

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита G9-PL-001» із застосуванням верстатів з ЧПК
Назва теми

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.25.11.ПЗ

Виконав студент <u>2</u> курсу група <u>ПМТм-24-1</u> Шифр	 Підпис	<u>Сергій МУЛЯР</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Керівник <u>канд. техн. наук, доцент</u> Науковий ступінь, звання	 Підпис	<u>Володимир МИЛЬКО</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Нормоконтролер <u>канд. техн. наук, доцент</u>	 Підпис	<u>Сергій БИСЬ</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
До захисту допускаю: Завідувач кафедри <u>технології машинобудування</u> Назва	 Підпис	<u>Віталій ТКАЧУК</u> Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
Дата « » 2025		

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури

Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

 Віталій ТКАЧУК

2 . 09 . 2025

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Муляра Сергія Анатолійовича

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита G9-PL-001» із застосуванням верстатів з ЧПК

2 Керівник роботи к.т.н., доцент Володимир МИЛЬКО

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 серпня 2025 р. № 65

2 Термін подання студентом роботи на кафедру 15 грудня 2025

3 Вихідні дані до проекту (роботи) кресленик деталі «Плита» та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 2 тис. шт.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Дослідницький розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик деталі із 3D моделлю (1 лист A2); кресленик заготовки (1 лист A2); графотехнологія (1 лист A1); кресленик генерування керуючої програми (1 лист A1); кресленик верстатного пристрою (1 лист A1); кресленик контрольного пристрою (1 лист A1); кресленик САЕ - аналізу деталі (1 лист A1)

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання
2.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	01.10.2025	
2 Технологічний розділ	01.11.2025	
3 Конструкторський розділ	20.11.2025	
4 Дослідницький розділ	10.12.2025	
5 Охорона праці	15.11.2025	

Студент


Підпис

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Сергій МУЛЯР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Володимир МИЛЬКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

студента Муляра С.А.

Тема роботи: «Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита G9-PL-001» із застосуванням верстатів з ЧПК»

Тема кваліфікаційної роботи та її зміст відповідають вимогам до кваліфікаційних робіт магістрів.

Муляр С.А. розробив технологічний процес механічного оброблення деталі, обґрунтував метод виготовлення заготовки, спроектував верстатний та контрольний пристрої, зробив аналіз напружено-деформованого стану деталі «плита» із застосуванням SolidWorks Simulation.

При розробленні технологічного процесу виготовлення деталі Муляр Сергій застосував сучасне обладнання з ЧПК, сучасні різальні інструменти провідної фірми Sandvik, режими різання рахував як за традиційною методикою, так і за допомогою on-line калькулятора Sandvik Coromant CoroPlus.

В розділі «Охорона праці» Муляр С.А. провів дослідження ергономіки робочого місця інженера – технолога та показники мікроклімату, рівня шуму, освітлення, електробезпеки на зазначеному робочому місці.

В якості зауважень, можна вказати на те, що вертикально-свердлувальну операцію 050 можна було б замінити на свердлувальну операцію з ЧПК.

В цілому кваліфікаційна робота магістра Муляра С.А. виконана на хорошому інженерному рівні. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки «Відмінно».

РЕЦЕНЗЕНТ

(прізвище, ім'я по батькові, посада, місце роботи)

..17... грудня..... 2025 р.

..... (підпис)

к.т.н., доц. каф. АМ
Баранів О.В.

Завідувачу кафедри ТМ
Канд. техн.наук, доц. Ткачуку В.П.

Муляра С.А.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТА, 2 курс, групи ПМТм-24-1

ЗАЯВА

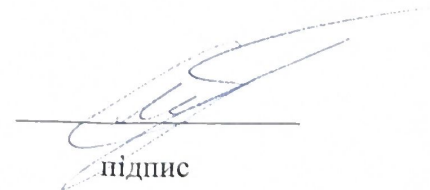
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

12.12.25

дата


підпис

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита G9-PL-001» із застосуванням верстатів з ЧПК

В кваліфікаційній роботі магістра (КРБ) представлено розроблений технологічний процес оброблення деталі «Плита G9-PL-001». Плита виготовляється із легованої сталі 40X, ДСТУ 7806:2015. В роботі проаналізовано два методи отримання заготовки – полосовий прокат та штампування.

В технологічному маршруті виготовлення деталі запропоновано як оброблення деяких елементів деталі на універсальних верстатах, так і на сучасних верстатах з ЧПК фірми HAAS. При виборі різального інструменту та розрахунку режимів різання було задіяне як традиційну методику, так і сучасний калькулятор Sandvik Coromant CoroPlus.

Спроектовано два пристрої – верстатний для закріплення заготовки при чорновому фрезеруванні на універсальному фрезерному верстаті та контрольний для контролювання симетричності пазу відносно осі отворів.

В деталі «плита» було проаналізовано напружено-здеформований стан поверхні, оскільки деталь корпусна та знаходиться під дією навантаження.

В розділі «Охорона праці» було досліджено ергономіку робочого місця інженера – технолога та показники мікроклімату, рівня шуму, освітлення, електробезпеки на вказаному робочому місці.

Автор роботи:

Сергій МУЛЯР

2025 р.

/Підпис/

Дата

ANNOTATION

Topic of the work: Development of a technological process for manufacturing the “G9-PL-001 plate” part using CNC machines

This master's thesis develops a technological process for the mechanical processing of the “G9-PL-001 plate” part. The plate is made of alloy steel 40X, DSTU 7806:2015. The thesis analyzes two methods of obtaining the blank: strip rolling and stamping.

The technological route for manufacturing the part proposes both machining some elements of the part on universal machines and on modern HAAS CNC machines. When selecting cutting tools and calculating cutting modes, both traditional methods and the modern Sandvik Coromant CoroPlus calculator were used.

Two devices were designed: a machine tool for securing the workpiece during rough milling on a universal milling machine and a control device for checking the symmetry of the groove relative to the axis of the holes.

The stress-strain state of the surface was analyzed in the “plate” part, since the part is a body part and is under load.

In the “Occupational Safety” section, the ergonomics of the engineer-technologist's workplace and the indicators of microclimate, noise level, lighting, and electrical safety at the specified workplace were studied.

Author of the work:

Sergey MULYAR

2025

/Signature/ Date

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Аналіз об'єкта виробництва	11
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі	15
1.3 Визначення типу і організаційної форми виробництва	18
2.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу	21
2.2 Вибір виду і способу отримання заготовки	21
2.3 Вибір технологічних баз	30
2.4 Вибір технологічного маршруту оброблення деталі	31
2.5 Розроблення технологічних операцій	37
2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку	44
2.7 Розрахунок та вибір режимів різання	50
2.8 Нормування технологічного процесу механічного оброблення	65
2.9 Генерування керуючої програми оброблення на верстаті	69
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	75
3.1 Проектування верстатного пристрою для закріплення деталі при фрезеруванні площини в розмір 61h14	75
3.1.1 Принцип роботи пристрою	75
3.1.2 Вибір основних елементів пристрою	75
3.1.3 Розрахунок сил затискання і основних елементів приводу	76
3.1.4 Розрахунок деталей пристрою на міцність	81
3.1.5 Розрахунок пристрою на точність	84
3.1.6 Розроблення технічних вимог до пристрою	88
3.1.7 Питання техніки безпеки при роботі із пристроєм	89
3.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	90
3.2.1 Розроблення схеми вимірювання	90

3.2.2 Розрахунок пристрою на точність	91
4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	93
4.1 Аналіз твердотільної моделі деталі «Плита PL-25-001» з використанням SolidWorks Simulation	93
5. ОХОРОНА ПРАЦІ	98
5.1 Ергономічні вимоги до робочого місця	98
5.2 Виробнича безпека	100
ВИСНОВКИ	106
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	107
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Машинобудування — одна з ключових ланок економіки будь-якої промислово розвиненої держави. Воно забезпечує технічну базу для більшості галузей — від енергетики та транспорту до сільського господарства та оборонного комплексу. Завдяки цьому машинобудування відіграє роль важливого драйвера економічного зростання та технологічного прогресу.

Машинобудування є найважливішою галуззю виробництва. Стан потенційного виробничого потенціалу держави в сучасному світі характеризується рівнем розвитку машинобудування, оскільки ця галузь забезпечує розвиток та стабільне функціонування майже усіх галузей економіки, що призводить до наповнення споживчого ринку.

Розвиток машинобудування спонукає до розвитку інші галузі та забезпечує науково-технічний прогрес в усій економіці країни.

Продукція машинобудування та металообробки, виготовлення металевих конструкцій та навіть ремонт машин, тобто усі види такої промисловості як машинобудування та металообробка використовується практично усіма існуючими галузями виробництва. Створення нових зразків техніки та технології в значній мірі визначають інноваційну спроможність держави. Однак в Україні номенклатура продукції, що виготовляється зараз, дуже обмежена. Для розвитку країни в післявоєнний час над цією проблемою слід замислитись вже зараз.

Машинобудування разом з виробництвом металевих виробів, металевих конструкцій та ремонтом машин і обладнання входить до складу більшої комплексної галузі промисловості – машинобудування та металообробка. Випуск продукції машинобудування у загальному випуску цієї галузі становить близько 80%. Галузі машинобудування об'єднані в єдиний машинобудівний комплекс, який включає в себе понад 100 спеціалізованих галузей, підгалузей і виробництв.

Україна володіє достатнім людським, науковим і ресурсним потенціалом, який повинен лягти в основу високоефективної національної економіки. Однак при аналізі економічної діяльності в країні спостерігається необхідність у ство-

ренні умов для об'єднання даних факторів, що вимагає мобілізації зусиль з боку всіх суб'єктів економічної системи. У свою чергу, дані фундаментальні механізми реалізуються в рамках українського машинобудівного комплексу, який більше за інші господарські галузі постраждав у період воєнного стану.

В даний час економічне становище машинобудівного комплексу досить важке.

Вирішення проблем машинобудівного комплексу вимагає ґрунтовного і виваженого підходу, що обумовлено цілим рядом факторів:

- машинобудівний комплекс є галуззю, розвиток якої має вплив на усі сектори економіки, насичуючи їх основними фондами високого технічного рівня;
- машинобудівний комплекс прийнято вважати найскладнішою галуззю промисловості, що виробляє широко диференційовану продукцію: від знарядь праці (основні фонди) до звичних всім побутових приладів;
- багато машинобудівних підприємств працюють на оборонний комплекс, тому розвиток даної галузі визначає обороноздатність країни.

Для того щоб продукція вітчизняної промисловості була конкурентоспроможною на глобальних ринках, необхідно мати в своєму арсеналі найсучасніші машини та обладнання, виробництво яких є функцією машинобудівної галузі.

В даний час машинобудівний комплекс України відчуває низку серйозних проблем, пов'язаних із військовими діями, з високою часткою застарілого обладнання, недостатнім використанням виробничих потужностей, нестачею висококваліфікованих кадрів, малоефективною державною підтримкою на законодавчому рівні і недостатнім інвестуванням.

Зараз українська промисловість має вирішити завдання модернізації і стати за всіма параметрами конкурентоспроможною, або почнеться процес витіснення вітчизняних виробників закордонними.

В теперішній складний час для України для розвитку індустріалізації є необхідність модернізації виробництва. Це великий виклик для держави, яка має намір бути в тренді загальносвітових змін на основі динамічного розвитку економіки, усіх її галузей, запровадження нових технологій та іновацій.

Тому надважливою задачею є прискорений розвиток діючих підприємств машинобудування та створення нових, наукоємних підприємств, від чого залежить функціонування економіки країни в цілому.

Малі та середні підприємства під час свого розвитку в теперішній час стають основним генератором інноваційних процесів.

Активізація діяльності малих та середніх підприємств в машинобудівному комплексі має стати пріоритетом для економіки країни, оскільки вони дозволяють вирішити проблему покращення структури зайнятості, забезпеченням роботою населення, зниженням рівня монополізації виробництва тощо.

Такі підприємства швидше вирішують проблеми оновлення виробничо-технологічного потенціалу, запровадження нових технологій, випуску інноваційної продукції.

Першочерговою задачею розвитку машинобудівного комплексу є інноваційно - технологічне переоснащення підприємств, що створює передумови для виробництва конкурентної продукції.

1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз об'єкта виробництва

На кресленнику деталі «Плита G9-PL-001» вказані всі необхідні розміри, їх точність, шорсткість поверхонь, відхилення від правильної геометричної форми та від правильного взаємного розміщення. Кресленик також містить всю необхідну інформацію про матеріал деталі, масу деталі, тобто немає необхідності збільшення проміжних припусків на механічне оброблення.

За своєю формою, конструкцією та технологічним ознакам деталь „плита G9-PL-001” відноситься до деталей загальномашинобудівного призначення. Деталь відноситься до класу плоских деталей.

Габаритні розміри деталі:

- довжина 172 мм;
- ширина 60 мм;
- висота 25 мм.

Деталь „плита G9-PL-001” (рис. 1.1, 1.2) призначена для притискання двох сегментів до поверхні валиків при коливальному рухові плити відносно осі $\varnothing 12$.

Отвір $\varnothing 12H9$ та паз 28H7 слугує для встановлення плити на кронштейн до пазу 28H7 та фіксації плити через отвір $\varnothing 12H9$ штифтом.

Паз 13H14 слугує для з'єднання плити з приводом коливального переміщення, який коливає плиту навколо осі $\varnothing 12$.

Два отвори $\varnothing 18H7$ слугують напрямними для фіксатора.

Різьбові отвори M6-8g слугують для кріплення фіксатора.

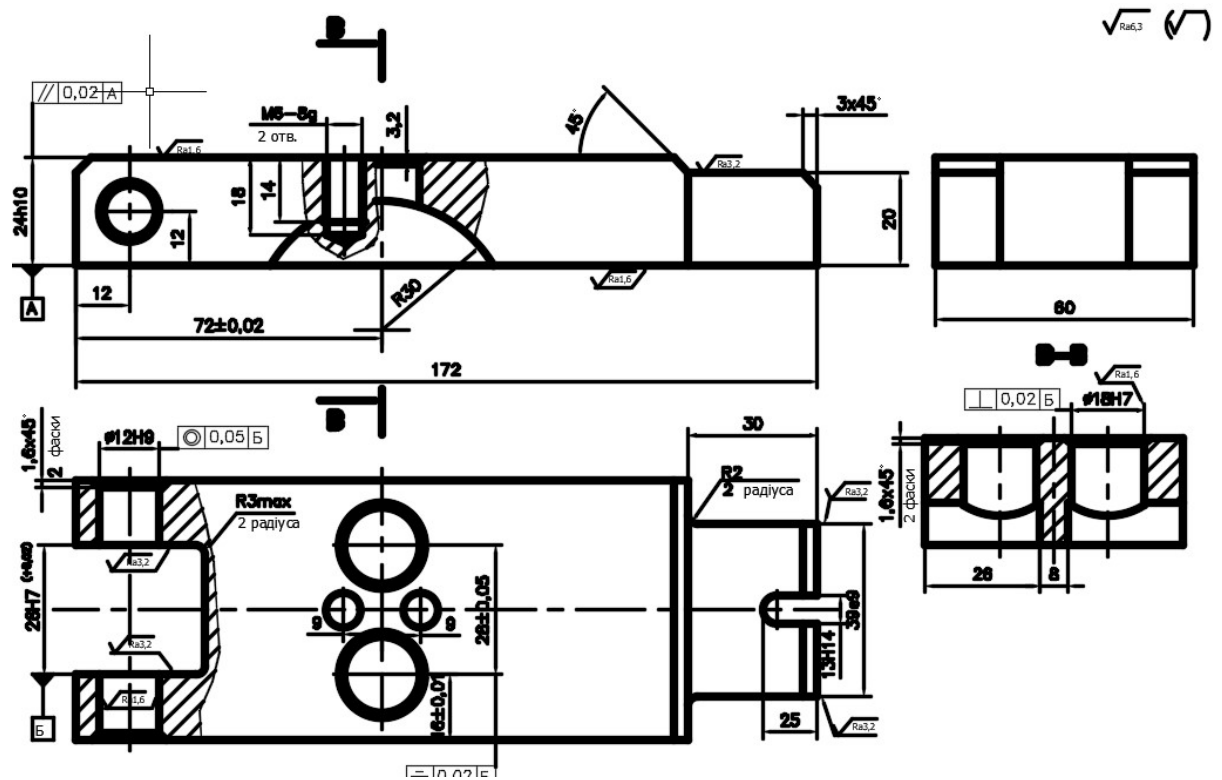


Рисунок 1.1 – Кресленик деталі «плита»

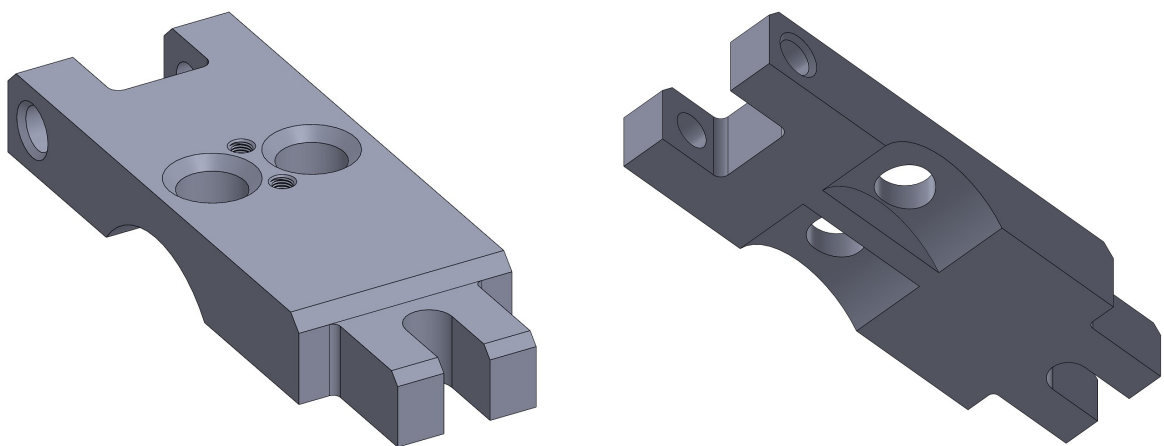


Рисунок 1.2 – 3D модель деталі «плита»

Вказані допустимі відхилення розмірів за *IT 7, IT 9, IT 10, IT 14*, шорсткість поверхонь - *Ra 3,2 мкм - Ra 6,3 мкм*; можуть бути отримані на верстатах нормальної точності.

