верстат.

При аналізі каталогів слід враховувати такі критерії:

1) Методи обробки поверхонь, які застосовуються в конкретній операції. Верстат має підтримувати ці методи, забезпечуючи необхідні режими різання, точність і якість обробки.

2) Тип виробництва, де планується використання верстата. Враховуються обсяги, серійність, часові обмеження й особливості процесу, щоб обладнання забезпечувало необхідну продуктивність і ефективність.

3) Розміри робочого простору. Верстат повинен відповідати доступному місцю у цеху та забезпечувати зручність експлуатації.

4) Потужність двигунів. Вона має бути достатньою для виконання різальних операцій та руху інструмента.

5) Кількість встановлених інструментів. Залежно від операцій, потрібно визначити оптимальну кількість інструментів і можливість їх заміни під час роботи.

Для виконання операції 025 (фрезерна обробка з ЧПК) рекомендується використовувати 5-осьовий горизонтально-фрезерний обробний центр HAAS EC-1600ZT-5AX. Вибір цього обладнання обґрунтований його габаритами, потужністю двигуна та високою жорсткістю, які повністю відповідають вимогам до обробки деталей даного типу. Технічні характеристики верстата HAAS EC-1600ZT-5AX наведені в таблиці 2.8, де детально описані його параметри та можливості. Завдяки багатофункціональності обладнання забезпечує виконання

фрезерних, свердлильних, розточувальних операцій, а також обробку складних контурів. Це дозволяє ефективно виконувати фрезерні операції на наступних етапах технологічного процесу, скорочуючи час підготовки деталі до подальшої обробки [4].

Таблиця 2.8 - Основні параметри верстата моделі HAAS EC-1600ZT-5AX

Параметри	Значення
Ходи	
Вісь X, (мм)	1626
Вісь Y, (мм)	1270
Вісь Z, (мм)	1016
Стіл	
Довжина, (мм)	1626
Ширина, (мм)	813
Максимальна вага, (кг)	4536
Інструмент	
Тип	SMTC
Місткість	50+1
Максимальний діаметр інструменту (з порожніми сусідніми осередками), (мм)	102 (254)
Максимальна вага інструменту, (кг)	13,6
Загальні характеристики	
Швидкість шпинделя, (об/хв)	7500
Потужність що передається шпинделем, (кВт)	22,4
Конус	КТ/БТ 50
Об'єм СОР, (л)	360

2.5 Визначення режимів різання та технічне нормування операції

У сучасних умовах фахівці постійно вдосконалюють інструменти та визначають оптимальні режими різання для кожного з них. Ці дані систематизуються у таблицях, що дозволяє швидко застосовувати їх на практиці.

- В операції 025 – використовуються твердосплавна кінцева фреза - 1K212-0400-ХА 1730 [5].

Для зручності огляду первинні данні для визначення режимів різання під час фрезерування шпонкового пазу зведемо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Первинні данні визначення режимів різання шпонкового пазу

Параметри	Властивості
Матеріал	сталь 40Х
Механічні властивості:	
Межа міцності (σ_b), МПа	800–1000
Межа текучості ($\sigma_{0,2}$), МПа	600–800
Відносне подовження (δ), %	10–15
Ударна в'язкість (КСУ), кДж/м ²	≥ 588
Твердість, HRC	28–35
Фреза кінцева 1K212-0400-ХА 1730	
Діаметр, мм	4
Кількість різальних кромок	2
Максимальна глибина різання, мм	4
Кут фаски	45°
Ширина кута фаски, мм	0,13
Діаметр цангового патрону, мм	6
Покриття	AlCrN (алюміній-хром-нітрид)
Використання без охолоджувальної рідини	так

Режими різання визначаємо за допомогою інструменту веб-сайту Sandvik Coromant [6]. Для зручності використання даних режимів різання було зведено до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Режими різання для твердосплавної кінцевої фрези

Індекс фрези	Подача на зуб S_z , мм/зуб	Швидкість різання V_c , м/хв	Частота обертання шпинделя n , об/хв	Хвилина подача S_m , мм/хв
1K212-0400-ХА 1730 (свердління)	0,09	38,1	3030	58,8
1K212-0400-ХА 1730 (фрезерування)	0,1	76,1	6060	196

Розрахунок технічних норм штучно-калькуляційного часу для операції 030 – фрезерування з ЧПК, з урахуванням типу виробництва – середньосерійного. Для обчислення машинного часу використовується така формула:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \text{ (хв)}, \quad (2.5.1)$$

де L - довжина фрезерування (включає в себе припуск);

S - подача, мм/хв;

n - частота обертання шпинделя

$$T_o = \frac{24,52}{200} * 3 = 0,36 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$T_{Ш-К} = \frac{T_{п.з}}{n} + T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (2.5.2)$$

де $T_{п.з}$ – підготовчо-заключний час, хв;

T_o – основний (технологічний) час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{обсл}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{відп}$ – час, необхідний на особисті потреби робітника, хв;

n – кількість деталей у партії.

Підготовчо-заключний час визначимо за формулою:

$$T_{п.з} = T_{п.з.1} + T_{п.з.2}, \quad (2.5.3)$$

де $T_{п.з.1}$ – час на налагодження верстата, $T_{п.з.1} = 15$ хв

$T_{п.з.2}$ – час на отримання і здачу інструмента, $T_{п.з.2} = 5$ хв.

$$T_{п.з} = 15 + 5 = 20 \text{ хв.}$$

Основний час $T_o = 1$ хв.

Допоміжний час T_d визначимо за формулою:

$$T_d = T_{ус} + T_k + T_{вим}, \quad (2.5.4)$$

де $T_{ус}$ – час на установку та зняття деталі, $T_{ус} = 5$ хв;

T_k – час на прийоми керування, $T_k = 2$ хв;

$T_{\text{вим}}$ – час на вимірювання деталі, $T_{\text{вим}} = 2,5$ хв;

Допоміжний час T_d визначимо за формулою 2.5.4:

$$T_d = 1 + 5 + 2 = 8 \text{ хв.}$$

Визначимо оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d = 0,36 + 8 = 8,36 \text{ хв.}$$

Визначимо $T_{\text{обсл}}$ за формулою:

$$T_{\text{обсл}} = T_{\text{оп}} * 3,5\% = 8,36 * 0,035 = 0,29 \text{ хв.}$$

Визначимо $T_{\text{відп}}$ за формулою:

$$T_{\text{відп}} = T_{\text{оп}} * 5\% = 8,36 * 0,05 = 0,41 \text{ хв.}$$

Визначимо штучний час за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}}$$

$$T_{\text{шт}} = 8,36 + 0,29 + 0,41 = 9,06 \text{ хв.}$$

За формулою 2.5.2 штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = \frac{20}{5} + 0,36 + 8 + 0,29 + 0,41 = 13,06 \text{ хв.}$$

2.6 Проектування верстатного пристрою.

Для фрезерування паза 4Н11(+0,075), глибиною 2,7+0,4 мм і довжиною 24+0,25 мм необхідно розробити пристрій із механізованим приводом. Це зменшить кваліфікаційні вимоги до робітника, підвищить ефективність і точність обробки, знизить трудомісткість і витрати робочого часу, а також забезпечить стабільність параметрів операції.

Операція потребує дотримання точності та допусків відповідно до стандартів:

1) Ширина паза $4H11^{(+0,075)}$: допуск 75 мкм відповідає якості IT11 за ГОСТ 25346-82 [7, с. 45].

2) Глибина паза $2,7^{+0,4}$ мм: допуск 400 мкм відповідає якості IT15 за ГОСТ 25346-82 [7, с. 46].

3) Довжина паза $24^{+0,25}$ мм: допуск 250 мкм не є стандартним для якості H12, яка має табличне значення 210 мкм (для номіналу 24 мм) за ГОСТ 25346-82 [7, с. 46].

Точність форми

З попередніх розрахунків аналіз шпоночного паза показав, що допуск на плоскостність складає 160 мкм (14-й ступінь точності), симетрії - 160 мкм (11-й ступінь точності), шорсткість поверхонь - $Ra = 6,3$ мкм. Заготовка масою 0,22 кг виготовлена зі сталі 40Х за ГОСТ 4543-71, має базові циліндричні поверхні $\varnothing 12,4$ мм і $\varnothing 14,4$ мм (IT11), а також торець $\varnothing 37$ мм (IT11). Відхилення форми і розташування визначаються допусками на розміри, наприклад, для $\varnothing 12,4$ мм допуск на циліндричність - 30 мкм (9-й ступінь точності), на биття - 50 мкм (10-й ступінь точності). Шорсткість базових поверхонь відповідає $Ra = 3,2$ мкм за ГОСТ 2789-73.

План виробництва: 3600 деталей за 3 роки, тобто 1200 на рік.

Для виконання цих функцій і з урахуванням вимог до їх результатів, ми досліджуємо наявні технічні рішення. Перевагою є використання перевірених стандартних технічних рішень.

Головними базовими поверхнями обрано дві зовнішні циліндричні поверхні діаметрами 12,4 мм і 14,4 мм. Вони забезпечують обмеження руху заготовки в чотирьох напрямках (два переміщення і два обертання), виконуючи функцію подвійної направляючої бази. Поверхні мають точність IT 11 і шорсткість $Ra = 3,2$ мкм, що забезпечує вільний доступ інструментів до оброблюваних зон.

Опорною базовою поверхнею обрано торець діаметром 37 мм, який обмежує заготовку в одному ступені свободи - переміщенні вздовж осі. Це рішення не заважає доступу ріжучих інструментів. Використання інших торців як

базових може збільшити похибку базування в осьовому напрямку. Порівняння похибок базування наведено для підтвердження доцільності вибору.