При механічному обробленні деталі є можливість безпосереднього вимірювання заданих на кресленіку розмірів.

Конструкція деталі, матеріал та технологія виготовлення повинні забезпечувати нормальну роботу протягом тривалого часу.

В якості матеріалу для виготовлення деталі „плита G9-PL-001” використовується легована сталь 40X ДСТУ 7806:2015.

Фізико-механічні властивості і хімічний склад сталі 40X представлені у вигляді таблиць 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 - Механічні властивості сталі 40X ДСТУ 7806:2015

Марка	σ_t	σ_b	δ , %	α , $\frac{кгс \cdot м}{см^2}$	Відносне звуження, %	Твердість НВ, не менше
	МПа					
40X	470	700	17	5	56	207

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 40X ДСТУ 7806:2015

C	Si	Mn	Ni	Ti	Cr	P	S
						Не більше	
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,3	0,3	0,8-1,1	0,035	0,035

Сталь 40X ДСТУ 7806:2015 підходить для виготовлення деталі та задовольняє всі вимоги до деталі.

Таблиця 1.3 – Технічні вимоги до деталі „плита G9-PL-001”

Технічні вимоги	Методи отримання	Методи контролю
Непаралельність площин не повинна перевищувати 0,02 мм.	Шліфування при базуванні по поверхні „А”.	На контрольній плиті за допомогою індикатора.
Непаралельність осі отвору $\varnothing 28H7$ та несиметричність осі отвору $\varnothing 28H7$ відносно пазу 28H7 не повинна перевищувати 0,02 мм.	Фрезерування паза 28H7 при базуванні по поверхні отвору $\varnothing 18H7$.	На контрольній плиті за допомогою пальців та індикатора.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Конструкція деталі „плита G9-PL-001” – це паралелепіпед з отворами та пазами. Деталь має хороші базові поверхні. Конструкція деталі забезпечує добру доступність інструменту, що дозволяє застосовувати високопродуктивні режими різання при обробленні.

Основні елементи деталі – площини з шорсткістю Ra 3,2 мкм, які можливо отримати при фрезеруванні та шліфуванні.

Отвори $\varnothing 18H7$ з шорсткістю Ra 1,6 мкм можна отримати на вертикально – свердлувальному верстаті з ЧПК чи фрезерувальному верстаті з ЧПК.

Отвори $\varnothing 12H9$ з шорсткістю Ra 1,6 мкм можна отримати на вертикально – свердлувальному верстаті.

Решту елементів деталі є можливість отримати фрезеруванням та шліфуванням.

Деталь достатньо жорстка для застосування концентрації переходів. Конструкція деталі сприяє застосуванню принципу суміщення баз. деталь має добрі базові поверхні.

Розміри деталі можна контролювати прямим методом.

Розміри заготовки можуть бути максимально наближені до розмірів готової деталі.

Для виготовлення деталі немає необхідності в застосування спеціального оснащення та обладнання.

В результаті проведеного аналізу кресленника та технічних вимог до деталі, формулюємо основні технологічні задачі, які слід вирішити при розробленні технологічного процесу механічного оброблення деталі.

Результати аналізу технологічності зводимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Результати аналізу технологічності деталі „плита G9-PL-0011”

Найменування поверхонь	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих поверхонь	Квалітет точності ІТ	Параметр шорсткості Ra
39e9	1	1	9	3,2
Ø12H9	2	1	9	3,2
Ø18H7	2	1	7	1,6
Ø28H7	1	1	7	3,2
13h14	1	1	14	6,3
24H14	1	1	10	6,3
60h14	1	1	14	6,3
172h14	1	1	14	6,3
32js14	1	1	14	6,3
Разом:	11	9		

Кількісна оцінка технологічності:

1. За коефіцієнтом уніфікації:

$$K_y = \frac{Q_y}{Q_e},$$

де Q_y - число уніфікованих елементів, $Q_y = 9$;

Q_e - число елементів, $Q_e = 11$.

$$K_y = \frac{9}{11} = 0,82.$$

2. За коефіцієнтом точності обробки:

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

де A_{cp} - середня точність обробки.

$$A_{cp} = \frac{3 \cdot 9 + 14 \cdot 4 + 7 \cdot 3 + 10}{11} = 10,36;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{10,36} = 0,9.$$

3. За коефіцієнтом шорсткості:

$$K_u = \frac{1}{B_{cp}},$$

де B_{cp} - середня шорсткість:

$$B_{cp} = \frac{1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 5}{11} = 4,32;$$

$$K_u = \frac{1}{4,32} = 0,23.$$

Виходячи з проведеного аналізу можна сказати, що деталь технологічна.

1.3 Визначення типу і організаційної форми виробництва

Маючи річну програму випуску деталей $N = 2000$ штук та її масу $m = 1,35$ кг встановлюємо тип виробництва – середньосерійне виробництво.

Таблиця 1.5 - Залежність типу виробництва від об'єму виготовлення (шт) і маси деталі

Маса деталі, кг	Тип виробництва			
	одиничне	малосерійне	<u>середньосерійне</u>	крупносерійне
<1.0	<10	10–2000	1500–100 000	75 000–100 000
1.0–2.5	<10	10–1000	1000–50 000	50 000–100 000
2.5–5.0	<10	10–500	500–35 000	35 000–75 000

Організаційна форми виробництва залежить від багатьох факторів. Існує дві форми організації виробництва – потокова і групова. Рішення про доцільність потокової форми приймається шляхом порівняння добового випуску виробів, що задається, і добової продуктивності потокової лінії, що розраховується, із врахуванням кількості робочих змін та завантаження на 65...75%.

Добовий випуск виробів:

$$N_{\text{д}} = \frac{N_p}{253},$$

де N_p - річна програма випуску, $N_p = 2000$ шт.

$$N_{\text{д}} = \frac{2000}{253} \approx 10 \text{ деталей.}$$

Виходячи із проведених розрахунків застосуємо групову форму організації виробництва, тобто запуск партії деталей буде здійснюватись із розрахованою періодичністю.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi_{\partial}},$$

де N - кількість деталей за рік, шт;

a - періодичність запуску виробничої партії. Приймаємо $a = 12$ днів;

Φ_{∂} - число робочих днів в році. За умови п'ятиденного робочого тижня з тривалістю 8 годин, $\Phi_{\partial} = 253$.

Тоді:

$$n = \frac{2000 \cdot 12}{253} \approx 100 \text{ шт.}$$

1.3.1 Розрахунок фонду часу роботи обладнання

Дійсний фонд робочого часу обладнання розраховується за формулою:

$$F_{\partial} = [(D_k - D_e - D_{св}) \cdot T_{зм} \cdot T_{скор}] \cdot C \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{100}\right), \text{ год};$$

де D_k - календарні дні;

D_e - вихідні дні;

$D_{св}$ - святкові дні;

$T_{зм}$ - тривалість зміни;

$T_{скор}$ - скорочення зміни в передсвяткові дні;

α - коефіцієнт.

Отже,

$$F_d = [(365 - 104 - 8) \cdot 8,2 \cdot 6] \cdot 2 \cdot \left(1 - \frac{2}{100}\right) = 4060 \text{ год.}$$

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу

Предметом аналізу є процес виготовлення деталі „плита. Тип виробництва – середньосерійне. Об’єм випуску – 2000 штук в рік.

Прийняту в даному варіанті технологічного процесу загальну послідовність обробки логічно вважати доцільною, оскільки при цьому дотримуються принципи послідовності формування властивостей деталі, що обробляється.

Але недоцільним в існуючому технологічному процесі є те, що для оброблення отворів використовуються низькопродуктивні верстати, які необхідно замінити на верстати з ЧПК.

Фрезерування площин в розміри 60 та 33 мм краще вести в пакеті декількох деталей одночасно. Фрезерування площини в розмір 24h10 треба замінити на попереднє та чистове шліфування.

2.2 Вибір виду і способу отримання заготовки

Порівняємо два варіанти виготовлення заготовки: методом полосового прокату та методом штампування на пресі.

Собівартість заготовки із прокату.

Економічне обґрунтування вибору заготовки.

Заготовку приймаємо з гарячекатаного прокату, порізаного на гільйотинних ножицях.

Згідно точності та шорсткості поверхонь деталі, що обробляється, визначаємо проміжні припуски за допомогою таблиць. Габаритні розміри деталі приймаються за основу розрахунку проміжних припусків.

Визначаємо попередній маршрут технологічного процесу механічного оброблення деталі, що визначає її основні габаритні розміри.

Оброблення деталі проводиться на горизонтально-фрезерних, свердлувальних та шліфувальних верстатах.

Технологічний маршрут механічної оброблення деталі „плита”.

1. Попереднє шліфування площини в розмір 24h12.
2. Чистове шліфування площини в розмір 24h10.
3. Чорнове фрезерування бічної поверхні в розмір 60.
4. Чистове фрезерування бічної поверхні в розмір 60.
5. Чорнове фрезерування бічної поверхні в розмір 172.
6. Чистове фрезерування бічної поверхні в розмір 172.
7. Чорнове фрезерування бічної поверхні в розмір 36.
8. Чистове фрезерування бічної поверхні в розмір 36.
9. Чорнове фрезерування паза в розмір 28.
10. Чистове фрезерування паза в розмір 28.

Габаритні розміри заготовки:

$$L_3 = L_0 + 2z_{\max};$$

$$B_3 = B_0 + 2z_{\max};$$

$$H_3 = H_0 + 2z_{\max};$$

де L_0 - довжина деталі;

$2z_{\max}$ - максимальний припуск на оброблення після відрізання заготовки на гільйотинних ножицях чи різакон, $2z_{\max} = 5$ мм.

$$L_3 = 172 + 5 = 177 \text{ мм};$$

$$B_3 = 60 + 5 = 65 \text{ мм}.$$

З врахуванням припусків на обробку та методу отримання заготовки приймаємо наступні розміри заготовки: довжина – 177 мм; ширина – 65 мм; висота – 25 мм (рис. 2.1).

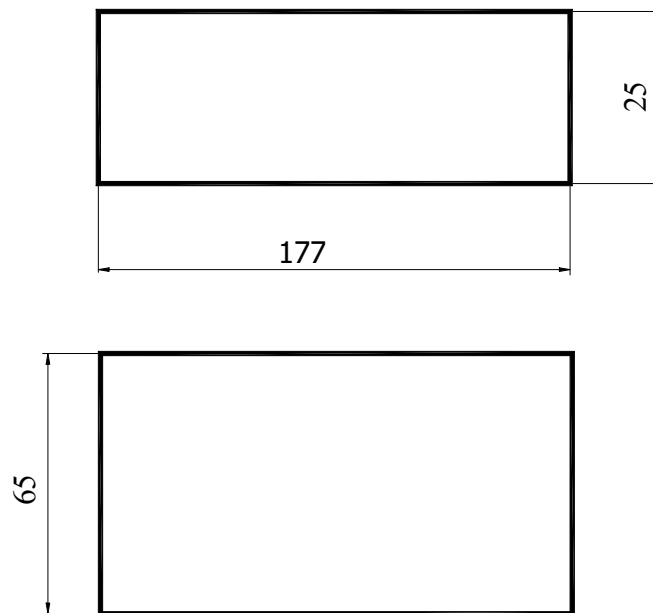


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки із полосового прокату

Знаходимо масу заготовки:

$$Q = V \cdot \rho, \text{ кг};$$

де V - об'єм заготовки, m^3 ;

ρ - густина матеріалу заготовки, $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$.

Об'єм заготовки:

$$V_3 = L_3 \cdot A_3 \cdot B_3 = 0,177 \cdot 0,065 \cdot 0,025 = 0,0003 \text{ м}^3.$$

Маса заготовки:

$$Q_3 = \rho \cdot V_3 = 7800 \cdot 0,0003 = 2,34 \text{ кг.}$$

Маса деталі $q = 1,35 \text{ кг}$ (див. кресленик).

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{1,35}{2,24} = 0,6.$$

Оскільки прокат може бути довжиною 4 м або 7 м, то визначаємо, яка довжина прокату економічна.

Для цього необхідно визначити, скільки заготовок можна отримати з прокату довжиною 4 м:

$$X = \frac{L_{np}}{L_3},$$

$$X_1 = \frac{4000}{177} = 22,5 \text{ шт.}$$

Приймаємо 22 штуки.

Визначаємо, скільки заготовок можна отримати із прокату довжиною 7 м:

$$X_2 = \frac{7000}{177} = 39,54 \text{ шт.}$$

Приймаємо 39 штук.

Залишок довжини визначається в залежності від прийнятої довжини прокату.

З довжини 4 м:

$$L_1 = L_{np} - L_3 \cdot X_1 = 4000 - 177 \cdot 22 = 106 \text{ мм},$$

$$\Pi_1 = \frac{L_1 \cdot 100}{L_{np1}} = \frac{106 \cdot 100}{4000} = 2,6\%.$$

З прокату довжиною 7 м:

$$L_2 = L_{np} - L_3 \cdot X_2 = 7000 - 177 \cdot 39 = 97 \text{ мм},$$

$$П_2 = \frac{L_2 \cdot 100}{L_{np2}} = \frac{97 \cdot 100}{7000} = 1,3\%.$$

З розрахунків видно, що прокат довжиною 7 м для виготовлення заготовок більш економічний.

Розрахунок витрат матеріалу на одну деталь з врахуванням всіх технологічних неминучих витрат:

$$Q_{em} = \frac{Q \cdot (100 + П_{em})}{100} = \frac{2,24 \cdot (100 + 1,3)}{100} = 2,27 \text{ кг.}$$

Вартість заготовки із прокату розраховується за формулою:

$$M = \frac{QS}{1000} - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000},$$

де Q - маса заготовки, кг;

S - ціна 1 кг матеріалу заготовки, $S = 23000$ грн за 1 тону;

q - маса готової деталі, $q = 1,35$ кг;

$S_{відх}$ - ціна 1 т відходів, $S_{відх} = 2400$ грн за 1 тону.

Отже:

$$M = \frac{2,27 \cdot 23000}{1000} - (2,27 - 1,35) \frac{2400}{1000} = 350,0 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовки – штамповки на пресі за.

Для визначення маси заготовки необхідно визначити загальні припуски для розрахунку розмірів заготовки.

Знаходимо загальні припуски на розміри деталі та зводимо їх у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця значень припусків

Розмір, мм	Параметр шорсткості Ra , мкм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки, мм
172h12	6,3	$(2,5 + 0,5) \cdot 2$	178
60h14	3,2	$(2,5 + 0,5) \cdot 2$	66
24h10	1,6	$(3,0 + 0,5) \cdot 2$	31
36e9	3,2	$(2,5 + 0,5) \cdot 2$	42
Ø28H8	3,2	$(2,5 + 0,5) \cdot 2$	Ø22
Ø18H7	1,6	$(2,0 + 0,5) \cdot 2$	Ø13
13H14	6,3	$(1,5 + 0,5) \cdot 2$	не штампується

Заокруглюємо розміри стандартного ряду та виконуємо ескіз заготовки.

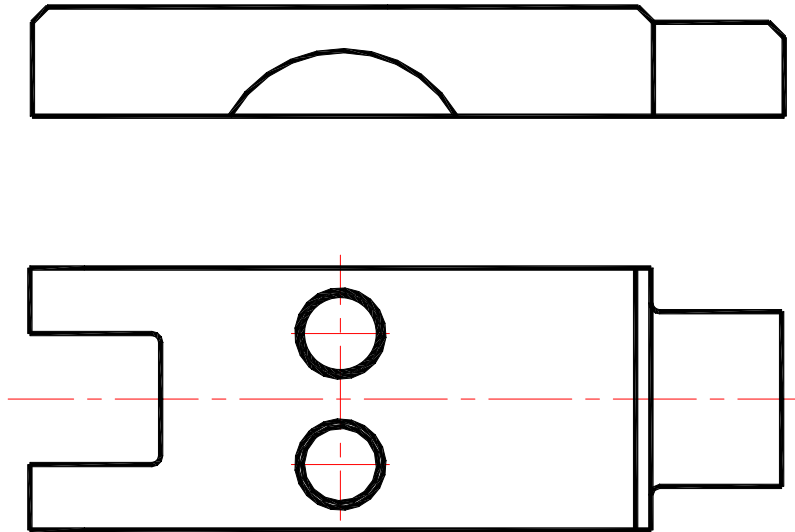


Рисунок 2.2 - Ескіз штампованої заготовки

Маса заготовки:

$$Q = [(178 - 30) \cdot 66 \cdot 31 + 30 \cdot 42 \cdot 31 - 30 \cdot 22 \cdot 31 - 2 \cdot 3,14 \cdot 7,5^2 \cdot 31] \cdot 7,8 = 2,42 \text{ кг.}$$

Приймаючи до уваги неминучі технологічні витрати (угар матеріалу, облой, тощо), які при гарячому об'ємному штампуванні дорівнюють 10%, визначаємо витрати матеріалу на одну деталь.

$$Q_{\text{зш}} = \frac{Q_{\text{зш}} \cdot (100 + \Pi_{\text{ш}})}{100} = \frac{2,42 \cdot (100 + 10)}{100} = 2,7 \text{ кг.}$$

Вартість заготовки розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000},$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок: $C_i=37300$ грн.;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{II}$ – коефіцієнти залежності від класу точності штамповки, від групи складності, від маси, від марки матеріалу, від об'єму виготовлення;

q - маса деталі: $q = 1,35$ кг;

Q - маса заготовки; $Q = 2,7$ кг;

$S_{відх.}$ – ціна за 1 т відходів.

$$S_{заг.} = \left(\frac{37300}{1000} \cdot 2,7 \cdot 1,05 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \right) - (2,7 - 1,35) \cdot \frac{2400}{1000} = 700,25 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м.} = \frac{1,35}{2,7} = 0,5.$$

Отримання заготовки із прокату є більш економічним методом, ніж отримання заготовки методом штампування.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Співставлення двох методів отримання заготовки

Найменування показників	I варіант	II варіант
Вид заготовки	Прокат полосовий	Штамповка

Клас точності	III	II
Вага заготовки, кг	2,27	2,7
Вартість заготовки, грн	250,0	700,25
Коефіцієнт використання матеріалу, $K_{в.м.}$	0,6	0,5

2.3 Вибір технологічних баз

На першій операції слід обробити поверхню, яка була б базовою поверхнею для усіх наступних операцій. Дотримуючись цієї рекомендації, в якості бази для першої, чорнової обробки обираємо зовнішню циліндричну поверхню, торцеву поверхню з переустановленням, та центральний отвір; ці поверхні забезпечують зручне встановлення заготовки в пристрої, будуть використовуватись для встановлення заготовки протягом всього технологічного процесу, будуть слугувати технологічними та вимірювальними базовими поверхнями. Отже, таким чином забезпечується можливість дотримання принципів суміщення і постійності ба.

Більш детальний опис базових поверхонь та способів встановлення заготовки під час механічного оброблення наведемо при розробленні технологічного маршруту, а результати занесемо в таблицю.

2.4 Вибір технологічного маршруту обробки деталі

Розглянемо технологічну собівартість двох методів технологічного маршруту механічного оброблення деталі “плита”.

Таблиця 2.3 – Результати аналізу оброблення елемента деталі з встановленням методів оброблення

Позначення поверхні	Параметр шорсткості Ra	Квалітет точності	Метод оброблення
60h14	6,3	14	Фрезерування чорнове, чистове
39e9	3,2	9	Фрезерування чорнове, чистове
172h14	6,3	14	Фрезерування одноразове
13H14	6,3	14	Фрезерування одноразове
24h10	1,6	10	Фрезерування, шліфування чорнове, чистове
M6-8g	3,2	8	Свердлування, нарізання різьби
Ø12H9	1,6	9	Свердлування, зенкерування, розвіртування
Ø28H7	3,2	7	Свердлування, зенкерування, розвіртування

Розрахунок технологічної собівартості операцій механічного оброблення проведемо тільки для операцій, що відрізняються між собою.

Варіант 1. Оброблення зовнішніх поверхонь на верстаті 6P13.

Собівартість операції:

$$C_{on} = C_{n.v.} \cdot \frac{T_{um}}{60 \cdot \kappa_g},$$

де $C_{n.v.}$ - норматив часових зведених витрат для даного типу верстата, грн/год;

T_{um} - штучний час на операцію, хв;

κ_g - коефіцієнт виконання норм, $\kappa_g = 1,3$.

Норматив часових зведених витрат визначаємо за формулою:

$$C_{n.v.} = C_3 + C_{ч.в.} + E_n \cdot (\kappa_g + \kappa_c),$$

де C_3 - основна і додаткова зарплата з нарахуваннями, грн/год;

$C_{ч.в.}$ - часові витрати по експлуатації робочого місця, грн/год;

E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (в машинобудуванні $E_n = 0,15$);

κ_g, κ_c - часові вкладення відповідно в верстат і споруду, грн/год.

$$C_3 = \varepsilon \cdot C_{mp} \cdot \kappa \cdot y,$$

де ε – коефіцієнт, який враховує додаткову зарплату, нарахування на соцстрах, приробіток до основної зарплати, $\varepsilon = 1,96$;

$C_{т.ф.}$ - часова тарифна ставка верстатника, $C_{т.ф.} = 67$ грн/год;

κ - коефіцієнт, який враховує зарплату наладчика, $\kappa = 1$;

y - коефіцієнт, який враховує зарплату робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $y = 1$.

$$C_3 = 1,96 \cdot 67 \cdot 1 \cdot 1 = 131,5 \text{ грн/год.}$$

Часові витрати по експлуатації робочого місця:

$$C_{ч.в.} = C_{ч.в.}^{б.п.} \cdot \kappa_M,$$

де $C_{ч.в.}^{б.п.}$ - практичні часові витрати на базовому робочому місці, $C_{ч.в.}^{б.п.} = 184$ грн/год;

κ_M - коефіцієнт відмінності роботи даного верстата від аналогічних витрат базового верстата; $\kappa_M = 1,1$.

Отже,

$$C_{ч.в.} = 184 \cdot 1,1 = 202,4 \text{ грн/год.}$$

Капітальна вкладення в верстат:

$$K_6 = \frac{Ц \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_3},$$

де F_0 - дійсний річний фонд часу роботи верстата, $F_0 = 4015$ год ;

η_3 - коефіцієнт завантаження верстата, в серійному виробництві $\eta_3 = 0,8$.

$$K_6 = \frac{2360 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 73,47 \text{ коп/год.}$$

Капітальні вкладення в споруду:

$$K_c = \frac{F \cdot Ц_{пл.бюд.} \cdot 100}{F_0 \cdot \eta_3},$$

де $Ц_{пл.бюд.}$ - вартість 1 м² площі механічного цеху, згідно $Ц_{пл.бюд.} = 78,4$ грн;

F - виробнича площа, яку займає верстат з врахуванням проходів та проїздів, м²;

$$F = f \cdot k_f = 4,4 \cdot 2 = 8,8 \text{ м}^2,$$

де f - площа верстата, м²;

k_f - коефіцієнт врахування додаткової виробничої площі $k_f = 2$;

η_3 - коефіцієнт завантаження верстата, для серійного виробництва $\eta_3 = 0,8$.

$$K_c = \frac{8,8 \cdot 78,4 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 21,5 \text{ грн/год.}$$

Отже, зведені витрати для 1-го варіанту:

$$C_{n.в.}^1 = 131,5 + 202,4 + 0,15 \cdot (73,47 + 21,5) = 348,15 \text{ грн/год.}$$

Штучний час $T_{ум} = 0,92$ хв.

Технологічна собівартість операції:

$$C_{on}^1 = 348,15 \cdot \frac{0,92}{60 \cdot 1,3} = 4,1 \text{ грн.}$$

2-й варіант. Оброблення зовнішніх поверхонь на плоскошліфувальному верстаті 3П722.

Собівартість операції:

$$C_{on} = C_{n.в.} \cdot \frac{T_{ум}}{60 \cdot K_6},$$

де $C_{н.в.}$ - нормативні дані часових зведених витрат для даного типу верстата, грн/год;

$T_{шт}$ - штучний час на операцію, хв;

$\kappa_г$ - коефіцієнт виконання норм, $\kappa_г = 1,3$.

Нормативні дані часових зведених витрат:

$$C_{н.в.} = C_з + C_{ч.в.} + E_n \cdot (\kappa_г + \kappa_c),$$

де $C_з$ - основна і додаткова зарплата з нарахуваннями, грн/год;

$C_{ч.в.}$ - часові витрати по експлуатації робочого місця, грн/год;

E_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (в машинобудуванні $E_n = 0,15$);

$\kappa_г, \kappa_c$ - часові вкладення відповідно в верстат і споруду, грн/год.

$$C_з = \varepsilon \cdot C_{т.ф.} \cdot \kappa \cdot y,$$

де ε – коефіцієнт врахування додаткової заробітної плати, $\varepsilon = 1,96$;

$C_{т.ф.}$ - часова тарифна ставка шліфувальника, $C_{т.ф.} = 54$ грн/год;

κ - коефіцієнт врахування заробітної плати налагоджувальника обладнання, $\kappa = 1$;

y - коефіцієнт врахування заробітної плати робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $y = 1$.

$$C_з = 1,96 \cdot 54 \cdot 1 \cdot 1 = 105,84 \text{ грн/год.}$$

Часові витрати по експлуатації робочого місця:

$$C_{ч.в.} = C_{ч.в.}^{б.н.} \cdot \kappa_M,$$

де $C_{ч.в.}^{б.п.}$ - практичні часові витрати базового робочого місяця, $C_{ч.в.}^{б.п.} = 154$ грн/год;
 κ_M - коефіцієнт відмінності роботи даного верстата від аналогічних витрат базового верстата; $\kappa_M = 1$.

$$C_{ч.в.} = 154 \cdot 1,0 = 154 \text{ грн/год.}$$

Капітальна вкладення в верстат:

$$K_6 = \frac{Ц \cdot 100}{F_\delta \cdot \eta_3},$$

де F_δ - дійсний річний фонд часу роботи верстата, $F_\delta = 4015$ год ;

η_3 - коефіцієнт завантаження верстата, в серійному виробництві $\eta_3 = 0,8$.

$$K_6 = \frac{3500 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 108,9 \text{ грн/год.}$$

Капітальні вкладення в споруду:

$$K_c = \frac{F \cdot Ц_{пл.бюд.} \cdot 100}{F_\delta \cdot \eta_3},$$

де $Ц_{пл.бюд.}$ - вартість 1 м² площі механічного цеху $Ц_{пл.бюд.} = 78,4$ грн;

F - виробнича площа із врахуванням проходів та проїздів, м²;

$$F = f \cdot k_f = 2,8 \cdot 2 = 5,6 \text{ м}^2,$$

де f - площа верстата, м²;

k_f - коефіцієнт врахування додаткової площі $k_f = 2$;

η_3 - коефіцієнт завантаження верстата $\eta_3 = 0,8$.

$$K_c = \frac{5,6 \cdot 78,4 \cdot 100}{4015 \cdot 0,8} = 13,7 \text{ грн/год.}$$

Зведені витрати для 2-го варіанту оброблення деталі:

$$C_{n.в.}^1 = 105,84 + 154 + 0,15 \cdot (108,9 + 13,7) = 370,8 \text{ грн/год.}$$

Штучний час $T_{шт} = 0,49$ хв.

Технологічна собівартість операції:

$$C_{оп}^2 = 370,8 \cdot \frac{0,49}{60 \cdot 1,3} = 2,33 \text{ грн.}$$

Висновок: застосування для оброблення вказаної поверхні на плоскошліфувальному моделі ЗП722 більш доцільно, ніж в базовому, заводському технологічному процесі.

2.5 Розроблення технологічних операцій

Технологічний маршрут оброблення деталі „плита” представимо в вигляді таблиці 2.4.

Детальний технологічний процес механічного оброблення деталі „плита” представимо в вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 - Технологічний маршрут механічної обробки деталі “плита”

№ операції	Найменування операції	Зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
005	<i>Фрезерна</i>	1. Фрезерувати поверхню 24h10 начорно.	Вертикально-фрезерний 6P13
010	<i>Фрезерна</i>	1. Фрезерувати площину 172h14 начорно. 2. Фрезерувати площину 60h14 начорно.	Вертикально-фрезерний 6P13
015	<i>Фрезерна з ЧПК</i>	1. Фрезерувати площину 36e9 начорно. 2. Фрезерувати паз 13H14, витримуючи розмір 25 мм одноразово.	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-1
020	<i>Фрезерна з ЧПК</i>	1. Фрезерувати паз 28H7 начорно. 2. Фрезерувати паз 28H7 начисто. 3. Фрезерувати площину 172h14 начисто. 4. Фрезерувати 2 вибірки R30 мм. 5. Фрезерувати площину 60h14 начисто.	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-1

№ операції	Найменування операції	Зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
025	Фрезерна з ЧПК	1. Фрезерувати площину в розмір 20 мм начорно. 2. Фрезерувати площину в розмір 20 мм начисто. 3. Зняти 2 фаски 3x45 ⁰ . 4. Фрезерувати площину 36e9 та R2 начисто.	Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК HAAS VF-1
035	Плоскошліфувальна	1. Шліфувати поверхню 24h10 начисто.	Плоскошліфувальний 3П722
040	Плоскошліфувальна	1. Шліфувати паз 28H7 начисто.	Плоскошліфувальний 3П722
045	Свердлувальна	Установ А 1. Свердлити центровий отвір Ø3H14. 2. Свердлити отвір Ø18H14. 3. Зенкерувати отвір Ø18H10. 4. Розвертати отвір Ø18H7. 5. Зняти фаску 1,6x45 ⁰ . Установ Б 1. Свердлити отвір Ø5H12. 2. Нарізати різьбу M6-8g.	Вертикально-свердлувальний з ЧПК 2С150ПМФ4
050	Свердлувальна	Установ А 1. Свердлити отвір Ø12H14. 2. Зенкерувати отвір Ø12H10. 3. Розвертати отвір Ø12H9. 4. Зняти фаску 1,6x45 ⁰ .	Вертикально-свердлувальний 2H125

№ операції	Найменування операції	Зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
		Установ Б 1. Зняти фаску 1,6x45°.	

Таблиця 2.5 - Технологічний процес механічного оброблення деталі “плита”

№ операції	Найменування і зміст операції	Пристрій	Технологічна база	Інструмент	
				Різальний	Вимірювальний
005	Фрезерна 1. Фрезерувати поверхню 24h10 начорно.	Лещата	Поверхні 24h10, 60h14	Фреза торцева з пластинами із твердого сплаву T5K10	Штангенциркуль ШЦ I 125-0,1
010	Фрезерна 1. Фрезерувати площину 172h14 начорно. 2. Фрезерувати площину 60h14 начорно.	Лещата	Поверхні 24h10, 60h14	Фреза торцева з пластинами із твердого сплаву T5K10	Штангенциркуль ШЦ I 125-0,1

№ операції	Найменування і зміст операції	Пристрій	Технологічна база	Інструмент	
				Різальний	Вимірювальний
015	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати площину 36e9 начорно. 2. Фрезерувати паз 13Н14, витримуючи розмір 25 мм одноразово.	Лещата	1. Поверхня 60h14 2. Поверхня 60h14, торець	Фреза CoroMill 745 Фреза CoroMill 316	Штангенциркуль ШЦ I 125-0,1
020	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати паз 28Н7 начорно. 2. Фрезерувати паз 28Н7 начисто. 3. Фрезерувати площину 172h14 начисто. 4. Фрезерувати 2 вибірки R30 мм. 5. Фрезерувати площину 60h14 начисто.	Лещата	Поверхні 24h10, 60h14	Фреза CoroMill 316 Фреза CoroMill 745 Фреза CoroMill Dura	Штангенциркуль ШЦ I 125-0,1
025	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати площину в розмір 20 мм начорно. 2. Фрезерувати	Лещата	Поверхня 60h14	Фреза CoroMill 745	Штангенциркуль ШЦ I 125-0,1

№ операції	Найменування і зміст операції	Пристрій	Технологічна база	Інструмент	
				Різальний	Вимірювальний
	площину в розмір 20 мм начисто. 3. Зняти 2 фаски 3x45°. 4. Фрезерувати площину 36e9 та R2 начисто.				
035	Плоскошліфувальна 1. Шліфувати поверхню 24h10 начисто.	Плита магнітна	Поверхня 20h10	Круг шліфувальний ПП 160x80x32 24A16NM16K 6 35 м/с	Калібр - скоба
040	Плоскошліфувальна 1. Шліфувати паз 28H7 начисто.	Пристрій спеціальний	Поверхня 20h10	Круг шліфувальний ПП 160x80x32 24A16NM16K 6 35 м/с	Калібр – пробка
045	Свердлувальна Установ А 1. Свердлити центровий отвір Ø3H14. 2. Свердлити отвір Ø18H14. 3. Зенкерувати отвір	Лещата	Поверхні 24h10, 60h14, то-рець	Свердло центрове Ø3, HSS A3.15x8x49 Свердло CoroMill 316 Зенкер Ø17,8 Розвертка Ø18 Зенківка	Штангенциркуль ШЦ I 125-0,1. Калібр – пробка Ø18H7. Калібр різь-

№ операції	Найменування і зміст операції	Пристрій	Технологічна база	Інструмент	
				Різальний	Вимірювальний
	<p>Ø18H10.</p> <p>4. Розвертати отвір Ø18H7.</p> <p>5. Зняти фаску 1,6x45⁰.</p> <p>Установ Б</p> <p>1. Свердлити отвір Ø5H12.</p> <p>2. Нарізати різьбу М6-8g.</p>			<p>SPTC 11-4-15x1-16-100.</p> <p>Мітчик М6, 2620-15.15.3</p>	<p>бовий М6-8g.</p>
050	<p><i>Свердлувальна</i></p> <p>Установ А</p> <p>1. Свердлити отвір Ø12H14.</p> <p>2. Зенкерувати отвір Ø12H10.</p> <p>3. Розвертати отвір Ø12H9.</p> <p>4. Зняти фаску 1,6x45⁰.</p> <p>Установ Б</p> <p>1. Зняти фаску 1,6x45⁰.</p>	<p>Пристрій спеціальний</p>	<p>Поверхні 24h10, Ø18H7</p>	<p>Свердло центрове Ø3, HSS A3.15x8x49</p> <p>Свердло CoroMill 316</p> <p>Зенкер Ø17,8</p> <p>Розвертка Ø18</p> <p>Зенківка SPTC 11-4-15x1-16-100.</p>	<p>Калібр – пробка Ø12H9.</p>

2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку

2.6.1 Аналітичний розрахунок припусків

Для зручності результати розрахунків представимо в вигляді таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Карта розрахунку припусків на обробку та граничних розмірів по технологічних переходах $24h10$

Технологічні переходи обробки поверхні $24h10$	Елементи припуска, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір, L_p , мм	Допуск δ , мм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
	R_z	T	ρ	ε				L_{\min}	L_{\max}	$2z_{\min}^{zp}$	$2z_{\max}^{zp}$
Заготовка	150	250	172	-	-	24,826	0,52	24,826	25,338	-	-
1. Шліфування чорнове	10	20	8,6	300	0,872	23,954	0,21	23,954	24,156	0,872	1,182
2. Шліфування чистове	6	12	0,04	-	0,038	23,916	0,084	23,916	24,0	0,038	0,156

Технологічний маршрут оброблення поверхні 24h10 складається із чорнового та чистового шліфування.