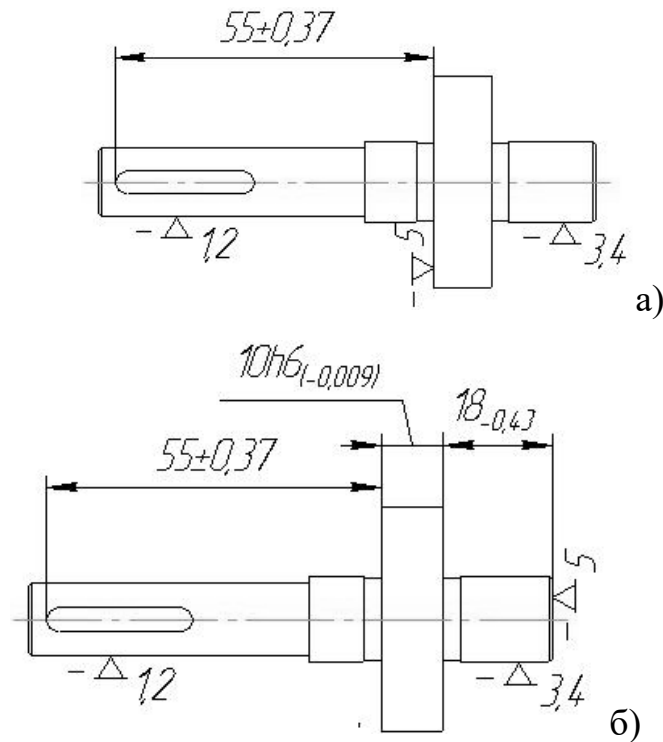


Рисунок 2.6 – Варіанти базування

Основна похибка довжини шпонкової канавки було розраховано в попередньому пункті (див. пункт 2.3). Було вибрано більш пріоритетніший перший варіант базування заготовки.

Для аналізу взаємодії поля збуджуючих сил (ЗС) і поля урівноважуючих сил (ПУС) розробимо візуальну модель збуджуючих сил, враховуючи обрану схему базування. Як показано на рисунку 2.8, компоненти поля збуджуючих сил перебувають не в рівновазі, що вимагає введення додаткових сил фіксації.

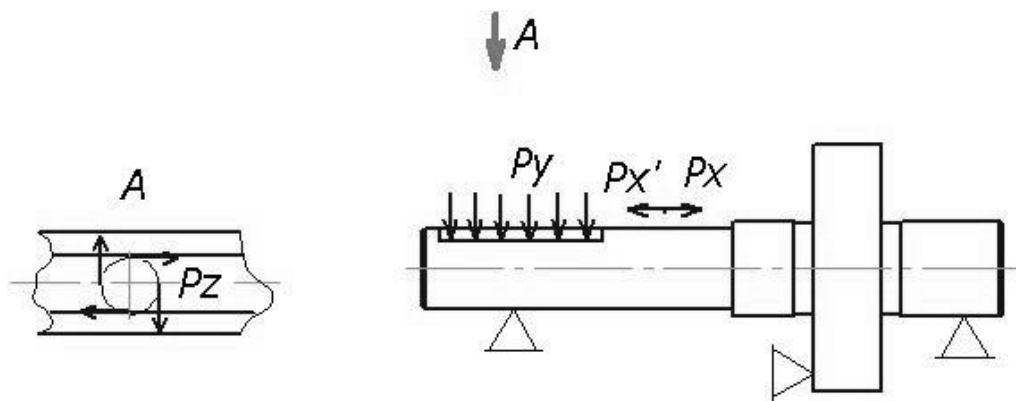


Рисунок 2.8 - Структура поля впливаючих сил (ПВС)

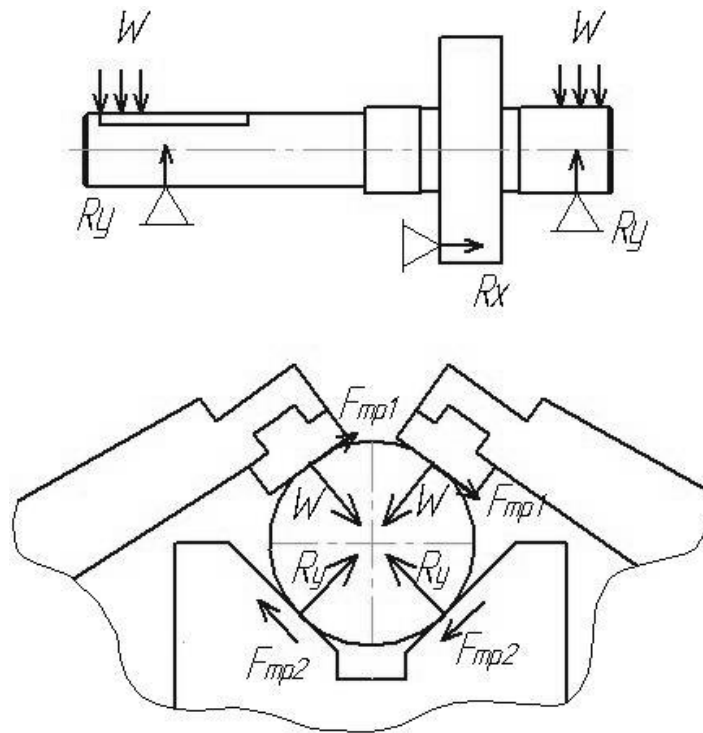


Рисунок 2.9 - Структура поля урівноважуючих сил (ПУС), створена зажимним механізмом

За допомогою рисунків 2.8 і 2.9 можна побачити, що компонента R_x' поля урівноважуючих сил (ПУС) компенсується реакцією R_x ($R_x = R_x'$) (див. таблицю 1.1). Інші компоненти ПУС не перебувають у рівновазі, що вимагає застосування додаткових сил фіксації. Відповідно до вибраної схеми базування, для створення ПУС рекомендується використання важільного зажиму в призмах, як показано на рисунку 2.9.

Цей метод урівноважування має недолік - високі енергетичні витрати на фіксацію. Силкові потоки під час обробки спричиняють згинальні та крутні напруження, але не вимагають високої однорідності силових полів. Тому структуру ПУС можна спростити до локально-дискретної форми, що полегшує конструкцію фіксаційного пристрою. Урівноважувальне поле створюється важільним пристроєм у двох призмах. Напрямок сили фіксації, паралельний стінкам шпоночного пазу, усуває похибку фіксації в цьому напрямку дорівнює нулю.

Сила фіксації усуває зазори, перетворюючи неповні зв'язки на повні, і додає чотири додаткові зв'язки: x' , z , ω_x і ω_x' . Величину сили фіксації W визначають для

забезпечення нерухомості заготовки під дією сили різання P_z і відсутності обертання від сили різання P_x . Розрахункова сила фіксації становить $W_{розр} = 356 \text{ Н}$ $W_{розр}=356\text{Н}$, а фактична $W=Q=411 \text{ Н}$, обчислена через програму «PRIVOD». Розрахунок допусків для компонентів пристрою враховує точність обробки деталі та вплив непаралельності між віссю призми й основою пристрою, що відповідає допуску на симетрію, зазначеному в кресленні. Допустима похибка залежить від цього параметра.

$$\varepsilon \leq T - K_T * \sqrt{(K_{T1} * \varepsilon_3)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{II}^2 + \varepsilon_{II}^2 + (K_{T2} + \varepsilon)^2 + \varepsilon_{поз}^2}$$

де $T = 160 \text{ мкм}$ - допуск симетричності стінок паза;

$K_T=1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення окремих складових від нормального розподілу;

$K_{T1} = 0,8$ – коефіцієнт, який враховується, коли похибка базування не дорівнює нулю (в даному випадку $\varepsilon_6=0$);

$\varepsilon_3=0$ – похибка закріплення заготовки;

$\varepsilon_y=30 \text{ мкм}$ – похибка установки пристосування на верстаті;

$\varepsilon_{II}=0$ – похибка відхилення інструменту;

$\varepsilon_{II}=25 \text{ мкм}$ – похибка, що виникає внаслідок зносу установочних елементів;

$\varepsilon=43 \text{ мкм}$ – середня економічна точність обробки [7];

$K_{T2}=0.6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки;

$\varepsilon_{поз}=10 \text{ мкм}$ – похибка позиціонування;

$$\varepsilon \leq 160 - 1,2 * \sqrt{0^2 + 0^2 + 30^2 + 0^2 + 25^2 + (0,6 * 43)^2 + 10^2} = 102 \text{ мкм};$$

Допуск непаралельності між віссю робочих поверхонь призми та основою пристрою становить $0,05 \text{ мм}$. Заготовка встановлюється на призми 5, закріплені до основи 13. Стиснене повітря ($P = 0,4 \text{ МПа}$) опускає поршень пневмоциліндра, який через важіль 4 фіксує заготовку. Для відкріплення повітря подається у безштокову площину, піднімаючи шток і відводячи важіль. Пристрій

розміщується на верстатному столі, орієнтується по Т-подібному пазу за допомогою шпонок 18 і закріплюється через отвори з пазами шириною 12 мм.

2.7 Висновок

Зауваження, які були сформовані в першому розділі при розгляді базового технічного процесу деталі вал-шестерня 14.01.05, змінено на новий технічний процес. Також було виправлено такі зауваження:

1) впроваджена оптимізація термічної обробки. Було застосовано локальну індукційну закалку зубчастої частини для підвищення продуктивності та зменшення термічних деформацій;

2) було модернізовано верстати та оснащення з метою забезпечення точного базування деталей під час виконання операцій і підвищення точності їх обробки. Застосування нових верстатних пристроїв із механізованим приводом дозволить усунути похибки базування на всіх етапах виробничого процесу;

3) обладнання з ЧПК дало змогу відійти від системи автоматичного вимірювання параметрів, адже автоматизовані процеси більш точні та не потребують такого контролю;

4) виконано техніко-економічний аналіз визначення оптимального способу виготовлення заготовки, в результаті чого обрано технологічно доцільний метод її отримання;

5) в пункті 2.5 було проведено розрахунок режимів різання та нормування операції.

6) В пункті 2.6 було спроектовано верстатний пристрій для фрезерування шпонкового пазу.

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА ФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ

3.1 Актуальність, мета та методи дослідження

Розробка верстатних пристроїв для базування та закріплення заготовок на фрезерній операції відіграє важливу роль у забезпеченні високої точності обробки, стабільності технологічного процесу та підвищенні продуктивності виробництва. Вдало підібрана конструкція пристрою та оптимізація його параметрів істотно впливають на ефективність виконання фрезерної операції, скорочення часу обробки та покращення якості готових виробів.

У сучасному машинобудуванні важливо не лише досягати високої точності обробки, а й забезпечувати економічність технологічних процесів. Це вимагає використання передових підходів у проектуванні, таких як структурно-параметрична оптимізація, яка включає застосування інженерного аналізу, математичних розрахунків та спеціалізованих програмних засобів.

Одним із основних етапів оптимізації є статичний аналіз [8], що дозволяє оцінити жорсткість і міцність конструкції. Під час роботи пристрій зазнає значних навантажень, які спричиняють деформації та напруження в його елементах. Статичний аналіз допомагає виявити критичні зони, підвищити надійність конструкції та зменшити її деформації, що особливо важливо для забезпечення геометричної точності обробки.

Важливим інструментом оптимізації є топологічна оптимізація, що дозволяє ефективно використовувати матеріал при проектуванні конструкції. Цей підхід дає змогу мінімізувати масу пристрою, зберігаючи його жорсткість і міцність. Завдяки цьому знижується енергоспоживання та полегшується експлуатація. Топологічна оптимізація сприяє створенню економічно вигідних і технологічно досконалих конструкцій, адаптованих до специфічних умов експлуатації.

Системний підхід до структурно-параметричної оптимізації дозволяє вирішити низку важливих завдань:

1. Підвищення точності базування та закріплення заготовки.
2. Забезпечення стійкості до статичних і динамічних навантажень.
3. Зменшення витрат на виготовлення й експлуатацію пристрою.
4. Оптимізація габаритних параметрів конструкції.

Таким чином, структурно-параметрична оптимізація є багатоетапним процесом, що об'єднує проектування, інженерний аналіз і сучасні методи вдосконалення конструкції. Використання статичного аналізу разом із топологічною оптимізацією дозволяє створювати ефективні пристрої, які відповідають сучасним вимогам точності, продуктивності та економічності фрезерних операцій. [9], [10], [11].

3.2 Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та топологічного аналізу

Для базування та фіксації деталі 14.01.05 під час обробки шпонкового паза валу-шестірні на операції фрезерна (номер 030), що виконується на фрезерному верстаті моделі HAAS EC-1600ZT-5AX, було розроблено спеціальний верстатний пристрій із пневматичним приводом. Такий підхід дозволяє покращити точність обробки завдяки підвищеній точності базування та достатній силі закріплення заготовки під час фрезерування (детальніше див. пункт 2.6). Для проведення статичного аналізу системи «пристрій-заготовка» створено її твердотільну модель за допомогою програмного забезпечення (див. рисунок 3.1).

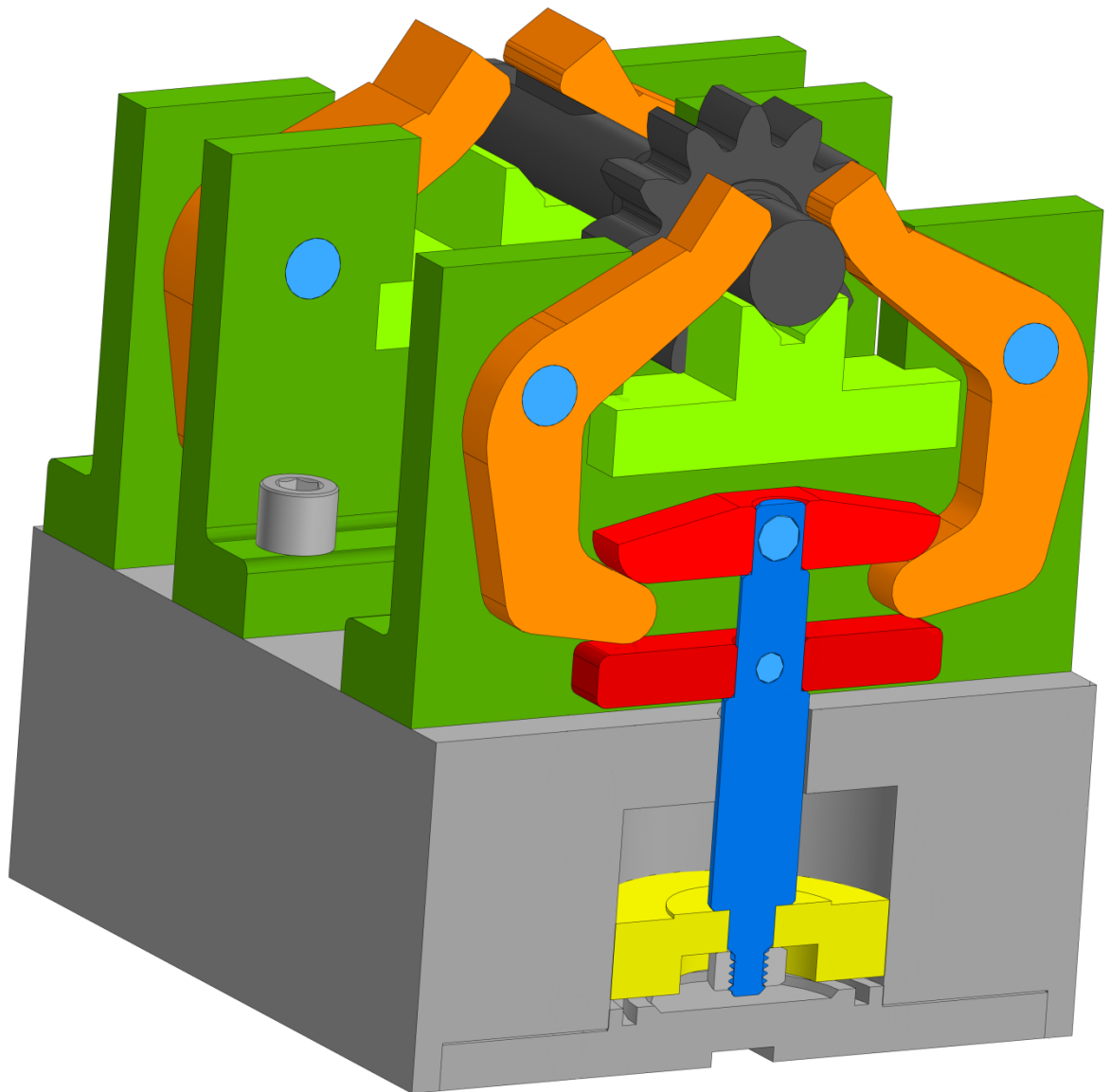


Рис. 3.1 - 3D модель системи «пристрій-заготовка» в розрізі

Як видно з рисунка, до моделі досліджуваної системи включено лише основні елементи, які забезпечують функції базування та закріплення, або є ключовими складовими замкнутого силового ланцюга, що працює в системі пристрою разом із заготовкою.

Експертний аналіз показав, що найбільш слабким місцем є цей елемент верстатного пристрою в якому розташовані елементи прихвату. Тому досліджувався не весь верстатний пристрій, а його фрагмент (рисунок 3.2).

Після завершення створення 3D моделі її спрощену модель було імпортовано до модуля «Геометрія» програмного середовища Ansys Workbench [12] (див. рисунок 3.2). Спрощення моделі було застосовано, оскільки затискні елементи мають подібну структуру та властивості. Це дозволило зменшити кількість деталей, що обробляються програмою, і оптимізувати розрахунки.

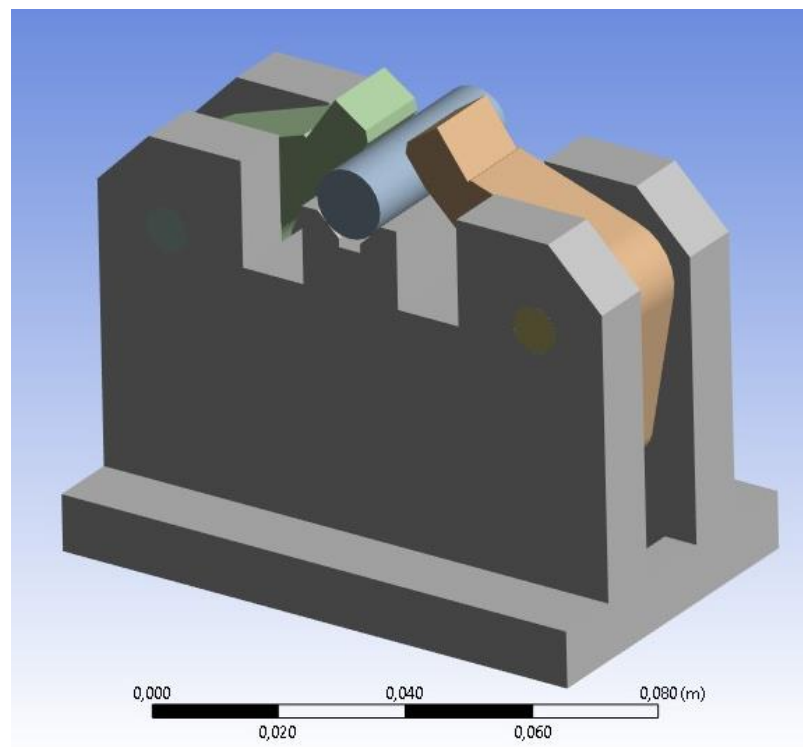


Рис. 3.2 - Імпорт спрощеної моделі до програмного середовища Ansys Workbench

Для отримання коректних результатів розрахунків необхідно задати граничні умови, що враховуються під час аналізу. До них належать фізичні та механічні характеристики матеріалів компонентів системи, параметри контактних поверхонь (наприклад, тертя ковзання, тертя кочення, відсутність тертя тощо), а також статичні навантаження, що діють у системі.