Просторова похибка:

$$\rho = \rho_k = \Delta_k \cdot l,$$

де $\rho_{кор}$ - величина короблення заготовки;

Δ_k - питома кривизна, мкм на 1 мм довжини;

l - довжина заготовки в мм.

$$\rho_{кор.} = 1,0 \cdot 172 = 172 \text{ мкм.}$$

Залишкова величина просторових відхилень:

Після чорнового шліфування:

$$\rho_1 = 0,05 \cdot 172 = 8,6 \text{ мкм,}$$

Після чистового шліфування:

$$\rho_2 = 0,004 \cdot 8,6 = 0,04 \text{ мкм,}$$

Похибка установки має місце на операції шліфування та визначається за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2},$$

де ε_{δ} - похибка базування, $\varepsilon_{\delta} = 0$;

ε_3 - похибка закріплення, $\varepsilon_3 = 300$ мкм.

Отже:

$$\varepsilon_y = 300 + 0 = 300 \text{ мкм.}$$

В таблиці 2.6 показуємо усі результати розрахунків.

Сумуючи проміжні припуски, отримуємо загальні $2z_{o_{\min}}$ та $2z_{o_{\max}}$ визначаємо.

$$2z_{o_{\min}} = 10 + 20 + 8,6 + 0 = 38,6 \text{ мкм} = 0,038 \text{ мм};$$

$$2z_{o_{\max}} = 0,038 + 0,21 - 0,084 = 0,156 \text{ мм.}$$

Граничні розміри після попереднього шліфування:

$$L_{3_{\max}} = L_{d_{\max}} + 2z_{\max},$$

$$L_{3_{\max}} = 24 + 0,156 = 24,156 \text{ мм};$$

$$L_{3_{\min}} = L_{d_{\min}} + 2z_{\min},$$

$$L_{3_{\min}} = 23,916 + 0,038 = 23,954 \text{ мм.}$$

Граничні розміри після чистового шліфування:

$$L_{3_{\max}} = 24,156 + 1,182 = 25,338 \text{ мм};$$

$$L_{3_{\min}} = 23,954 + 0,872 = 24,826 \text{ мм.}$$

Перевірка:

$$2z_{\max} - 2z_{\min} = \delta_3 - \delta_0;$$

$$1,182 - 0,872 = 0,52 - 0,21$$

$$0,31 = 0,31$$

Розміри заготовки приймаємо: $L_3 = 25_{-1,0}$ мм.

2.6.2 Визначення припусків табличним методом

На інші поверхні розрахунок припусків проводимо табличним методом, результати в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір припусків табличним методом

Технологічні переходи обробки поверхонь	Розрахунковий припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
				min	max	$2z_{\min}^{zp}$	$2z_{\max}^{zp}$
60h14							
Заготовка	-	63,5	1,9	63,5	65,5	-	-
1.Фрезерувати начорно.	3,0	60,5	0,74	60,5	61,24	3	4,16
2.Фрезерувати	0,8	59,7	0,3	59,7	60	0,8	1,24

Технологічні переходи обробки поверхонь	Розрахунковий припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
				min	max	$2z_{\min}^{zp}$	$2z_{\max}^{zp}$
начисто.							
172h14							
Заготовка	-	38,68	2,5	175,4	177,9	-	-
1.Фрезерувати начорно.	3,0	34,68	1,0	172,4	173,4	3	4,5
2.Фрезерувати начисто.	0,8	34,38	0,4	171,6	172	0,8	1,4
Ø18H7							
Заготовка	-	-	1,1	-	-	-	-
1.Свердлити	-	17,085	0,43	17,085	17,518	-	-
2.Зенкерувати	0,4	17,872	0,043	17,878	17,918	0,4	0,787
3.Розвіртувати	0,1	18	0,018	18	18,018	0,1	0,125
36e9							
Заготовка	-	38,218	1,2	38,218	39,408	-	-
1.Фрезерувати начорно.	1,5	36,718	0,62	36,718	37,358	1,5	2,08
2.Фрезерувати начисто.	0,8	35,918	0,052	35,918	35,96	0,8	1,368

Технологічні переходи обробки поверхонь	Розрахунковий припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
				min	max	$2z_{\min}^{zp}$	$2z_{\max}^{zp}$
28H7							
Заготовка	-	24,221	1,2	24,221	25,321	-	-
1.Фрезерувати начорно.	1,5	26,401	0,52	26,401	26,821	1,5	2,18
2.Фрезерувати начисто.	0,8	27,591	0,13	27,591	27,621	0,8	1,19
3.Шліфувати.	0,4	28	0,021	28	28,021	0,4	0,409
Ø12H9							
Заготовка	-	-	-	-	-	-	-
1.Свердлити	-	11,013	0,43	11,013	11,483	-	-
2.Зенкерувати	0,4	11,733	0,11	11,733	11,843	0,4	0,72
3.Розвіртувати	0,2	12	0,043	12	12,043	0,2	0,276

2.7 Розрахунок та вибір режимів різання

2.7.1 Розрахунок режимів різання аналітичним методом

Фрезерування чорнове поверхні 61h14. Довжина фрезерування – 172 мм, ширина – 75 мм – фрезерування проводиться одночасно трьох деталей (по 25 мм).

1. Вибираємо фрезу торцеву.

- Конструктивні параметри фрези.

Матеріал інструмента – твердий сплав Т5К10. $D=100$ мм; $l=38$ мм; $z=8$; $B=75$ мм; $t=1,5$ мм.

1. Призначаємо подачу на зуб фрези.

$$S = 0,1 \text{ мм/зуб.}$$

2. Розраховуємо швидкість різання.

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v} \cdot B^u \cdot z^p} \cdot k_v,$$

де C_v - коефіцієнт залежності від виду оброблюваного матеріалу;

T - стійкість різального інструменту; $T = 120$ хв;

m, x_v, y_v, u, p - показники степені;

t - глибина різання, мм;

S - подача, мм/зуб;

D - діаметр фрези, мм;

B - ширина фрезерування, мм;

z - кількість зубців;

k_v - загальний поправочний коефіцієнт.

$$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv} \cdot k_{\varphi v} \cdot k_{\varphi_1 v} \cdot k_{rv} \cdot k_{qv}.$$

$$K_{mv} = k_z \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v};$$

$$k_z = 1,0; n_v = 1$$

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{700} \right)^{1,0} = 1,06.$$

$$k_{n_v} = 0,9; k_{u_v} = 0,65.$$

Отже, $k_v = 1,06 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,62.$

$$C_v = 332; q = 0,2; u = 0,2; p = 0; x = 0,1; y = 0,4; m = 0,2.$$

Тоді швидкість головного руху різання:

$$V = \frac{332 \cdot 100^{0,2}}{120^{0,2} \cdot 1,5^{0,1} \cdot 0,1^{0,4} \cdot 90^{0,2} \cdot 8^0} \cdot 0,62 = 194 \text{ м/хв.}$$

3. Частота обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000V}{\pi D},$$

де V - швидкість різання, м/хв;

D - діаметр фрези, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 194}{3,14 \cdot 100} = 627 \text{ об/хв.}$$

Корегуємо число обертів шпинделя за паспортними даними верстата:

$$n_{\partial} = 630 \text{ об/хв.}$$

Хвилинна подача:

$$S_{x6} = S_z \cdot z \cdot n = 0,1 \cdot 8 \cdot 630 = 504 \text{ мм/хв.}$$

Корегуємо величину хвилиної подачі по паспортним даним верстата і встановлюємо її дійсне значення:

$$S_{x6} = 500 \text{ мм/хв.}$$

Сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}, \text{ Н}$$

де C_p - коефіцієнт залежності від виду оброблюваного матеріалу;

x, y, n, u, q, w - показники степені;

D - діаметр фрези, мм;

B - ширина фрезерування, мм;

z - кількість зубців фрези.

$$\text{де } K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^{n_p};$$

$$n = 0,75;$$

$$K_{mp} = \left(\frac{7000}{750} \right)^{0,75} = 0,95$$

$$C_p = 825; x = 1,0; y = 0,75; u = 1,1; q = 1,3; w = 0,2$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 75^{1,1} \cdot 8}{100^{1,3} \cdot 630^{0,2}} \cdot 0,95 = 1400 \text{ Н.}$$

Потужність різання:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V_d}{1020 \cdot 60} = \frac{1400 \cdot 197}{1020 \cdot 60} = 4,5 \text{ кВт.}$$

Оброблення можливе, якщо виконується умова:

$$N_p \leq N_{un},$$

$$\text{де, } N_{\text{ин}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta$$

де $N_{\text{дв}}$ - потужність двигуна верстата;

η - коефіцієнт корисної дії.

Висновок: для верстата 6Р13 оброблення можливе:

$$4,5 \leq 7,5 \cdot 0,8.$$

Нормування операції.

$$T_o = \frac{L}{S_{\text{хв}}}, \text{ хв,}$$

де $L = y + l + \Delta$ - довжина проходу фрези;

y - величина врізання фрези, мм;

Δ - перебіг фрези, мм;

$S_{\text{хв}}$ - хвилинна подача фрези, мм/хв.

$$L = 172 + (0,3 \cdot 100) + 3 = 205 \text{ мм.}$$

Тоді основний технологічний час на обробку однієї деталі (ділимо отриманий час на кількість одночасно оброблюваних деталей):


$$T_o = \frac{205}{500 \cdot 3} = 0,136 \text{ хв.}$$














2.7.2 Вибір режимів різання табличним методом

В таблиці 2.8 надамо результати нормування технологічного процесу механічного оброблення деталі «плита». Розрахунок проведемо як за традиційною методикою, так і за допомогою он-лайн калькулятора Sandvik Coromant.


Таблиця 2.8 – Зведена таблиця режимів різання

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	$S_{x\phi}$, мм/хв	S , мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
005	Фрезерна 1. Фрезерувати поверхню 24h10 начорно.	2	0,5	18	0,015	1500	16	0,402
010	Фрезерна 1. Фрезерувати площину 172h14 начорно. 2. Фрезерувати площину 60h14 начорно.	2	1,5	500	-	630	197	0,224
		2	1,5	500	-	630	197	0,136
015	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати площину 36e9 начорно.	2	0,5	200	-	800	251	0,56
















Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання									
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв			
		 <div data-bbox="692 931 1372 1294"> <p>CoroMill 745</p> <ul style="list-style-type: none"> A745-076R25-21M Инструмент 745R-2109E-M31 4240 Торцевая пластина (6x) <table border="1"> <tr> <td>Max диаметр резания DCX</td> <td>91.4 mm</td> </tr> <tr> <td>Max глубина резания APMX</td> <td>5.2 mm</td> </tr> </table> <p>ШАГИ</p> <p>ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБС</p> <p>Скорость резания VC</p> <p>Подача на зуб FZ</p> <p>CO₂ EMISSIONS Carbon dioxide emission p</p> </div>						Max диаметр резания DCX	91.4 mm	Max глубина резания APMX	5.2 mm
Max диаметр резания DCX	91.4 mm										
Max глубина резания APMX	5.2 mm										
	2. Фрезерувати паз 13Н14, витримуючи розмір 25 мм одноразово.	2	11	200	-	630	86,4	0,4			

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання																
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв										
		 <div data-bbox="686 918 1372 1299"> <p>CoroMill 316</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>A316-25FMC50-10015L 1730 Инструмент</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>EN-ER32-25-025 Корпус</td> <td></td> </tr> </table> <p>Шаги</p> <p>ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА</p> <p>Скорость резания VC</p> <p>Подача на зуб FZ</p> <p>CO₂ EMISSIONS Carbon dioxide emission p</p> <table border="1"> <tr> <td>Диаметр резания DC</td> <td>25.4 mm</td> </tr> <tr> <td>Мак глубина резания</td> <td>14</td> </tr> </table> </div>								A316-25FMC50-10015L 1730 Инструмент			EN-ER32-25-025 Корпус		Диаметр резания DC	25.4 mm	Мак глубина резания	14
	A316-25FMC50-10015L 1730 Инструмент																	
	EN-ER32-25-025 Корпус																	
Диаметр резания DC	25.4 mm																	
Мак глубина резания	14																	
020	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати паз 28H7 начорно. 2. Фрезерувати паз 28H7 начисто.	1	28	33,3	-	2000	86,4	2,39										
		1	28	33,3	-	2000	86,4	2,39										

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
		<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> ФРЕЗЕРОВАНИЕ ПАЗОВ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗОЙ / ЦЕЛЬНАЯ ГОЛОВКА РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ </div>						
	3. Фрезерувати площину 172h14 начисто.	2	0,5	200	-	800	251	0,56

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання														
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв								
		 <div data-bbox="691 931 1372 1294"> <p>CoroMill 745</p> <ul style="list-style-type: none"> A745-076R25-21M Инструмент 745R-2109E-M31 4240 Торцевая пластина (6x) <table border="1"> <tr> <td>Max диаметр резания</td> <td>91.4</td> </tr> <tr> <td>DCX</td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Max глубина резания</td> <td>5.2</td> </tr> <tr> <td>APMX</td> <td>mm</td> </tr> </table> <p>ШАГИ</p> <p>ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБС</p> <p>Скорость резания VC</p> <p>Подача на зуб FZ</p> <p>CO₂ EMISSIONS Carbon dioxide emission p</p> </div>							Max диаметр резания	91.4	DCX	mm	Max глубина резания	5.2	APMX	mm
Max диаметр резания	91.4															
DCX	mm															
Max глубина резания	5.2															
APMX	mm															
	4. Фрезерувати 2 ви- бірки R30 мм.	2	0,5	200	-	800	251	1,025								

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
	5. Фрезерувати площину 60h14 начисто.	1	26	66,6	-	500	94,2	0,225

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання															
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв									
		<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 10px;"> <div style="width: 65%;"> <p>CoroMill 745</p> <table border="0"> <tr> <td></td> <td>A745-076R25-21M Инструмент</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>745R-2109E-M31 4240 Торцевая пластина (6x)</td> <td></td> </tr> </table> <table border="0" style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td>Max диаметр резания DCX</td> <td style="text-align: right;">91.4 mm</td> </tr> <tr> <td>Max глубина резания APMX</td> <td style="text-align: right;">5.2 mm</td> </tr> </table> </div> <div style="width: 30%; background-color: #f0f0f0; padding: 5px;"> <p> ШАГИ</p> <p>ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБ</p> <p>Скорость резания VC</p> <p>Подача на зуб FZ</p> <p>CO₂ EMISSIONS Carbon dioxide emission p</p> </div> </div>							A745-076R25-21M Инструмент			745R-2109E-M31 4240 Торцевая пластина (6x)		Max диаметр резания DCX	91.4 mm	Max глубина резания APMX	5.2 mm
	A745-076R25-21M Инструмент																
	745R-2109E-M31 4240 Торцевая пластина (6x)																
Max диаметр резания DCX	91.4 mm																
Max глубина резания APMX	5.2 mm																

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		i , число проходів	t , мм	S_{xg} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
025	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати площину в розмір 20 мм начорно. 2. Фрезерувати площину в розмір 20 мм начисто. 3. Зняти 2 фаски 3x45°. 4. Фрезерувати площину 36e9 та R2 начисто.	1	3,5	200	-	630	79,1	0,275
		1	0,5	125	-	800	100	0,44
		2	4,5	200	-	630	79,1	0,72
		1	28	120	-	500	20,4	0,317
		2	0,5	125	-	800	100,5	0,336
035	Плоскошліфувальна 1. Шліфувати поверхню 24h10 начисто.	1	0,25	18	0,015	1500	16	0,636
040	Плоскошліфувальна 1. Шліфувати паз 28H7 начисто.	1	0,25	18	0,015	1500	16	0,078

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
045	Свердлувальна							4,294
	Установ А							
	1. Свердлити центро- ваний отвір Ø3Н14.	2	1,5	-	0,4	800	14,35	0,138
	2. Свердлити отвір Ø18Н14.	2	8,5	-	0,4	335	18,95	0,436
	3. Зенкерувати отвір Ø18Н10.	2	0,4	-	0,35	125	6,99	1,418
	4. Розвертати отвір Ø18Н7.	2	0,1	-	0,35	90	5,09	1,994
	5. Зняти фаску 1,6x450.	2	2,0	-	0,28	800	45,2	0,022
	Установ Б	2	2,5	-	0,28	1000	15,7	0,15
	1. Свердлити отвір Ø5Н12.	2	0,5	-	1,0	400	7,5	0,136
	2. Нарізати різьбу М6-8g.							

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		i , чи- сло про- хо- дів	t , мм	S_{x6} , мм/хв	S , мм/об мм/зуб	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
050	Свердлувальна							3,932
	Установ А							
	1. Свердлити отвір Ø11Н14.	1	5,5	-	0,28	710	24,5	0,334
	2. Зенкерувати отвір Ø11,8Н10.	1	0,4	-	0,35	125	4,63	1,512
	3. Розвертати отвір Ø12Н9.	1	0,1	-	0,35	90	3,4	2,064
	4. Зняти фаску 1,6х450.	1	2,0	-	0,28	800	43	0,022
	Установ Б	1	2,0	-	0,28	800	43	0,022
	1. Зняти фаску 1,6х450.							