У досліджуваній моделі використовуються властивості матеріалів, задані за замовчуванням у програмі Ansys Workbench. Усі матеріали моделюються як конструкційні середньо-вуглецеві сталі з межею міцності 450 МПа та модулем текучості 250 МПа.

Контактні умови задано для таких пар поверхонь: між циліндричною поверхнею заготовки і призмою пристрою (див. рисунок 3.3), між циліндричною поверхнею заготовки і важілем (див. рисунок 3.4). Ці контакти моделюються як ковзне тертя (Frictional) із коефіцієнтом тертя 0,2. Контактні поверхні між важілем та віссю важіля (див. рисунок 3.5) моделюються як тертя ковання (Frictional) із коефіцієнтом тертя 0,02.

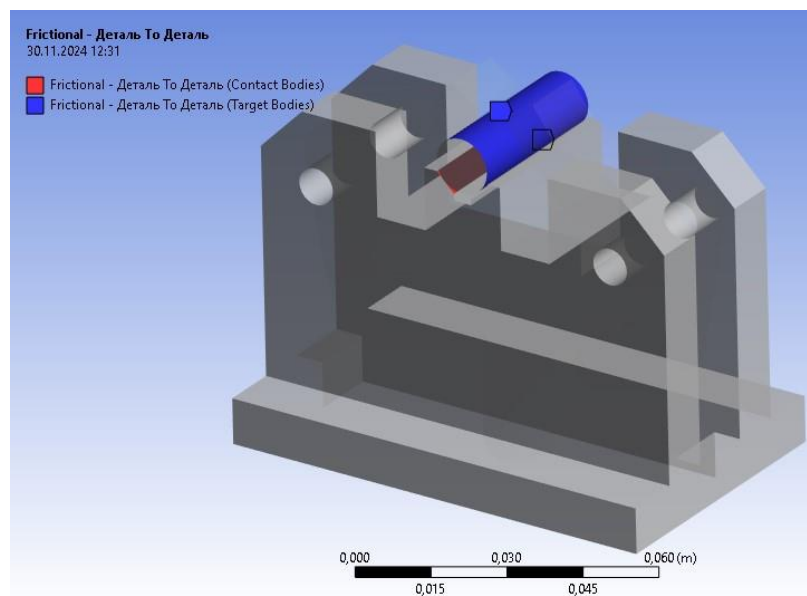


Рисунок 3.3 - Поверхні контакту циліндричної поверхні зі призмою

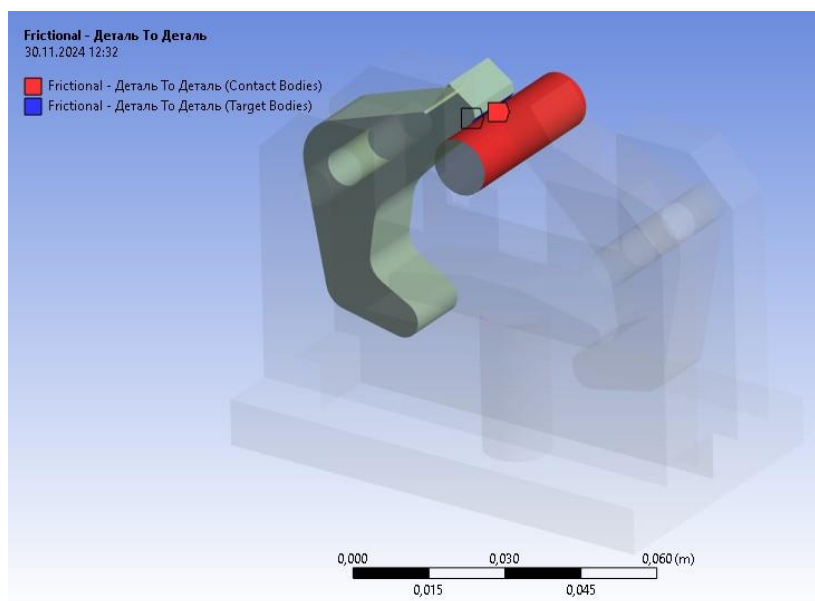


Рисунок 3.4 - Поверхні контакту циліндричної поверхні заготовки та важіля

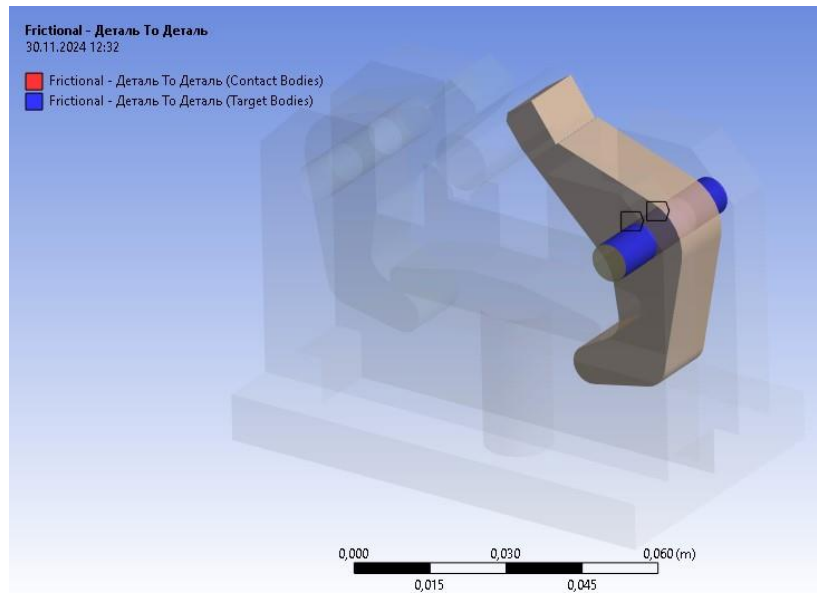


Рисунок 3.5 - Поверхні контакту важіля та вісі важіля

Взаємодія поверхонь важіля та стійки (див. рисунок 3.6), важіля та коромисла (див. рисунок 3.7), характеризується відсутністю тертя з коефіцієнтом тертя що дорівнює 0

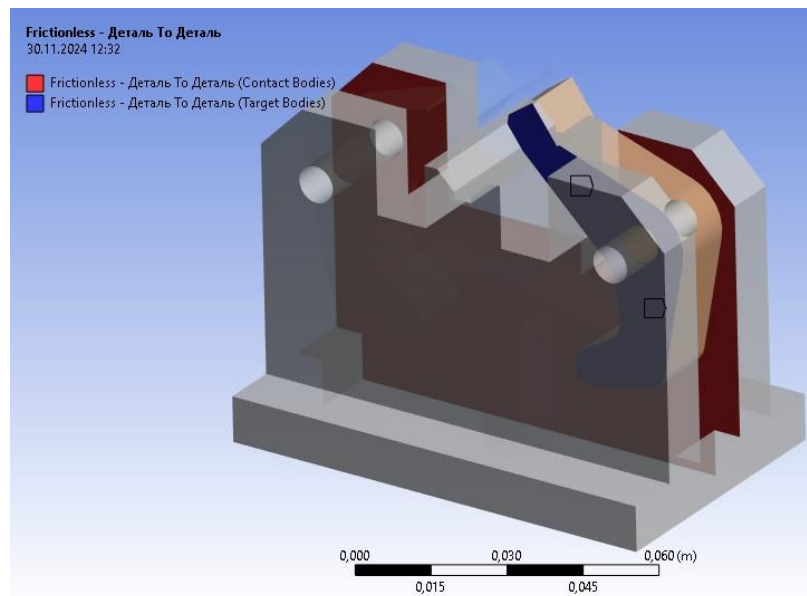


Рисунок 3.6 - Поверхні контакту важеля та стійки

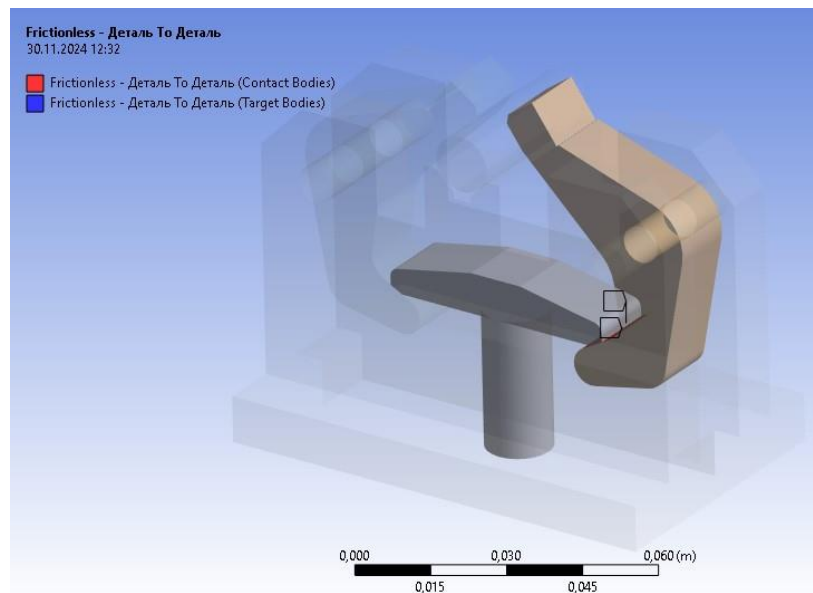


Рисунок 3.7 - Поверхні контакту важіля та коромисла

Побудову скінченної моделі система виконує в автоматичному режимі: у результаті для даного проєкту було створено 3890 елементів, мінімальна довжина грані 0,6 мм (див. рисунок 3.8).