2.8 Нормування технологічного процесу механічного оброблення

Норма штучно-калькуляційного часу в умовах серійного виробництва визначається за формулою:

$$t_{шт.к.} = t_o + t_{дон} + t_{обс} + t_{відп} + \frac{T_{н.з.}}{n},$$

де t_o - основний технологічний (машинний) час, хв;

$t_{обс}$ - час обслуговування (організаційного, технічного) робочого місця, хв;

$t_{відп}$ - час відпочинку та особистих потреб робітника, хв;

$T_{н.з.}$ - підготовчо-заключний час на ознайомлення з технологічною документацією, який визначається партію деталей, хв;

n - розмір партії деталей, шт;

$t_{дон}$ - допоміжний час, який складається:

$$t_{дон} = t_{в.з.} + t_{з.в.} + t_k + t_{зуп} + t_{вим},$$

де $t_{в.з.}$ - час на встановлення, зняття заготовки, хв;

$t_{з.в.}$ - час закріплення та відкріплення заготовки, хв;

t_k - час прийомів керування верстатом, хв;

$t_{вим}$ - час технічних вимірювань заготовки, хв.

Розмір партії деталей розраховується, виходячи із річної програми випуску:

$$n = \frac{N \cdot a}{253},$$

де a - число днів випередження механічної обробки перед складанням, $a=12$;

253 – число робочих днів у році.

$$n = \frac{2000 \cdot 12}{253} \approx 100 \text{ шт.}$$

$$t_o = 0,402 \text{ хв}; t_{e.з.} = 0,02 \text{ хв}; t_{з.в.} = 0,06 \text{ хв. } t_k = 0,01 \text{ хв}; t_{вим} = 0,03 \text{ хв.}$$

Отже, оперативний час становить:

$$t_{on} = 0,402 + 0,02 + 0,06 + 0,01 + 0,03 = 0,862 \text{ хв.}$$

Час технічного обслуговування верстата:

$$T_{mex} = \frac{T_{зм} \cdot T_o}{T}, \text{ хв}$$

де $T_{зм}$ - час зміни інструменту, $T_{зм} = 2,4 \text{ хв}$;

T - стійкість інструменту, хв; $T = 60$.

$$T_{mex} = \frac{2,4 \cdot 0,402}{60} = 0,016 \text{ хв.}$$

Час організаційного обслуговування робочого місяця:

$$t_{орг} = 2,8\%t_o = 2,8 \cdot 0,862 = 0,024 \text{ хв.}$$

Час відпочинку та особистих потреб робітника:

$$t_{відп} = 7\%t_{он} = 0,07 \cdot 0,862 = 0,06 \text{ хв.}$$

Отже, штучний час:

$$t_{шт} = t_{он} + t_{відп} + t_{мех} + t_{орг} = 0,862 + 0,016 + 0,024 + 0,06 = 0,962 \text{ хв.}$$

Підготовчо - заключний час:

$$T_{п.з.} = 25 \text{ хв.}$$

Отже, штучно – калькуляційний час на виконання операції становить:

$$t_{шт.к.} = 0,962 + \frac{25}{100} = 1,212 \text{ хв.}$$

На всі інші операції розрахунок проводимо аналогічно, а результати розрахунків зводимо в таблицю 2.9.

2.9 Генерування керуючої програми оброблення на верстаті

Автоматичне генерування керуючої програми для операції 025 – фрезерної з ЧПК проводиться за допомогою програми CAM SolidWorks. Операція 025 проводиться на вертикально-фрезерному верстаті HAAS VF-1 (рис. 2.3).

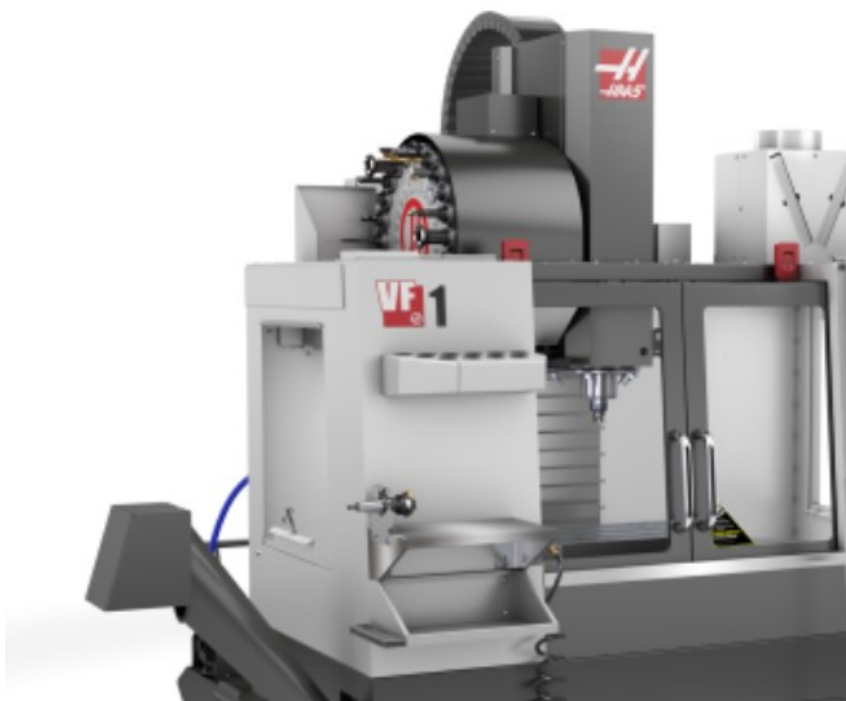


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд верстата HAAS VF-1

Основні етапи генерування керуючої програми

1. Створення 3D-моделі деталі (рис. 2.4).

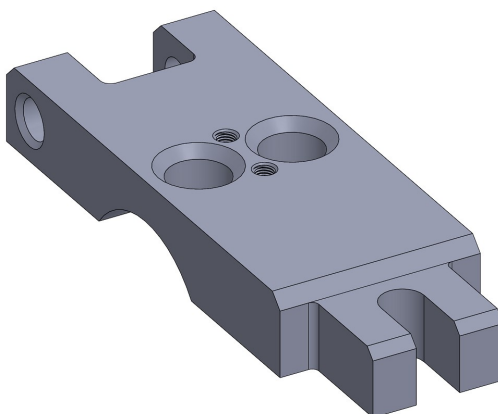


Рисунок 2.4 – 3D модель деталі «плита»

2. Імпорт моделі у CAM SolidWorks.

Після завантаження 3D-моделі у CAM SolidWorks, визначення координатної системи для раціонального базування деталі при фрезеруванні, обираємо обладнання, різальний інструмент та встановлюємо параметри режиму різання.

3. На наступному етапі створюється траекторія руху інструменту для кожного технологічного переходу (рис. 2.5, 2.6, 2.7).

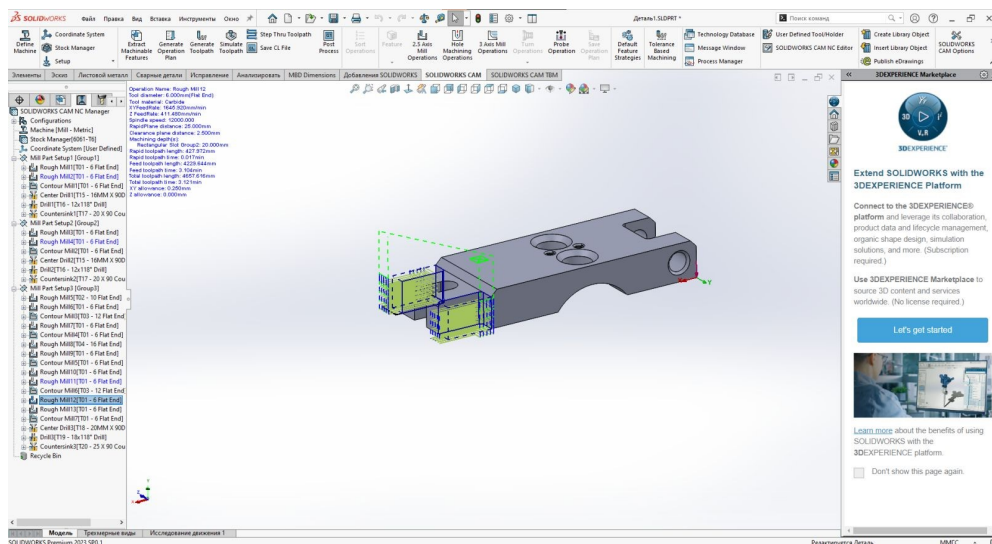


Рисунок 2.5 – Траекторія обробки - фрезерування бокової поверхні

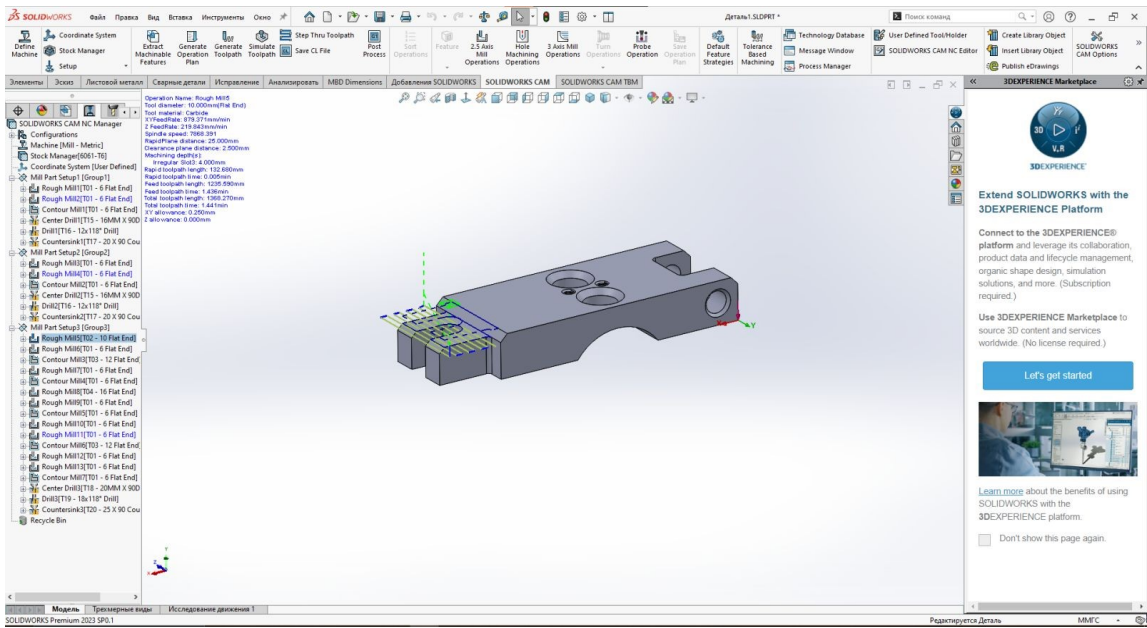


Рисунок 2.6 – Траекторія обробки - фрезерування верхньої площини

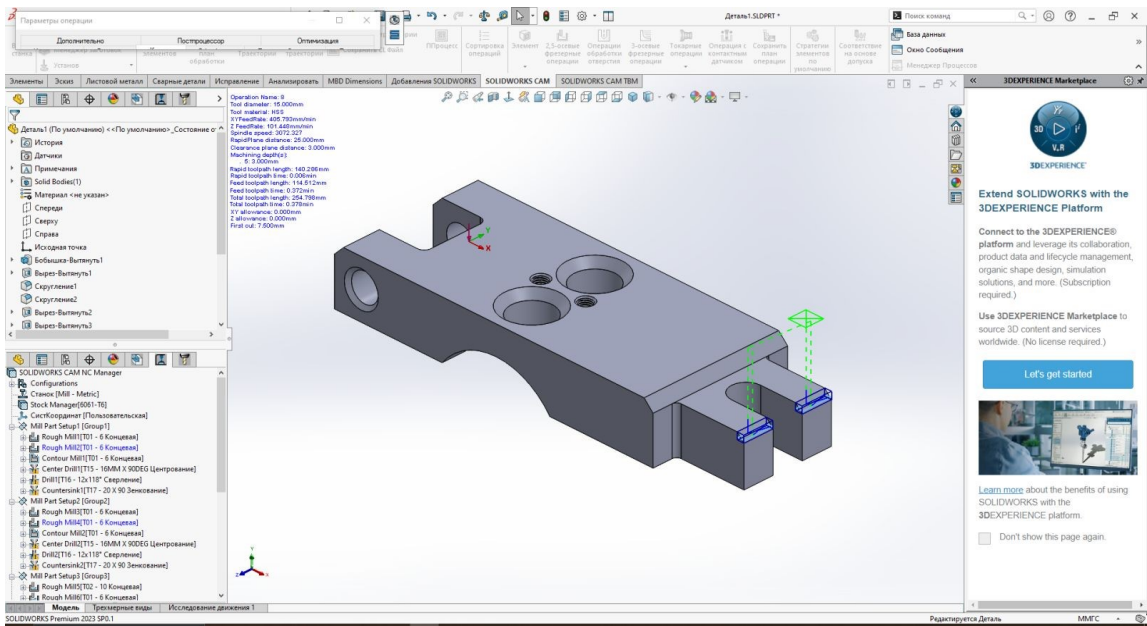


Рисунок 2.7 – Траекторія обробки - фрезерування фасок

4. На четвертому етапі проводиться симуляція оброблення для перевірки траєкторії руху інструменту (рис. 2.8, 2.9, 2.10) для запобігання некоректних випадків оброблення або перебільшення значення допустимих відхилень від номінальних розмірів, а також для унеможливлення зіткнень інструменту під час оброблення.