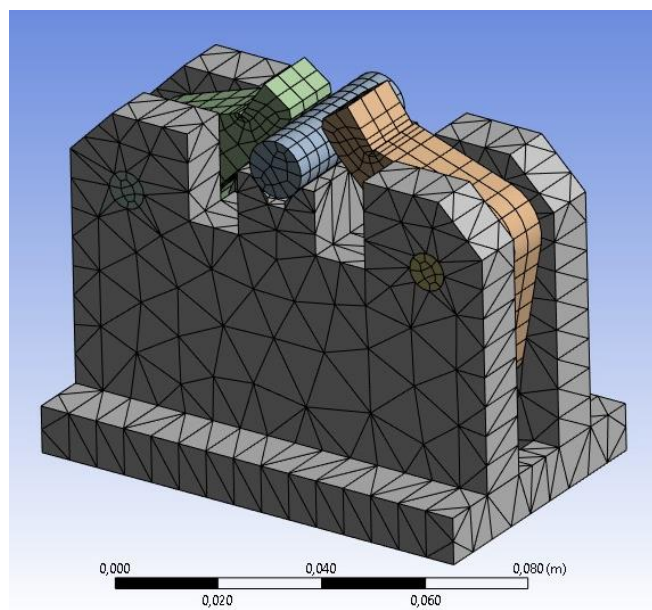


Рисунок 3.8 - Модельна сітка елемента

Для проведення розрахунків геометричну модель необхідно закріпити у просторі для цього було застосовано фіксована опора (Fixed support). У цьому випадку було вибрано нижню поверхню моделі як зону фіксації (див. рисунок 3.9).

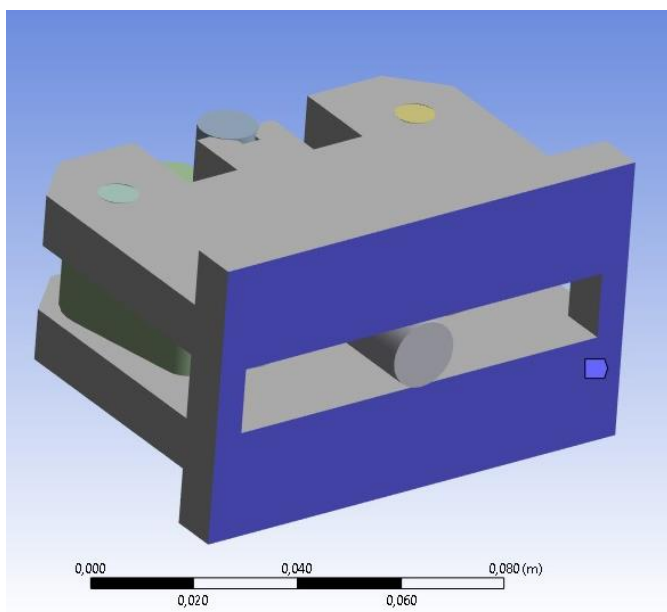


Рисунок 3.9 - Схема жорсткої фіксації моделі

Під час обробки поверхні шпонкового паза в процесі фрезерування на деталь впливає тангенціальна складова сили різання P_z , яка створює крутний момент і прагне повернути деталь у змінних кулачках навколо її осі. Додатково на деталь діє радіальна складова сили різання P_y , яка спричиняє осьове навантаження, спрямоване до центру деталі.

Задаємо силу у вигляді вектора сили (Force), прикладеного до поверхні штоку (див. рисунок 3.10). Сила на штоку, яка діє зі сторони приводу закріплення, становить $Q=410\text{Н}$ і задається як вектор, спрямований до низу (див. рисунок 3.10).

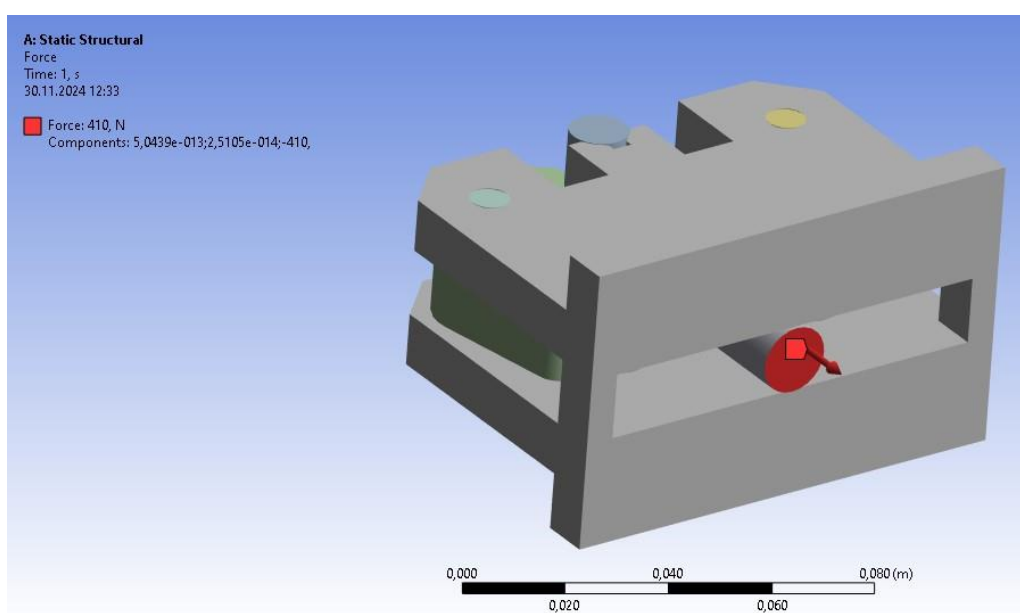


Рисунок 3.10 - Схема прикладення дії сили

В результаті дій всіх заданих на модель отримуємо епюри переміщення (Total Deformation), та напружень (Equivalent Stress), (див. рисунок 3.11, 3.12).

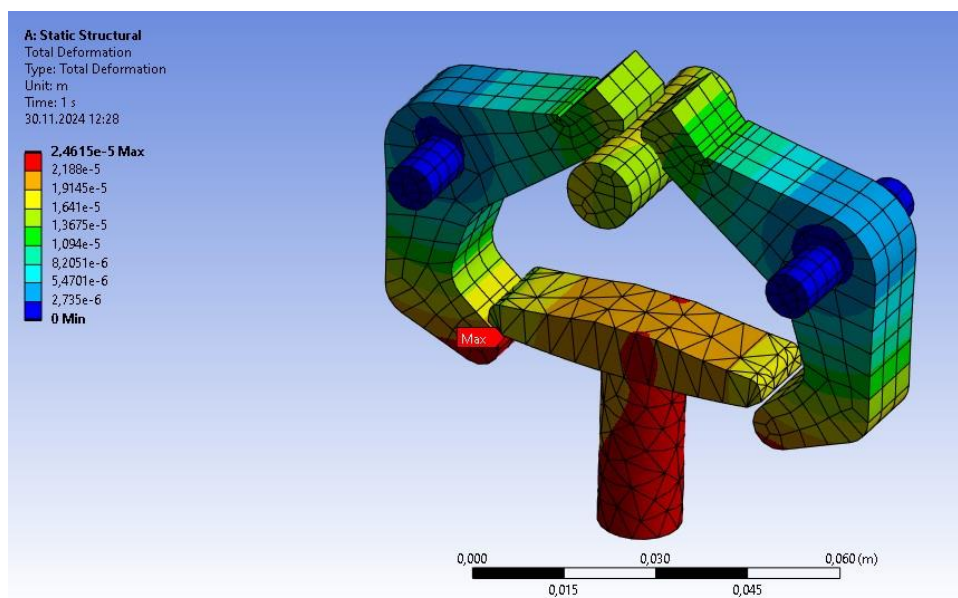


Рисунок 3.11 - Епюра деформації

В результаті статичного розрахунку було отримано (див. рисунок 3.11), сила діє на шток і в результаті цього ми отримуємо переміщення (кінематику), більш за все виражено на штоці пристрою і становить приблизно 20 мкм, але найбільше переміщення знаходиться на контактній поверхні між коромислом що тисне на важіль, що дорівнює 24 мкм.

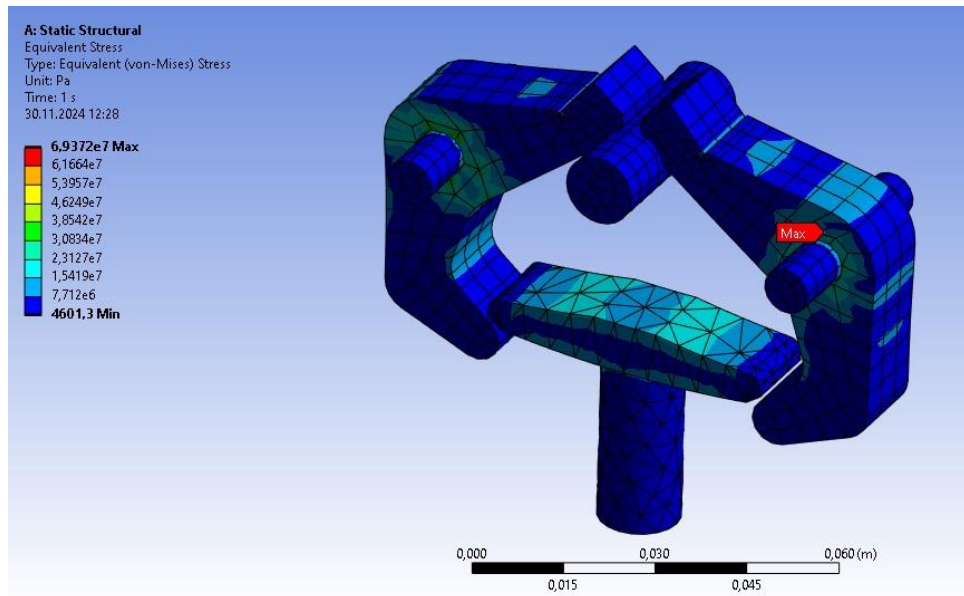


Рисунок 3.12 - Епюра внутрішніх напружень

При аналізі епюри внутрішніх напружень (див. рисунок 3.12, 3.13) можна спостерігати, що при переміщенні штока та коромисла сили діють на важіль, що в свою чергу діють на вісь важіля. Тому найбільш напружена частина цього пристрою є саме вісь і складає $W=69$ МПа. Межа текучості сталі $\sigma=250$ МПа. Отже, нас задовольняє ці умови, бо напруження (W) менше межі текучості сталі (σ).

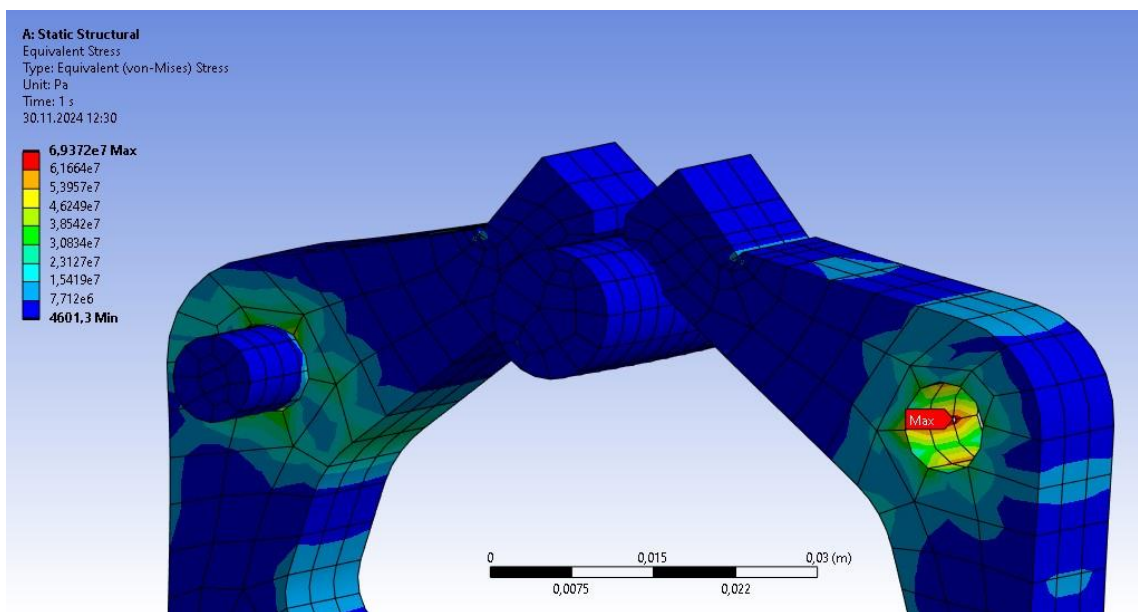


Рисунок 3.13 - Епюра внутрішніх напружень

З попередньої епюри, зрозуміло що ми маємо запас міцності деталі важіль в 3,5 рази. Об'єктом дослідження топологічної оптимізації є важіль (див. рисунок 3.14).

Задаємо контактні умови для поверхонь: циліндричного отвору під вісь та прижимної поверхні до заготовки. Для цих поверхонь задана умова жорсткого з'єднання (Fixed support) (див. рисунок 3.15). Навантаження спрямовано перпендикулярно до площини, що сприймає навантаження від коромисла $Q=200\text{ Н}$ (див. рисунок 3.16).

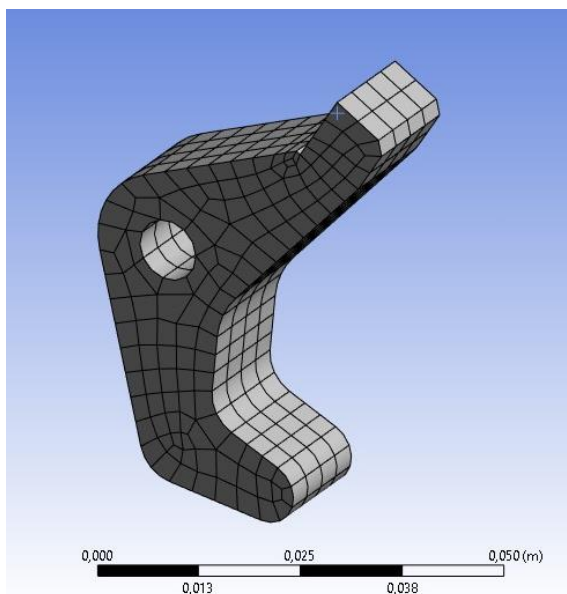


Рисунок 3.14 - Імпортована модель важіля до середовища Ansys Workbench

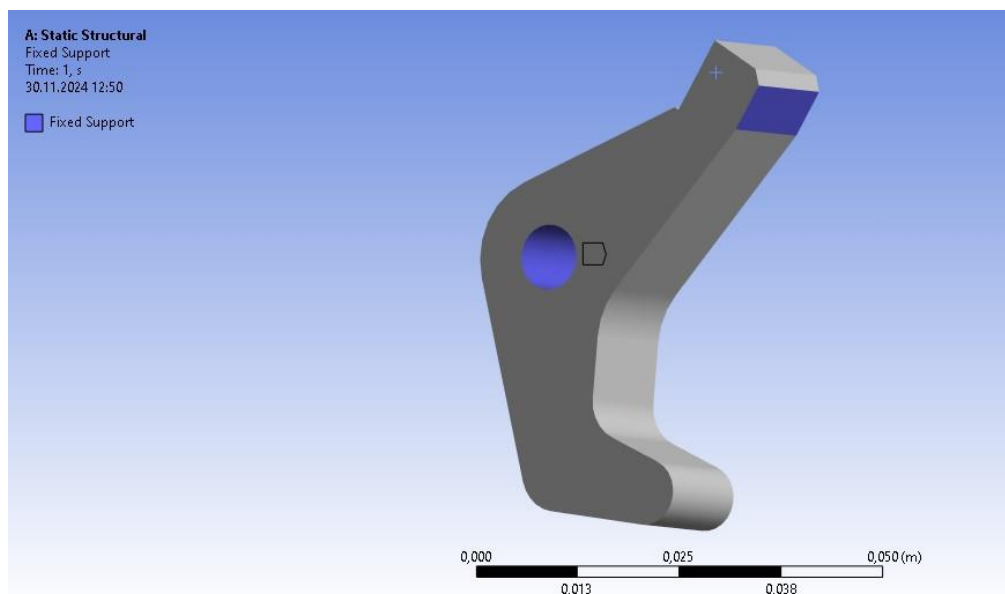


Рисунок 3.15 - Схема жорсткої фіксації деталі

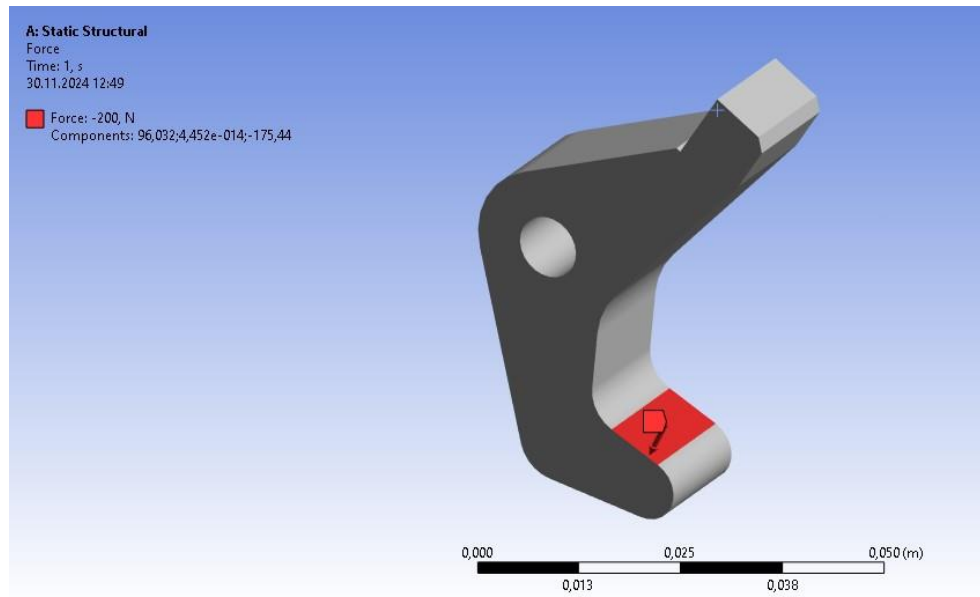


Рисунок 3.15 - Схема прикладення дії сили

В результаті статичного аналізу (див. рисунок 3.16), сила прикладена перпендикулярно до площини яка взаємодіє з коромислом (див. рисунок 3.15) і в результаті цього ми отримуємо переміщення, що знаходиться на кінці важіля і дорівнює 3,5 мкм