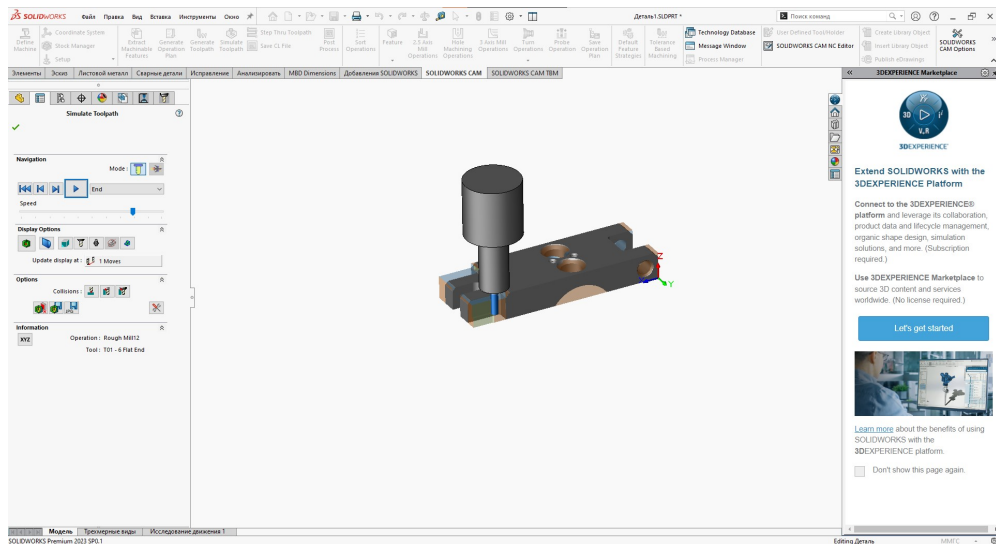


Рисунок 2.8 – Симуляція фрезерування бокової поверхні

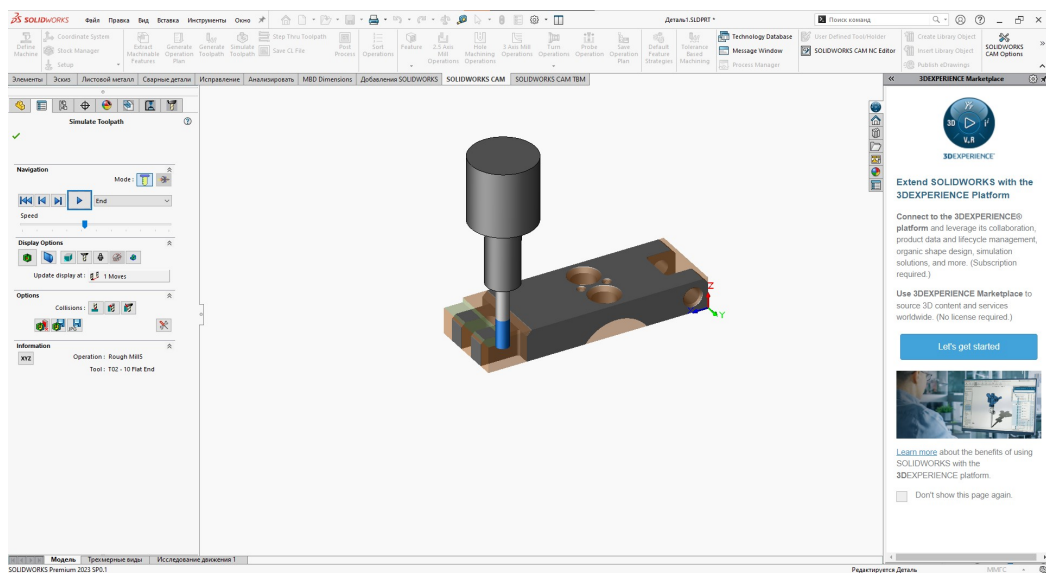


Рисунок 2.9 – Симуляція фрезерування верхньої площини

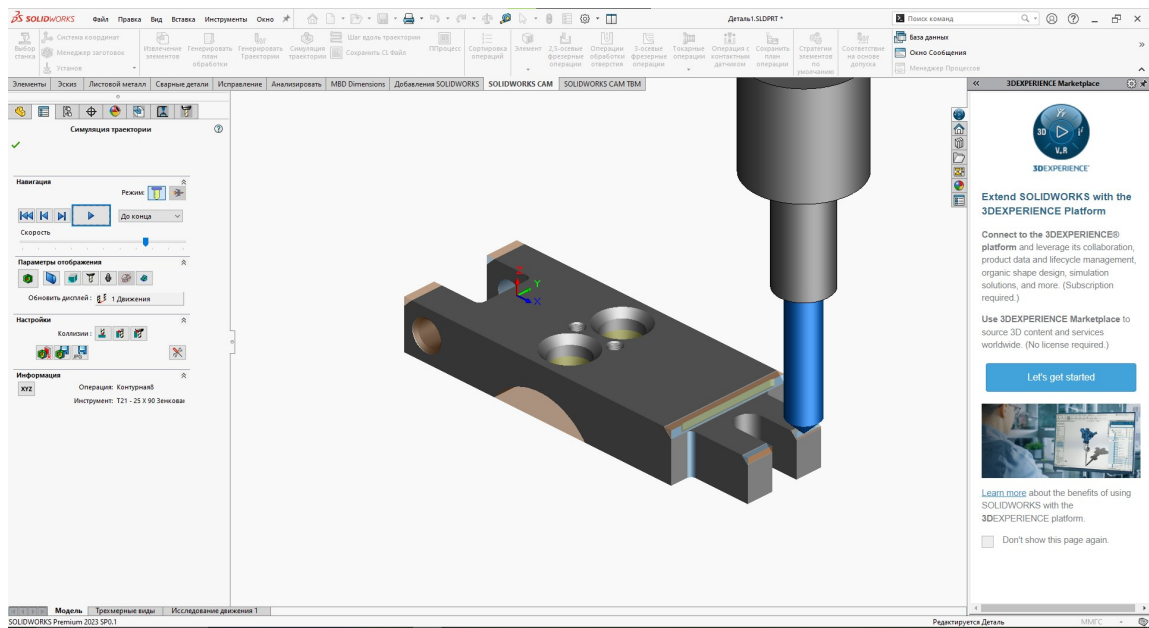


Рисунок 2.10 – Симуляція фрезерування фасок

5. На цьому етапі відбувається автоматичне генерування G-коду. Фрагмент керуючої програми наведено на рисунку 2.11.

```
p0001
N1 G17 G21 G40 G80
N2 (6MM CRB 2FL 19 LOC)
N3 G91 G28 X0 Y0 Z0
N4 T01 M06
N5 S12000 M03

N6 ( Rough Mill1 )
N7 G90 G54 G00 X93.811 Y-7.5
N8 G43 Z62.5 H01 M08
N9 G01 Z57. F411.48
N10 Y-6.355 F1645.92
N11 X91.549 Y-3.338
N12 G03 X52.451 R24.436
N13 G01 X50.189 Y-6.355
N14 Y-7.5
N15 Z54.156 F411.48
N16 Y-6.355 F1645.92
N17 X52.451 Y-3.338
N18 G02 X91.549 R24.436
N19 G01 X93.811 Y-6.355
N20 Y-7.5
N21 Z51.313 F411.48
N22 Y-6.355 F1645.92
N23 X91.549 Y-3.338
N24 G03 X52.451 R24.436
N25 G01 X50.189 Y-6.355
N26 Y-7.5
N27 Z48.469 F411.48
N28 Y-6.355 F1645.92
N29 X52.451 Y-3.338
N30 G02 X91.549 R24.436
N31 G01 X93.811 Y-6.355
N32 Y-7.5
N33 Z45.625 F411.48
N34 Y-6.355 F1645.92
N35 X91 549 Y-3 338
```

Рисунок 2.11 – Фрагмент керуючої програми

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування верстатного пристрою для закріплення деталі при фрезеруванні площини в розмір 61h14.

3.1.1 Принцип роботи пристрою

Пристрій спроектовано для операції 010 і застосовується для забезпечення нерухомого закріплення заготовки при фрезеруванні площини в розмір 61h14. Пристрій є універсальним, що важливо для серійного типу виробництва.

Використання даного пристрою забезпечить точне і швидке встановлення оброблюваних деталей в спроектованому пристрої.

Через штуцер в безштокову порожнину подається стисле повітря, яке давить на поршень. Поршень здійснює поступальний рух, тим самим штовхаючи з'єднаний із ним клин, який давить на важіль зі скосом 10^0 . Важіль при цьому робить обертовий рух, що дає можливість давити коротким кінцем на розсувну губку призми, таким чином, змушуючи її рухатись в напрямку заготовки. Відбувається затискання заготовки, оскільки з іншої її сторони встановлено нерухому призму.

Заготовка звільняється при зникненні тиску стислого повітря. Тиск стислого повітря зникає під дією пружини, тому що поршень, клин та губка займають вихідні позиції.

3.1.2 Вибір основних елементів пристрою

Для встановлення заготовки приймаємо плоскі опори. Умовне позначення – пластина опорна. Розміри інших деталей вибираємо конструктивно при розробленні складального кресленика пристрою.

Вибір матеріалів і ТО основних деталей пристрою.

Опори виготовляємо зі сталі 40Х з гартуванням HRC 56...61.

Вставні пластини для губок лещат виготовляємо з твердістю HRC 56...61 на глибину $h=0,8-1,2$ мм.

Конструкція корпусу пристрою.

Приймаємо корпус пристрою суцільним із чавуну. Форма корпусу - паралелепіпед. Корпус базується на столі верстата за допомогою шпонок та з'єднується зі столом за допомогою болтів по провущинам в основі корпусу.

3.1.3 Розрахунок сил затискання і основних елементів приводу

Схема базування заготовки при фрезеруванні площини наведена на рис. 3.1.

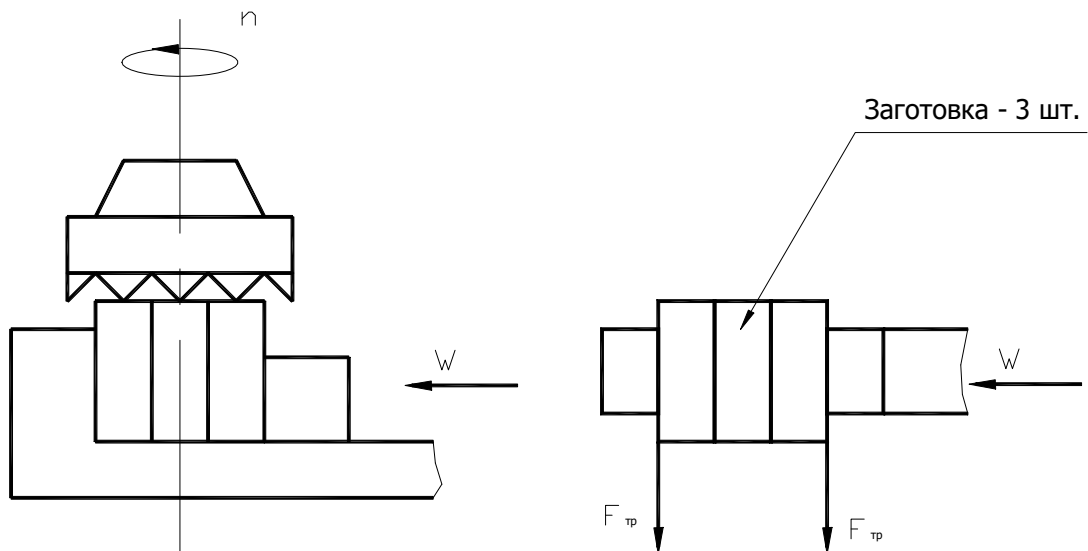


Рисунок 3.1 - Схема встановлення деталі

Величина сил затискання при фрезеруванні визначається за формулою:

$$W = \frac{k \cdot P_z}{2f},$$

де f - коефіцієнт тертя, $f = 0,25$;

k - коефіцієнт запасу;

P_z - сила різання, $P_z = 1400 \text{ Н}$ - із розрахунків режиму різання.

Визначаємо коефіцієнт запасу:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \geq [2,5],$$

де $k_0 = 1,5$ - нормативний коефіцієнт запасу;

$k_1 = 1,0$; $k_2 = 1,2$; $k_3 = 1,2$; $k_4 = 1,2$; $k_5 = 1,0$; $k_6 = 1,0$.

Отже,

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,16.$$

Приймаємо $k = 2,5$.

Тоді сила затискання становить:

$$W = \frac{2,5 \cdot 1400}{2 \cdot 0,25} = 7000 \text{ Н}.$$

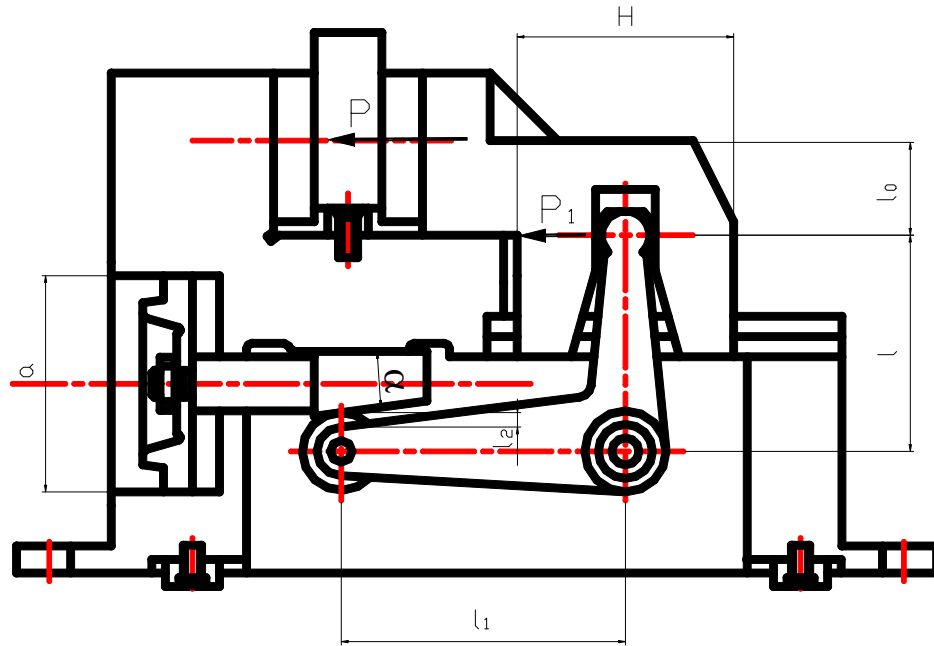


Рисунок 3.2 - Вибір кінематичної схеми

$P = W = 7000 \text{ H}$; $l_0 = 30 \text{ мм}$; $l = 50 \text{ мм}$; $l_1 = 85 \text{ мм}$; $l_2 = 10 \text{ мм}$; $H = 80 \text{ мм}$; $\alpha = 10^\circ$.

Приймаємо закріплення заготовки рухомою губкою. Для збільшення сили зати- скання і зменшення габаритних розмірів пристрою приймаємо важелі, які ма- ють два плеча 85/50 мм. Застосовуємо проміжні збільшуючі ланки – клиновий механізм.

Розрахунок основних параметрів привода затискного механізму.

$$Q = (P_1 + q) \cdot \frac{l}{\text{ctg } \alpha \cdot l_1 - l_2} - \frac{1}{\eta_{\text{заг}}},$$

де $\eta_{\text{заг}}$ - загальний коефіцієнт корисної дії, $\eta_{\text{заг}} = 0,85$;

q - сила пружини, $q = 50 \text{ H}$;

$$P_1 = W \cdot \frac{1}{1 - \frac{3l_0}{H} \cdot f},$$

де f - коефіцієнт тертя, $f = 0,25$.

$$P_1 = 7000 \cdot \frac{1}{1 - \frac{3 \cdot 30}{80} \cdot 0,25} = 9739 \text{ Н};$$

$$Q = (9739 + 50) \cdot \frac{50}{\operatorname{ctg} 10^\circ \cdot 85 - 10} - \frac{1}{0,85} = 1179 \text{ Н}.$$

Визначаємо основні розміри пневматичного циліндра.

За прийнятою кінематичною схемою стисле повітря подається у безштокову порожнину. В штоковій порожнині є зворотна пружина, яка має силу 50 Н, тоді сила затискання:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P \cdot \eta - q,$$

де D - діаметр циліндра, мм;

P - тиск стислого повітря в пневматичній мережі, $P = 4$ МПа;

q - зусилля пружини, $q = 50$ Н;

η - коефіцієнт корисної дії, $\eta = 0,9$.

Діаметр пневматичного циліндра становить:

$$D = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot P \cdot \eta} + q};$$

$$D = \sqrt{\frac{1179 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,9}} + 50 = 65 \text{ мм.}$$

Приймаємо із нормального ряду $D = 80$ мм.

Діаметр штока $d_{шт} = 25$ мм.

Дійсне зусилля, що створює обраний пневматичний циліндр становить:

$$Q_d = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P \cdot \eta - q;$$

$$Q_d = \frac{\pi \cdot 80^2}{4} \cdot 0,63 \cdot 0,9 - 50 = 2848 \text{ Н.}$$

Розрахунок величини ходу поршня.

$$S_w = \Delta_{зап} + TH + \frac{W_q}{I_b} + \Delta S_w,$$

де $\Delta_{зап}$ - гарантований зазор для вільної установки заготовки, $\Delta_{зап} = 0,4$ мм;

ΔS_w - запас переміщення, який враховує похибку виготовлення механізму,

$\Delta S_w = 0,4$ мм;

TH - допуск на розмір, $TH = 0,25$ мм;

I_b - жорсткість механізму.

Отже,

$$S_w = 0,4 + 0,25 + \frac{2848}{2000} + 0,4 = 2,47 \text{ мм.}$$

Для точки дотику клина і важеля, враховуючи плечі важеля:

$$S_{Q1} = S_w \cdot \frac{l_1}{l} = 2,47 \cdot \frac{85}{50} = 4,2 \text{ мм};$$

$$S_Q = S_{Q1} \cdot \sin \alpha = 4,2 \cdot \sin 10^\circ = 23,8 \text{ мм}.$$

Приймаємо $S_Q = 25 \text{ мм}$.

3.1.4 Розрахунок деталей пристрою на міцність

Розрахунок штифта, на якому обертається важіль.

Найбільше навантаження сприймає вісь штифта, на якому базується важіль. Схема для розрахунку наведена на рисунку 3.3.

Приймаємо, що до початку важеля прикладена сила Q_p , $Q_p = 2848 \text{ Н}$, $W = 7000 \text{ Н}$.

Розраховуємо найбільше навантаження, яке сприймає вісь (рис. 3.3):

$$\sum M_A(F_i) = -R + W \cdot 50;$$

$$R_1 = W \cdot \frac{50}{85} = 7000 \cdot \frac{50}{85} = 4117 \text{ Н};$$

$$\sum M_B(F_i) = -Q \cdot 50;$$

$$R_z = Q \cdot \frac{85}{50} = 2848 \cdot \frac{85}{50} = 4841 \text{ Н}.$$

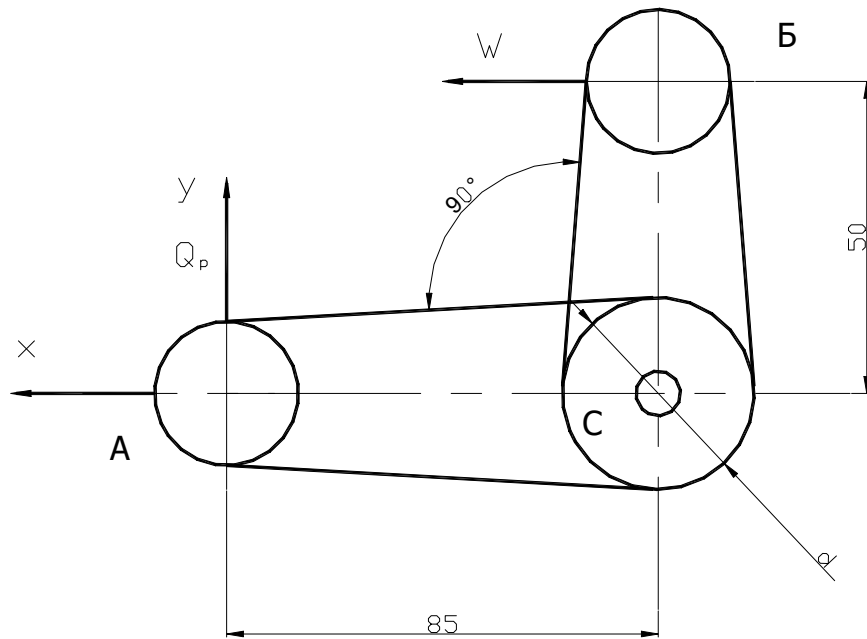


Рисунок 3.3 - Розрахункова схема

Умова міцності на зрізання:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{i \cdot \frac{\pi d}{4}} \leq [\tau_{зр}],$$

де Q - сила, що діє на вісь;

d - діаметр осі;

i - число площин зрізу;

$[\tau_{зр}]$ - допустиме напруження на зріз, $[\tau_{зр}] = 140 \text{ Н/мм}^2$.

Звідси діаметр осі становить:

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{i \cdot \pi \cdot [\tau_{зр}]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4841}{2 \cdot 3,14 \cdot 140}} = 4,65 \text{ мм.}$$

Приймаємо $d = 10$ мм.

Проведемо перевірочний розрахунок на зминання:

$$\tau_{зм} = \frac{Q}{d \cdot [\tau_{зр}]} = \frac{4841}{10 \cdot 320} = 1,52 \text{ мм.}$$

Висновок: діаметр штифта обрано правильно.

Розрахунок діаметру різьби болтів кріплення кришки пневматичного циліндра.

Для розрахунку приймаємо тиск в пневматичній мережі $P = 0,63$ МПа. Тоді дійсна сила, що розвивається в пневматичному циліндрі, яка в подальшому буде діяти на кришку пневматичного циліндра, становить:

$$Q_{ц} = 2848 \text{ Н.}$$

Приймаємо кількість болтів $z = 6$ шт. Матеріал прокладки – гума. Матеріал болта – сталь 45, $\sigma_{г} = 650$ МПа.

Для різьбових з'єднань коефіцієнт запасу твердості $[S_T] = 4,5$ і діаметр різьби лежить в межах 6...16 мм.

Границя текучості сталі $\sigma_T = 300$ Н/мм².

Допустиме навантаження розтягування:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_T}{S_T} = \frac{300}{4,5} = 66,7 \text{ Н/мм}^2.$$

Навантаження на один болт:

$$F = \frac{Q_p}{z} = \frac{2100}{6} = 350 \text{ Н}.$$

Для герметичності з'єднання болти встановлюють із попередньою затяжкою при складанні.

Враховуючи гумову прокладку, приймаємо коефіцієнт $\chi = 0,45$.

При постійному навантаженні коефіцієнт запасу попереднього затягування $k = 1,75$.

Сила попереднього затягування:

$$F_0 = k \cdot (1 - \chi) \cdot F,$$

$$F_0 = 1,75 \cdot (1 - 0,45) \cdot 350 = 457 \text{ Н}.$$

$$F_{розр} = 1,3 \cdot F_0 + \chi \cdot F,$$

$$F_{розр} = 1,3 \cdot 457 + 0,45 \cdot 2848 = 1876 \text{ Н}.$$

Розрахунковий діаметр болта:

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot F_{розр}}{\pi \cdot [\sigma_p]}},$$

$$d_p \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1876}{3,14 \cdot 66,7}} = 5,98 \text{ мм}.$$

Приймаємо різьбу М10.

3.1.5 Розрахунок пристрою на точність

Обираємо схему базування та закріплення заготовки (рис. 3.4).

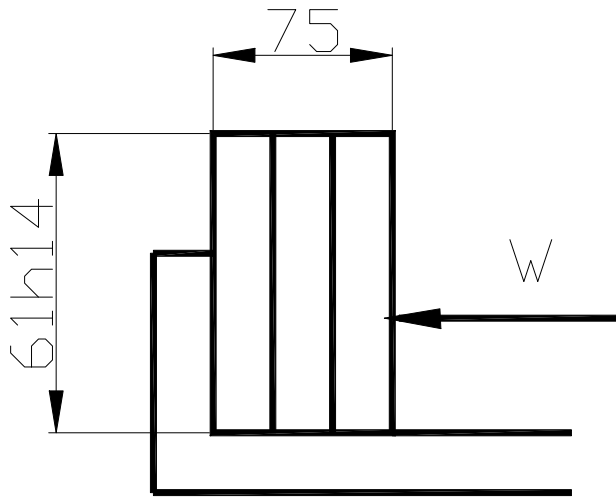


Рисунок 3.4 - Схема для розрахунку

Похибка базування для даної схеми пристрою $\varepsilon_{\delta} = 0$.

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = \left[\left(K_{Rz} \cdot R_z + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \cdot \left(\frac{Q}{19,6 \cdot l} \right)^m,$$

де R_z - шорсткість поверхні, $R_z = 20$ мкм;

HB - твердість матеріалу, $HB 200$;

Q - сила, яка діє по нормалі до опори, $Q = 1808$ Н;

l - довжина твірної, по якій проходить контакт, $l = 75$ мм;

K_{Rz}, K_{HB}, C_1 - коефіцієнти, $K_{Rz} = 0,005, K_{HB} = 15, C_1 = 34,7$;

m - показник степені, $m = 0,6$.

$$\varepsilon_3 = \left[\left(0,005 \cdot 20 + \frac{15}{200} \right) + 34,7 \right] \cdot \left(\frac{1808}{19,6 \cdot 75} \right)^{0,6} = 0,0112 \text{ мм.}$$

Похибка пристрою:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_{виз}^2 + \varepsilon_{зн}^2 + \varepsilon_{ор.пр}^2},$$

де $\varepsilon_{виз} = 0,005$ - похибка виготовлення установчих елементів;

$\varepsilon_{зн} = 0,00295$ мм- похибка зношування базових елементів;

$\varepsilon_{ор.пр} = 0,01$ - похибка орієнтації пристрою на верстаті.

Отже:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{0,005^2 + 0,00295^2 + 0,01^2} = 0,0031 \text{ мм.}$$

Твердість робочої поверхні губок HRC 45...55.

Категорія зношування для матеріалу заготовки – сталь 45 без гартування і матеріалу губок – сталь 40Х з гартуванням.

Сила, що діє на установчий елемент $P = W = 1808 \text{ Н}$. Нормальна площа дотику опорного елемента:

$$F = 640 \cdot l = 1280 \text{ мм}^2 \text{ (2 пластини).}$$

Критерій навантаження опорного елемента:

$$P_2 = \frac{P}{10 \cdot F \cdot HB} = \frac{7000}{10 \cdot 1280 \cdot 600} = 9,11 \cdot 10^{-4}.$$

Величина зносостійкості при $P_2 = 9,11 \cdot 10^{-4}$ становить: $P_1 = 0,97$.

Поправочний коефіцієнт:

$$k = k_q \cdot k_l \cdot k_y,$$

де k_q - коефіцієнт, який враховує час нерухомого контакту

$$k_q = 0,79 \cdot T_o = 0,79 \cdot 0,382 = 0,302;$$

k_l - коефіцієнт, який враховує довжину шляху ковзання $k_l = 1,25$;

k_y - коефіцієнт, який враховує умови обробки, $k_y = 0,94$.

Отже,

$$k = 0,302 \cdot 1,25 \cdot 0,94 = 0,354.$$

Величина фактичної зносостійкості:

$$C_\phi = \frac{C}{k} = \frac{2400}{0,354} = 6775,6 \text{ установок/мкм.}$$

Нормальне зношення пристрою $N = 2000$ установок за умовою

$$H = \frac{N}{C_\phi} = \frac{2000}{6779,6} = 0,295 \text{ мкм.}$$

Допустима сумарна похибка пристрою:

$$\varepsilon_{np}^{\delta} = \delta - k \omega = 0,74 - 0,6 \cdot 0,28 = 0,572 \text{ мм},$$

де $\delta=0,74$ мм – допуск на номінальний розмір;

$k=0,6$ – коефіцієнт точності оброблення;

$\omega=0,28$ – коефіцієнт економічної точності оброблення.

Таким чином можна зробити висновок, що дана схема базування є раціональною, оскільки умова виконується:

$$\varepsilon_y < \varepsilon_{np}^{\delta}. \quad (0,007 < 0,572).$$

3.1.6 Розроблення технічних вимог до пристрою

Схема базування пристрою наведена на рисунку 3.5.

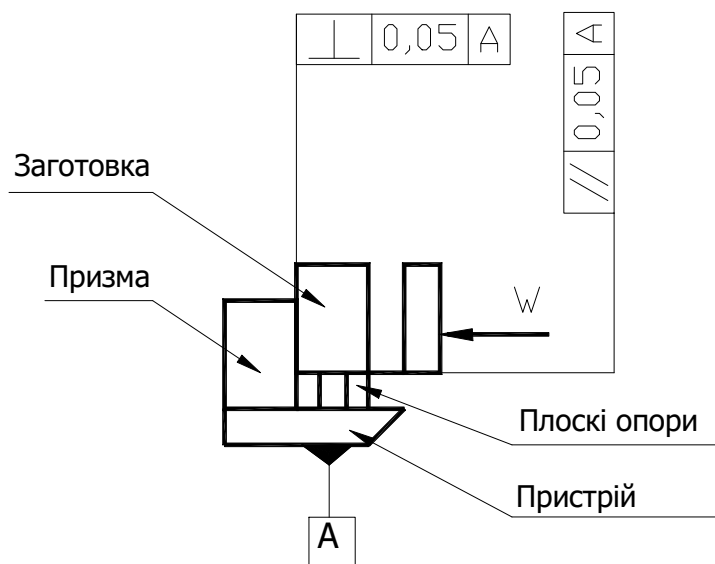


Рисунок 3.5 - Схема базування пристрою

Оскільки завжди має місце неточність виготовлення пристрою, встановлюємо додаткові технічні вимоги до його складання та виготовлення.

Допуск непаралельності плоских опор відносно стола не повинен бути більшим за 0,05 мм на кожні 100 мм довжини.

Допуск неперпендикулярності поверхні призми відносно стола не повинен бути більшим за 0,05 мм.

3.1.7 Питання техніки безпеки при роботі із пристроєм

Зовнішні елементи пристрою не повинні мати нерівності, зазубрини і гострі кромки.

Величина шорсткості зовнішніх поверхонь повинна бути меншою ніж $Ra = 1,25$ мкм.

Висота від пола до органу керування пристрою повинна бути 1000-1600 мм.

Рукоятка пристрою не повинна потрапляти до робочої зони.

Пневматичний циліндр повинен мати редуктор тиску.

Корпуси органів керування пневматичного привода повинні мати різне забарвлення.

Освітлення має відповідати вимогам «ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»» [21].

3.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

3.2.1 Розроблення схеми вимірювання

За технічними вимогами креслення необхідно контролювати симетричність пазу 28H7 відносно отворів $\varnothing 18H7$. Така технічна вимога є необхідною для того, щоб була витримана точність встановлення плити в пристрій.

Схема вимірювання деталі наведена на рисунку 3.6.

Для контролювання симетричності пазу 28H7 відносно отворів $\varnothing 18H7$ проектуємо наступний пристрій.

На плиту кріпимо повзун із встановленими на ній двома пальцями $\varnothing 18$, що слугують для базування деталі. Повзун із деталлю, що контролюється, рухається по напрямній, чим підводить деталь до контактування із важелями, які пов'язані з індикаторами. Важелі іншим своїм кінцем тиснуть на ніжки індикаторів, внаслідок чого стрілки відхиляються. Таким чином визначається симетричність пазу 28H7 відносно отворів $\varnothing 18H7$.

Індикатори для контролювання симетричності пазу 28H7 відносно отворів $\varnothing 18H7$ встановлюється на кронштейнах.

В місці контактування індикатора з поверхнею деталі стрілку спочатку виставляємо на „нуль”.

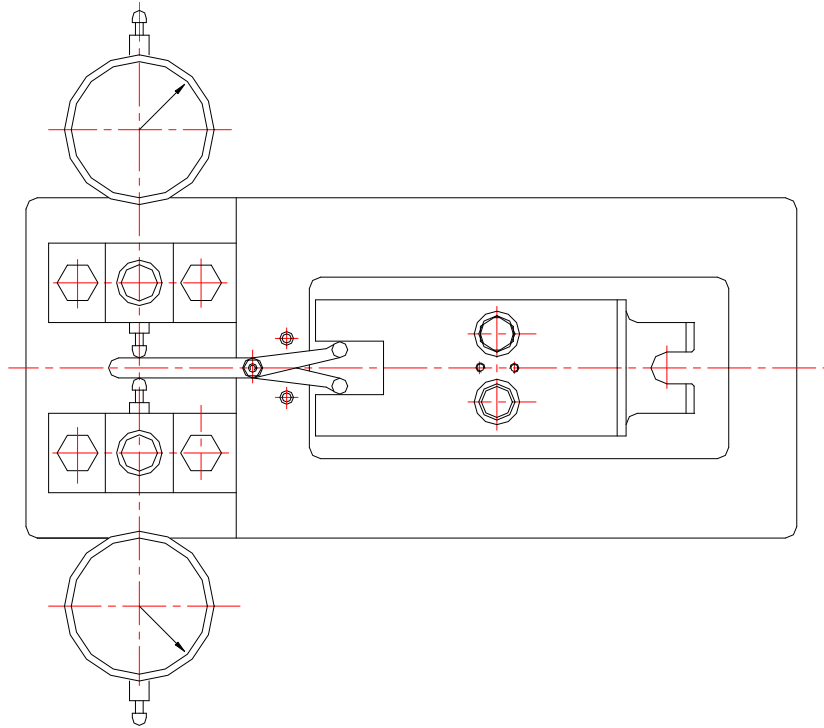


Рисунок 3.4 - Схема вимірювання симетричності
пазу 28H7 відносно отворів Ø18H7

3.2.2 Розрахунок пристрою на точність

Сумарна похибка контрольно-вимірювального пристрою:

$$\varepsilon = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{(k_y \cdot \varepsilon_y)^2 + (k_n \cdot \varepsilon_n)^2 + (k_{p.c.} \cdot \varepsilon_{p.c.})^2},$$

де ε , ε_y , ε_n , $\varepsilon_{p.c.}$ - сумарна похибка вимірювання та її складові;

k , k_y , k_n , $k_{p.c.}$ - коефіцієнти відносного розсіювання.

Похибка розмірного налагодження є систематичною величиною, тому її виключаємо із сумарної похибки. Похибка розмірного спрацювання є дуже малою, оскільки притискання щупів до контрольованих поверхонь відбувається завжди із

малими зусиллями. Тому сумарна похибка контрольно-вимірального пристрою:

$$\varepsilon = \varepsilon_y = \frac{1}{k_y} \cdot \sqrt{(k_{\delta} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + (k_3 \cdot \varepsilon_3)^2 + (k_{np} \cdot \varepsilon_{np})^2}$$

де ε_{δ} , ε_3 , ε_{np} - відповідно похибки базування, закріплення деталей, виготовлення пристроїв, мм;

k_{δ} , k_3 , k_{np} - коефіцієнти розсіювання.

Дві останні складові похибки в формулі вилучаємо із розрахунків, оскільки ε_{np} є величиною систематичною. Її величину компенсуємо еталонними мірами під час налагодження пристрою, а похибкою закріплення нехтуємо внаслідок її малого значення. Тому похибку контрольно-вимірального пристрою визначаємо як похибку базування деталі у пристрої за формулою:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\delta} < \eta \cdot T,$$

де η - коефіцієнт запасу, $\eta = 2,5$;

T - допуск на розмір, що контролюється, згідно завдання $T = 0,05$ мм.

Похибка базування $\varepsilon_{\delta} = 0,5T = 0,025$ мм.

Пристроєм можна користуватись, якщо виконується умова:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\delta} < \varepsilon_{np}^{\delta}.$$

Умова виконується:

$$0,025 < 2,5 \cdot 0,05,$$

$$0,025 < 0,125.$$

4 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Аналіз твердотільної моделі деталі «Плита PL-25-001» з використанням SolidWorks Simulation

Метою даного дослідницького розділу є верифікація конструктивних параметрів деталі «Плита» шляхом застосування CAD-середовища, оснащеного інтегрованим CAE-функціоналом. Модуль SolidWorks Simulation являє собою інженерний інструмент аналізу, що базується на методі кінцевих елементів і призначений для оцінювання напружено-деформованого стану корпусних елементів, які зазнають зовнішніх силових впливів. Геометричну модель деталі «Плита» було сформовано у програмному комплексі SolidWorks.

Даний розділ включає такі послідовні етапи: задання вихідних даних, генерація сітки кінцевих елементів, проведення статичного аналізу та оцінювання напруженого стану.

Проведення статичного міцнісного аналізу корпусної деталі є одним із ключових етапів формування оптимальної конструкції, оскільки дозволяє врахувати реальні експлуатаційні умови, режими роботи та фізико-механічні характеристики матеріалу. Використання суто аналітичних методів для визначення напружено-деформованого стану подібних елементів є малоефективним через значну складність математичних залежностей, трудомісткість розрахунків, обмеженість емпіричних моделей, а також необхідність спрощення геометрії та схем навантаження.

Застосування CAE-аналізу для деталей типу плити, що виконують роль базових елементів у складанні виробу, є технічно обґрунтованим. Дослідження конструкції без обмежень щодо її форми, складності чи характеру прикладених навантажень можна провести шляхом застосування чисельних методів механіки деформованого твердого тіла, зокрема метод кінцевих елементів.

4.1.1. Завдання вхідних даних

Матеріалом досліджуваної деталі є легована сталь 40Х, ДСТУ 7806:2015. Поверхня моделі знаходиться під силовим навантаженням величиною 1000 Н (рис. 4.1), яке відповідає реальним експлуатаційним вимогам та визначене згідно з технічними умовами на деталь.

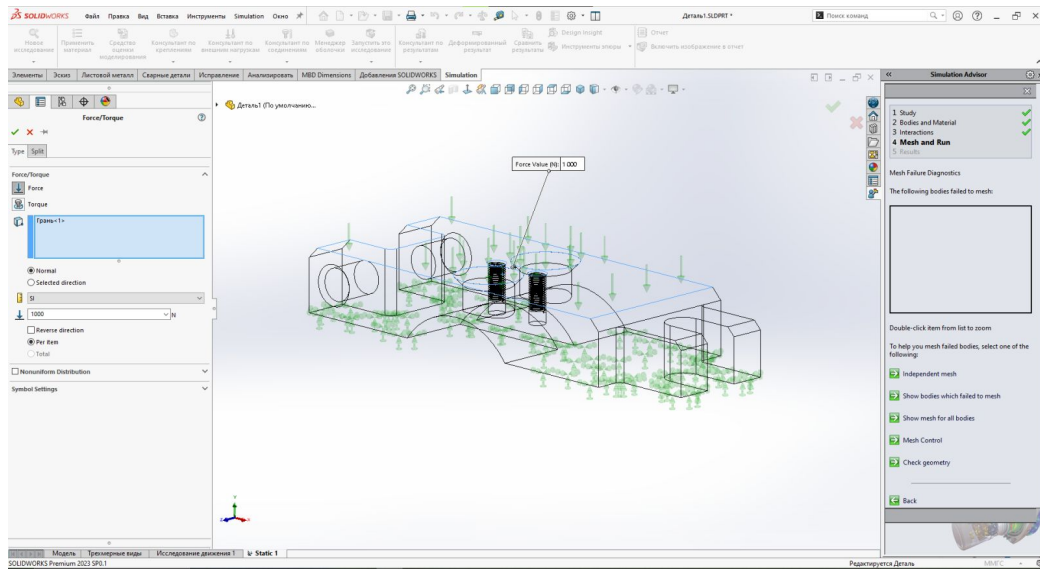


Рисунок 4.1 — Умови навантаження

4.1.2. Генерація сітки кінцевих елементів

Для проведення аналізу була створена сітка кінцевих елементів, яка складається з трикутних елементів. Якість сітки задовільна, помилок при генерації не виявлено (рис. 4.2).