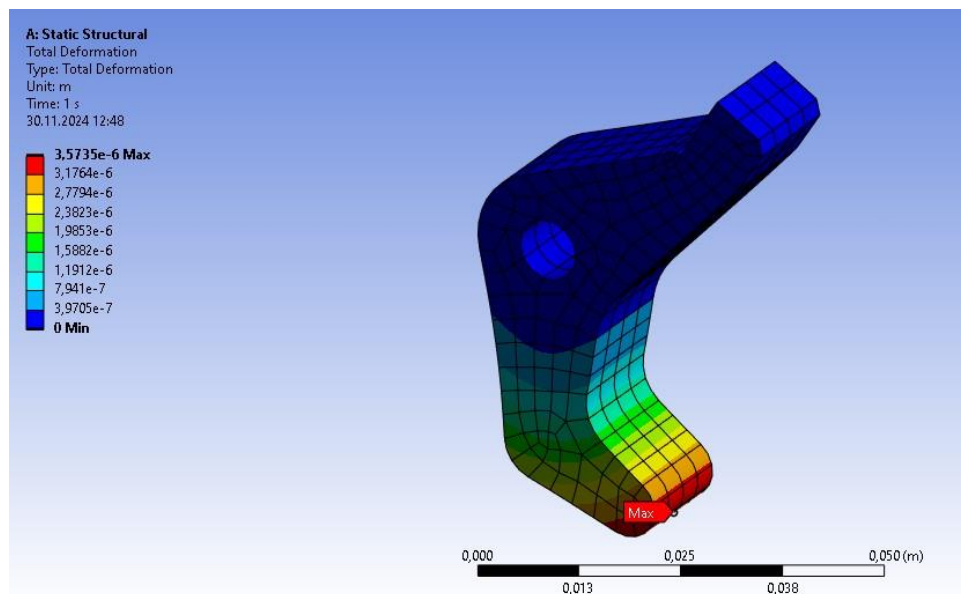


Рисунок 3.16 - Епюра переміщень

В результаті прикладених сил до тіла, система показує, що максимальні напруження виникають в іншому місці (див. рисунок 3.17) і складає 11 МПа.

Цей показник свідчить про значний запас міцності деталі, який можна ефективно використати.

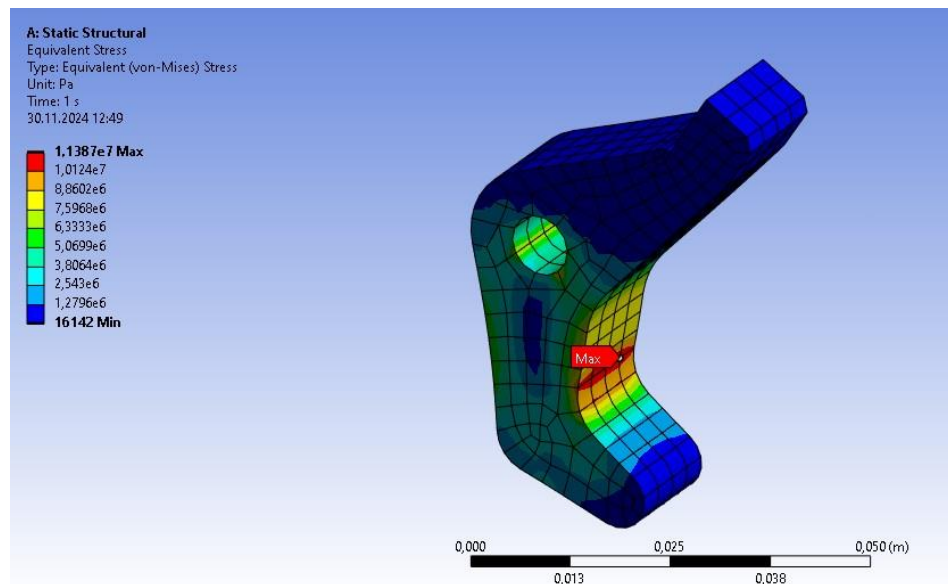


Рисунок 3.17 - Епюра навантаження

За допомогою топологічного аналізу можна визначити оптимальну геометрію конструкції, яка забезпечує необхідну жорсткість і міцність при мінімальній масі. Це дозволяє раціонально використовувати матеріали, зменшити енергоспоживання та покращити експлуатаційні характеристики верстатного пристрою, зберігаючи його функціональність та відповідність вимогам технологічного процесу.

За допомогою програми задаємо певні обмеження поверхонь (див. рисунок 3.18) ті які можна перепроєктувати (Design Region: Topology), та виконавчі поверхні які потрібно виключити із модернізації (Exclusion Region).

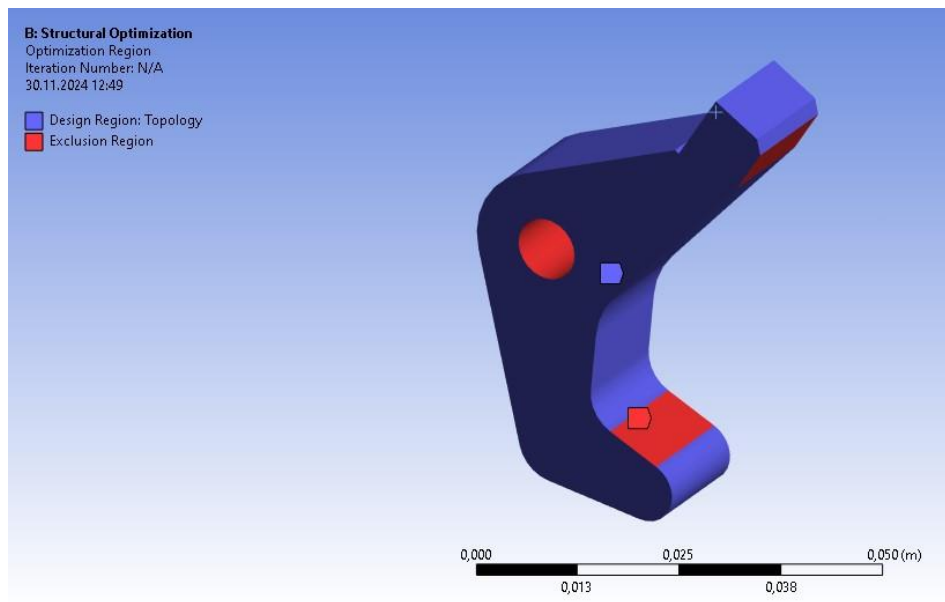


Рисунок 3.18 - Характеристика поверхонь структурної оптимізації

У результаті отримано епюру псевдо-густини тіла (див. рисунок 3.19). На рисунку видно, що в областях, де утворилися порожнини, спостерігаються високі значення запасу міцності. Це свідчить про те, що ці ділянки конструкції можуть бути оптимізовані без ризику втрати її цілісності або функціональності.

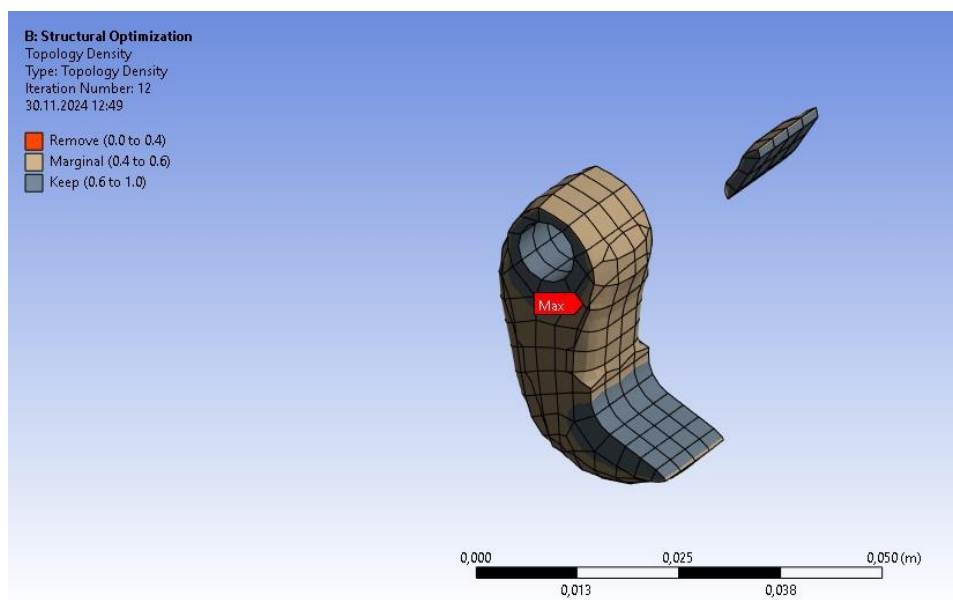


Рисунок 3.19 - Епюра псевдо-густини

У результаті аналізу епюри псевдо-густини було запропоновано нову конструкцію (див. рисунок 3.20), яка є більш економічно вигідною та ефективною [10]. Завдяки застосуванню методу топологічного аналізу вдалося зменшити вагу елемента на 40%, що є значним досягненням. Маса старої деталі становила 104 г, тоді як нова конструкція важить лише 60 г. Крім того, запропонована модель відкриває можливість використання сучасних, економічних і більш рентабельних методів виготовлення, що робить цей підхід більш перспективним для реалізації.

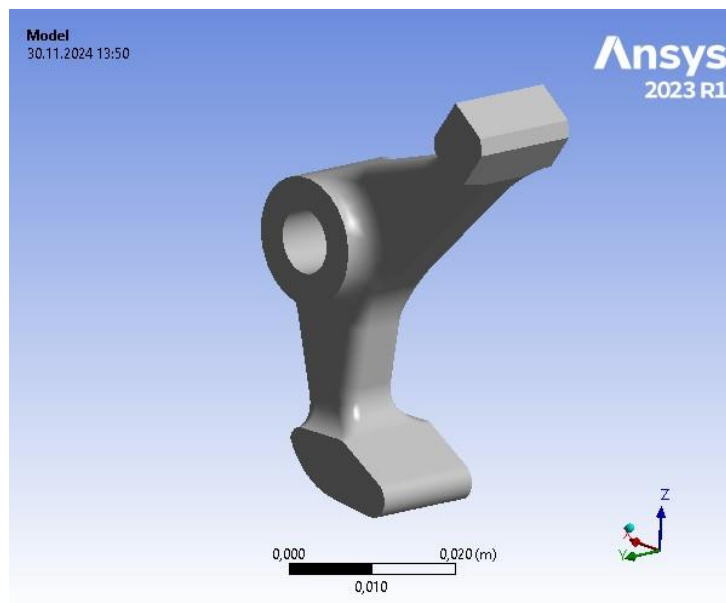


Рисунок 3.20 - Нова конструкція важіля

Отримавши нову деталь, її також необхідно піддати розрахункам, щоб перевірити її відповідність заданим умовам експлуатації. Аналіз переміщення (кінематика компонента): сила, що діє на конструкцію, може викликати переміщення, особливо в найбільш навантажених ділянках. Аналіз епюри внутрішніх напружень дозволить виявити найбільш критичні зони, де концентрація напружень є максимальною. Розрахунки повинні підтвердити, що напруження не перевищують межу текучості матеріалу, як це було визначено в попередніх дослідженнях.

З рисунку 3.21 та 3.22 можна побачити, що переміщення збільшилося і склало 10 мкм, в первинній моделі 3,5 мкм. Це показує що переміщення збільшилося майже в 3 рази, але показник не критичний. Напруження нової

моделі становить 39 МПа, старої 11 МПа. Напруження також збільшилися в найтоншому місці, але межу текучості матеріалу в 250 МПа не перевищує, навіть є запас міцності.

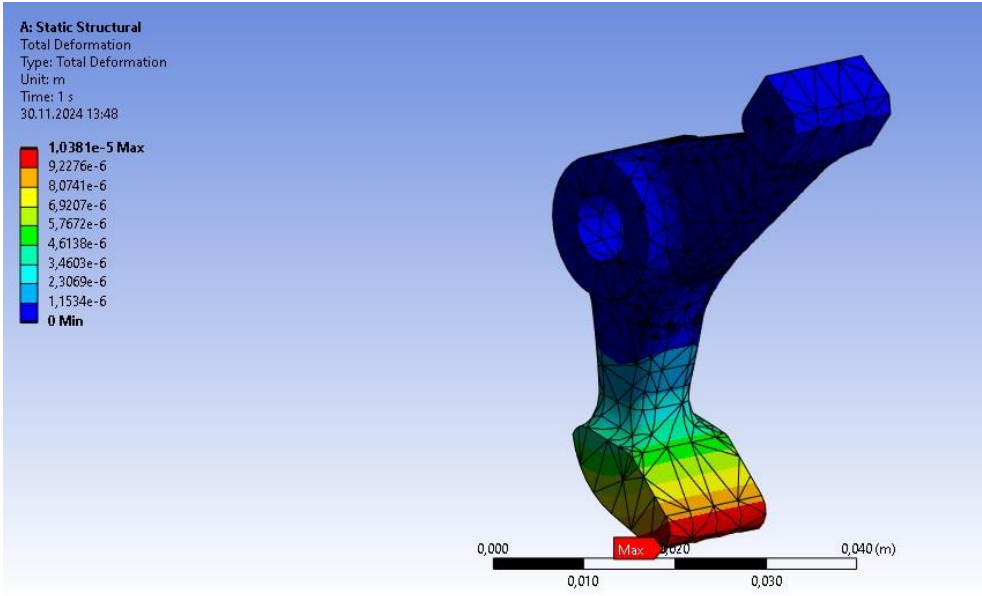


Рисунок 3.21 - Епюра переміщення модернізованої деталі

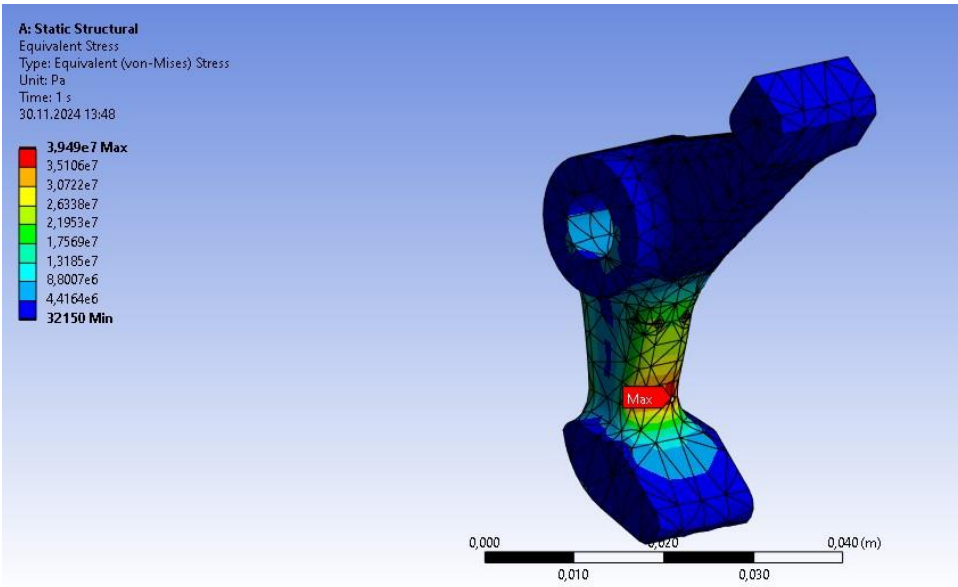


Рисунок 3.22 - Епюра навантаження удосконалена деталь

3.3 Висновок

У цьому розділі було проведено статичний аналіз первинної та виконано топологічну оптимізацію, що дозволило створити нову конструкцію з покращеними характеристиками. Завдяки зменшенню маси на 40% (з 104 г до 60 г), новий елемент став значно легшим, що сприяє зниженню матеріаломісткості, зменшенню енергоспоживання при виготовленні та експлуатації, а також покращенню загальної екологічної ефективності виробу.

Оптимізована конструкція зберігає необхідну жорсткість і міцність, при цьому відкриваючи можливості використання сучасних економічних методів виробництва. Результати статичного аналізу підтвердили її відповідність експлуатаційним вимогам: попри збільшення переміщень (з 3,5 мкм до 10 мкм) і напружень (з 11 МПа до 39 МПа), усі показники залишаються в межах допустимих значень, не перевищуючи межу текучості матеріалу (250 МПа), що забезпечує значний запас міцності.

Отримана конструкція поєднує легкість, надійність і економічну доцільність, демонструючи ефективність топологічної оптимізації як інструменту інженерного дизайну. Завдяки можливості адаптації до сучасних виробничих процесів, ця модель має великі перспективи для впровадження у практику, забезпечуючи високі стандарти продуктивності та економії ресурсів.

Результатом аналізу та дослідження можна сказати, конструкція верстатного пристрою, що спроектована в цій роботі п. 2.6 є прийнятною та може бути використана в виробництві.

ВИСНОВКИ

1. За результатами проведеного аналізу базового технологічного процесу деталі «вал-шестерня 14.01.05», було виявлено наступні недоліки: використання застарілого обладнання та інструменту, мала кількість автоматизації. В результаті чого було сформовані рекомендації щодо вдосконаленого технологічного процесу.

2. Було розроблено перспективний технологічний процес виготовлення деталі, враховуючи виявлені недоліки та запропоновані рекомендації для їх усунення.

3. Виконано статичний і топологічний аналіз моделі верстатного пристрою системи (пристрій-заготовка) для базування та закріплення заготовки під час фрезерної операції. Результати дослідження підтверджують правильність прийнятих проектних рішень і демонструють можливість ефективного використання запропонованої конструкції верстатного пристрою в умовах реального виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / за ред. О.В. Горика. Харків, 2017. 448 с.
2. Паливода, Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві: навчально-методичний посібник / Паливода Ю. Є., Дячун А. Є. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
3. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. Київ: НУХТ, 2018. 195 с.
4. Токарний верстат с ЧПУ Gildemeister CTX 400 S2-ID14557. URL: <https://vitcompany.com.ua/stanki/tokarnye-stanki/stanki-tokarnye-s-chpu/tokarnyy-standok-s-chpu-gildemeister-ctx-400-s2-id14557.html> (дата звернення: 05.06.2023).
5. 1K212-0400-XA 1730 - CoroMill® Dura solid carbide end mill for general machining - Sandvik Coromant. *Sandvik Coromant*. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/product-details?c=1K212-0400-XA%20%20%20%20%20%20%20%201730> (date of access: 08.12.2024).
6. Sandvik Coromant. *Sandvik Coromant*. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools/coroplus-toolguide/cutting-speed-calculator> (дата звернення: 08.12.2024).
7. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
8. Ansys Mechanical - Software for Structural Engineering. *Ansys*. URL: <https://www.ansys.com/products/structures/ansys-mechanical> (дата звернення: 08.12.2024).
9. Multi-objective topology optimization of additive manufactured alternator bracket. *sciencedirect*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785320379190> (дата звернення: 08.12.2024).

10. Designing a lightweight minisatellite with topology optimization and additive manufacturing. *sciencedirect*.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323960205002338>

(дата звернення: 08.12.2024).

11. Digital dynamic modeling and topology optimized design of shell face mills. *sciencedirect*.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1755581724001573> (дата

звернення: 08.12.2024).

12. Ansys Workbench. *Ansys*. URL: <https://www.ansys.com/products/ansys-workbench> (дата звернення: 08.12.2024).