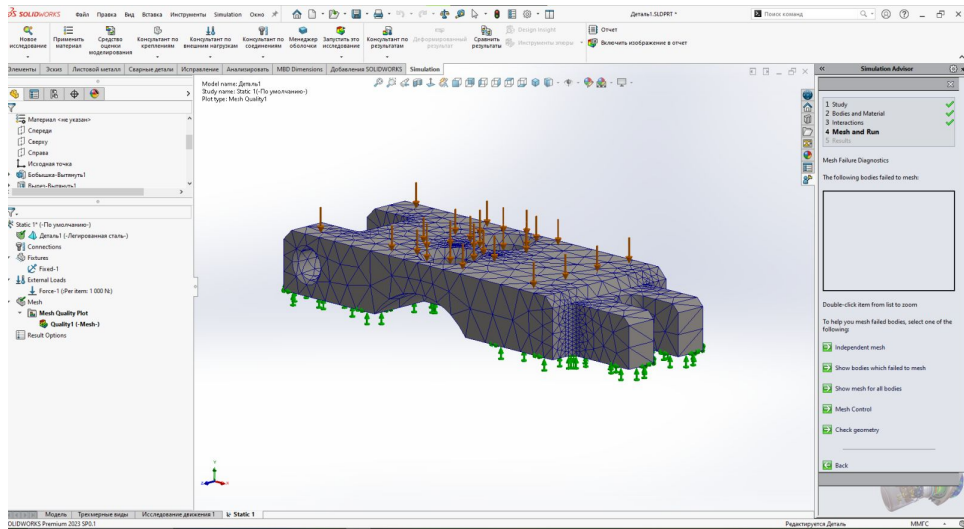


Рисунок 4.2 — Сітка кінцевих елементів

4.1.3. Статичний аналіз

Після побудови сітки було проведено статичний аналіз. Отримано епюру деформацій, яка показує максимальне переміщення $7.73444\text{e-}08$ мм, що є допустимим для даної конструкції (рис. 4.3).

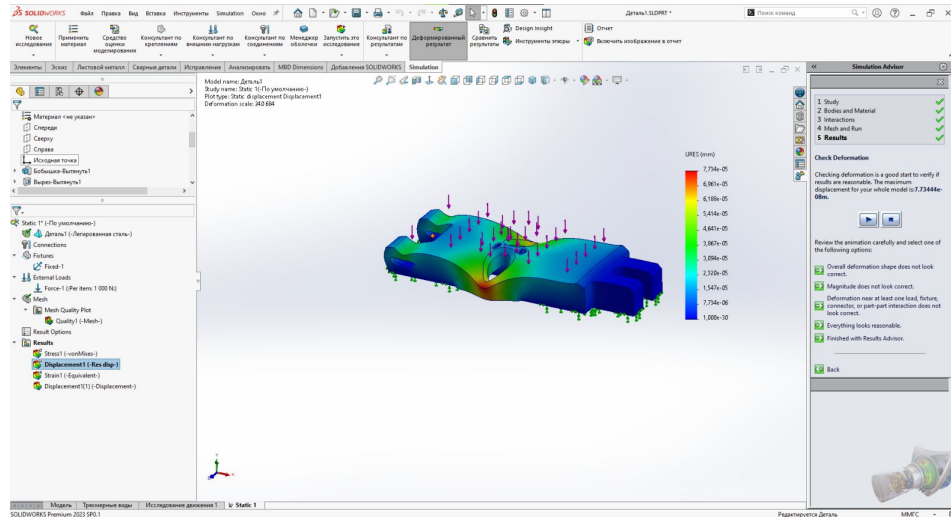


Рисунок 4.3 — Епюра переміщення

4.1.4. Аналіз напружень

Епюра напружень за критерієм Мізеса показує максимальне значення $6.274e+05 \text{ Н/м}^2$, що значно нижче межі текучості матеріалу ($6.204e+08 \text{ Н/м}^2$). Це свідчить про працездатність конструкції без ризику руйнування (рис. 4.4).

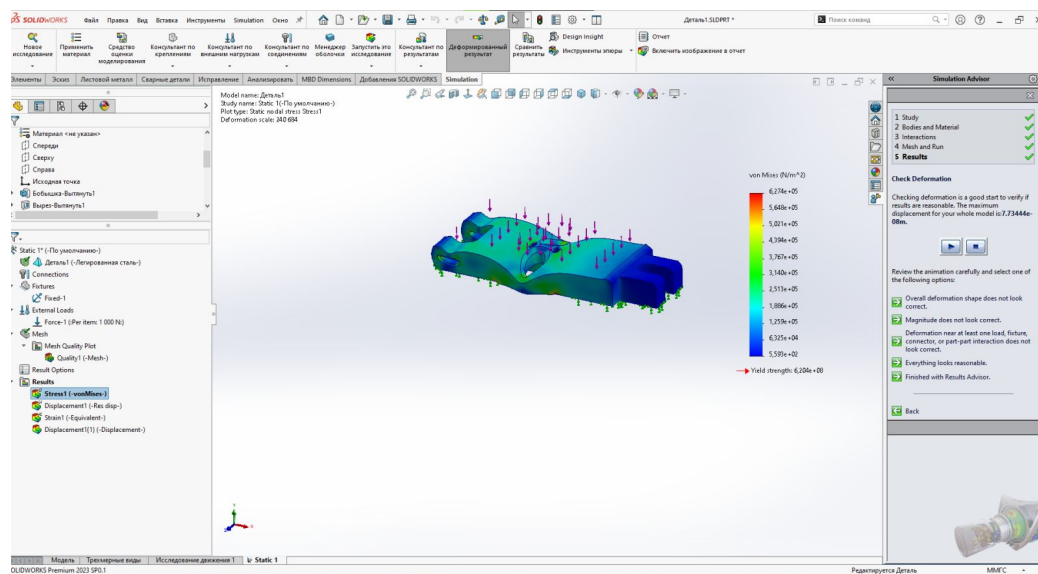


Рисунок 4.4 — Епюра напружень

4.2 Загальні висновки

Висновки, зроблені на основі проведеного САЕ-аналізу:

- Конструкція деталі є правильною та не потребує модернізації.
 - Усі напруження знаходяться в межах допустимих значень.
 - Найбільш напруженими є крайові елементи, однак умова міцності виконується.
 - Відсутні ознаки надмірної деформації або концентрації напружень.
- Використання SolidWorks Simulation дозволило:
- Скоротити час проектування завдяки віртуальному аналізу.

- Оптимізувати конструкцію без фізичних випробувань.
- Перевірити працездатність деталі в умовах реального навантаження.

Загальний висновок: деталь «Плита» спроектована правильно, відповідає вимогам міцності та готова до експлуатації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація робочого місця інженера-технолога повинна відповідати нормам виробничої санітарії, техніки безпеки та охорони навколишнього середовища.

Для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита», необхідний технологічний відділ, обладнаний персональним комп'ютером (ПК). Технологічний відділ повинен розташовуватися в окремому кабінеті в цеху або офісній будівлі заводу.

Технологічний відділ необхідний для комфортної, безпечної та зручної роботи інженера-технолога. При проектуванні такого відділення повинні враховуватись параметри безпечної роботи: освітленість, температура, вологість, тиск, шум та інші.

5.1 Ергономічні вимоги до робочого місця

Проектування робочих місць, оснащених ПК, належить до числа важливих проблем ергономічного проектування в галузі обчислювальної техніки. Елементами робочого місця, оснащеного ПК, в нашому випадку інженера-технолога, який розробляє технологічний процес виготовлення деталі, є стіл і робоче крісло. Робоче положенням за столом - положення сидячи.

Для зручності робочого місця має бути порядок у розміщенні предметів, засобів праці, документації. Простір робочого місця, в якому здійснюються дії людини, називається моторним полем.

Частина моторного поля, що обмежується дугами, описаними максимально витягнутими руками, має назву максимальної зони досяжності рук.

Частина моторного поля, що обмежується дугами, описаними передпліччями, має назву оптимальної зони.

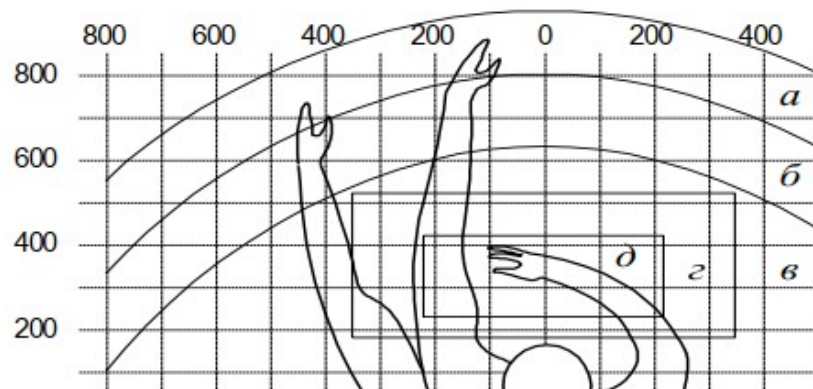


Рисунок 5.1 – Робоче місце інженера - технолога:

- а) - зона досяжності;
- б) - зона досяжності пальців;
- в) - зона досяжності долоні;
- г) - простір для грубої ручної роботи;
- д) - простір для тонкої ручної роботи.

Зручне розташування дисплею - зона *а* (в центрі);

Зручне розташування системного блоку - в ніші столу;

Зручне розташування клавіатури - в зоні *г/д*;

Зручне розташування миші - справа;

Зручне розташування сканеру - зона *а/б* (ліворуч);

Зручне розташування принтеру - зона *а* (праворуч);

Зручне розташування документації - у висувних ящиках столу.

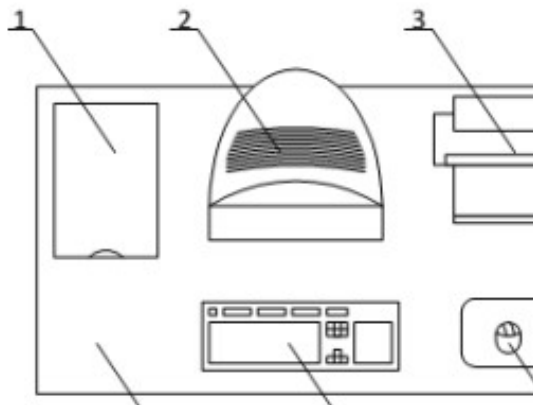


Рисунок 5.2 – Розташування основних та периферійних складових

- 1 - сканер;
- 2 - монітор;
- 3 - принтер;
- 4 - поверхня робочого стола;
- 5 - клавіатура.

5.2 Виробнича безпека

Під час аналізу технологічного процесу механічного оброблення деталі «плита» виявлено шкідливі та небезпечні фактори, які можуть виникнути під час виготовлення деталі (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Виявлені шкідливі та небезпечні фактори

Фактори	Етапи роботи			Нормативні документи
	Розроблення	Виготовлення	Експлуатація	
Відхилення показників мікроклімату	+	+	+	«ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [17] «ДСТУ EN 60721-3-9:2022 «Класифікація умов навколишнього середовища» [18]
Перевищення рівня шуму	-	+	+	«ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [19] «ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» [20]
Недостатнє природне освітлення	+	+	+	«ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [21] ДСТУ EN 12464-1:2022 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщенні» [22] «ДСТУ EN 1838:2019 (EN 1838:2013, IDT) «СВІТЛОТЕХНІКА. ОСВІТЛЕННЯ АВАРІЙНЕ» [23]

Фактори	Етапи роботи			Нормативні документи
	Розроблення	Виготовлення	Експлуатація	
Ураження електричним струмом	+	+	+	«ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом»» [24] «ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека»» [25]

Мікроклімат

Джерелом тепловиділення робочого місця інженера – технолога є працююча обчислювальна техніка. У таких приміщеннях слід дотримуватися параметрів мікроклімату, які вказані в «ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»» [19]. Параметри мікроклімату наведено в таблицях 5.2 та 5.3.

Таблиця 5.2 – Оптимальні параметри мікроклімату

Період	Параметр мікроклімату	Значення
Холодний	Температура повітря в приміщенні	22...24°C
	Відносна вологість	40...60 %
	Швидкість руху повітря	До 0,1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні	23...25°C
	Відносна вологість	40...60 %

Таблиця 5.3 – Норми нагнітання свіжого повітря в приміщення, оснащені комп'ютерною технікою

Характеристика приміщення	Об'ємні витрати свіжого м ³ /на площу
Об'єм до 20 м ³ на людину	Не менше 30
20 ... 40 м ³ на людину	Не менше 20

Підвищений рівень шуму

На організм людини негативно впливає шум. Робітники, що працюють в умовах тривалого впливу шуму, відчують погіршення здоров'я. У них зменшується концентрація уваги, з'являється втома. Якщо робітник буде працювати під дією інтенсивного шуму (вище 80 дБ(А)), він може частково або повністю втратити слух.

При розробленні технологічного процесу виготовлення деталі «плита», основним джерелом шуму в кабінеті інженера-технолога є вентилятори блоків живлення ПК. Рівень шуму коливається від 35 до 40 дБА. За «ДСН 3.3.6.037-99

2.2.2.542-96» [19] рівень шуму на робочому місці інженера з використанням ЕОМ не має бути більшим за 50 дБА.

Недостатня освітленість робочої зони

Вимоги до освітлення на робочих місцях, обладнаних персональними комп'ютерами (ПК) надамо у вигляді таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Вимоги до освітлення на робочих місцях, обладнаних ПК

Параметр	Значення
Освітленість на робочому місці	300-500 лк
Освітленість на екрані ПК	Не більше 300 лк
Відблиски на екрані	Не більше 40 кд/м ²
Прямий блиск джерела світла	200 кд/м ²
Показник освітленості	Не більше 20
Показник дискомфорту	Не більше 15
Відношення яскравості: - між робочими поверхнями; - між поверхнями стін та обладнання	3:1 – 5:1 10:1
Коефіцієнт пульсації	Не більше 5%

Ураження електричним струмом

Кабінет інженера-технолога, як правило, оснащено апаратурою для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «плита». Ця апаратура використовує однофазний електричний струм напругою 220 В з частотою 50 Гц.

Звичайно, що небезпека ураження електричним струмом в кабінеті інженера-технолога не є високою, особливо в порівнянні з виробничими площами підприємства. Але ймовірний режим роботи, який можна назвати аварійним, тобто електричне з'єднання частин обладнання, що знаходиться під напругою, із заземленими конструкціями

Заходами забезпечення електробезпеки:

- ізолювання струмопровідних частин;
- встановлення захисного заземлення;
- своєчасний огляд технічного обладнання, ізоляції.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі магістра розроблено технологічний процес механічного оброблення деталі «Плита G9-PL-001», виготовленої із легованої сталі 40X, ДСТУ 7806:2015. Проведено техніко – економічний аналіз отримання двох методів заготовки.

В технологічному розділі запропоновано технологічний процес механічного оброблення деталі з використанням сучасних верстатів з ЧПК фірми HAAS. При розрахунку режимів різання було застосовано калькулятор Sandvik Coromant CoroPlus.

Два пристрої: верстатний для закріплення заготовки при чорновому фрезеруванні на універсальному фрезерному верстаті та контрольний для контролювання симетричності пазу відносно осі отворів спроектовано в конструкторському розділі.

В дослідницькому розділі було проведено CAE – аналіз напружено-здеформованого стану поверхні деталі «плита».

В розділі «Охорона праці» було досліджено ергономіку робочого місця інженера – технолога та показники мікроклімату, рівня шуму, освітлення, електробезпеки на вказаному робочому місці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.
2. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник / Юрчишин І.І. та ін. Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
3. Якимов А.В., Царюк В.Н., Якимов В.А. и др. Технология машиностроения: Учебник для студ. машиностр. вузов. / Под редакцией Якимова А.В. Одесса: Астропринт, 2012. 784с., ил.
4. <https://www.haascnc.com/uk/machines/vertical-mills/vf-series/models/small/vf-2.html>
5. Гевко Б.М. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: Навчальний посібник. [Текст] / Гевко Б.М., Матвійчук А.В. Тернопіль: ТДТУ, 2004. 131 с.
6. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. 386 с.
7. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залоги. Суми: Сумський державний університет, 2013. 371 с.
8. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПК. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
9. Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігаль В.Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
10. Гордєєв А. І. Урбанюк Є.А., Сілін Р.С. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ 2013. 159 с., іл.

11. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т., Гордєєв А. І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник / За ред. Р.Т. Карпика. Хмельницький: ХДУ, 2003. 222 с., іл.
12. Железна А.М., Кирилович В.А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2004. 796 с.
13. Контрольна робота з дисципліни "Проектування контрольно-вимірювальних пристроїв" Вінниця, 2015. 13 с.
14. П.А. Лінчевський та ін.. Обробка деталей на обробно-розточувальних верстатах / П.А. Лінчевський, Т.Г. Джугурян, О.А. Оргіян, за заг. ред.. П.А. Лінчевського. – К.: Техніка, 2000. – 300с. ISBN 966-575-048-8
15. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша 2004. 248 с.
16. SANDVIK COROMAT [Електронний ресурс] // www.sandvik.coromant.com. 2021. Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ruru/products/pages/technologies.aspx#inveio>.
17. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»
18. ДСТУ EN 60721-3-9:2022 «Класифікація умов навколишнього середовища»
19. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»
20. ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму»
21. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»
22. ДСТУ EN 12464-1:2022 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщенні»
23. ДСТУ EN 1838:2019 (EN 1838:2013, IDT) «СВІТЛОТЕХНІКА. ОСВІТЛЕННЯ АВАРІЙНЕ»
24. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом»

25. ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека»