

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 PL-25-001» із
застосуванням верстатів з ЧПК

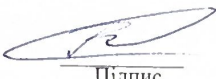
Рівень вищої освіти другий (магістр)

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.25.01.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТм-24-1 
Шифр Підпис Назарій БАСАРАБА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент 
Науковий ступінь, звання Підпис Катерина СОКОЛАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент 
Підпис Сергій БИСЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри 
технології машинобудування Підпис Віталій ТКАЧУК
Назва 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

Спеціальність 131 прикладна механіка

Шифр і назва

Освітня програма «технології машинобудування»

Шифр і назва

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

2 . 09 . 2025

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Басарабі Назарію Валентиновичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита PL-25-001» із застосуванням верстатів з ЧПК

керівник роботи Соколан Катерина Станіславівна, к.т.н., доцент

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

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

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2025

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) кресленик деталі Плита PL-25-001 та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 2500 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 А1); кресленик заготовки (1 лист А1); графотехнологія (1 лист А1); кресленик генерування керуючої програми (1 лист А1); кресленик верстатного пристрою (1 лист А1); кресленик контрольного пристрою (1 лист А1)

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 проєкту (роботи)


Підпис

Назарій БАСАРАБА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Катерина СОКОЛАН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу магістра

студента Басараба Н.В.

Тема роботи: «Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита PL-25-001» із застосуванням верстатів з ЧПК»

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

Басараба Н.В. 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 Басараба Назарій 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» Басараба Н.В. провів аналіз заходів, необхідних для безпечних умов праці в ливарних цехах.

В якості зауважень, можна вказати на те, що в додатках наведено тільки операційні карти, немає ні маршрутних, ні ескізних карт.

В цілому кваліфікаційна робота магістра Басараба Н.В. виконана на хорошому інженерному рівні. Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки «Добре».

РЕЦЕНЗЕНТ

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

..17... грудня..... 2025 р.

..... (підпис)

к.т.н., доц. кафедри АМ
Баларій О.В.

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

Басараби Н.В.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТА, 2 курс, групи ПМТм-24-1

ЗАЯВА

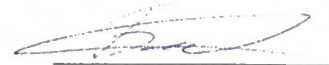
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, 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.

20.11.25

дата



підпис

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

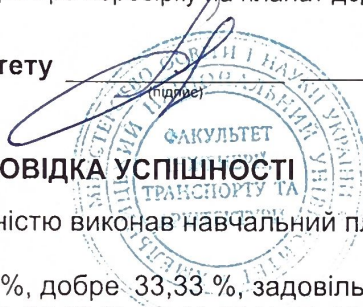
Направляється студент Басараба Назарій Валентинович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита PL-25-001» із застосуванням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Басараба Н.В. з 2024 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 33,33 %, задовільно 66,67 %.

шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 0,00 %, С 20,00 %, D 46,67 %, Е 33,33 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Басараба Назарій отримав завдання і почав роботу над дипломною роботою згідно графіка. Виконав суцільно і самостійно. Під час роботи показав вміння вирішувати практичні інженерні задачі.

Оцінка дипломного проєкту (роботи) добре

Керівник дипломного проєкту

Соколан К.С.
(підпис)

(ім'я, прізвище)

" 17 " грудня 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Басараба Н.В. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

ТМ

(назва)

Трачук В.П.
(підпис, ім'я, прізвище)

" 17 " 12 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита PL-25-001» із застосуванням верстатів з ЧПК

Задачею наданої кваліфікаційної роботи магістра є розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Плита PL-25-001» із застосуванням верстатів з ЧПК. Деталь «Плита PL-25-001» є корпусною деталлю верстату термоплавставтомату. Деталь досить проста за конфігурацією (має форму паралелепіпеда), але має досить багато отворів та пазів для базування в деталі «плита» інших спряжених деталей.

В дипломній роботі розроблено технологічний процес механічного оброблення деталі із врахуванням критеріїв ефективності процесу, задоволення потреб точності та якості обробленої деталі. В розробленому технологічному процесі використовується як універсальне обладнання, так і сучасне обладнання з ЧПК фірми HAAS. Деталь «плита» виготовлена зі сталі 35Л, ДСТУ 8781:2018. В роботі проведено аналіз матеріалу заготовки та запропоновано оптимальні режими термічної обробки заданого матеріалу. Спроектовано верстатний пристрій для закріплення деталі та контрольний пристрій.

Проведено дослідження напружено-деформованого стану поверхні деталі, в результаті досліджень надані практичні рекомендації.

Проведено аналіз заходів, необхідних для безпечних умов праці в ливарних цехах.

Автор роботи: Назарій БАСАРАБА

2025 р.

/Підпис/

Дата

ABSTRACT:

The topic of the work: Development of a technological process for manufacturing the PL-25-001 plate using CNC machines

The objective of this master's thesis is to develop a technological process for manufacturing the “PL-25-001 Plate” part using CNC machines. The “PL-25-001 Plate” part is a housing part for a thermoplastic injection molding machine. The part is quite simple in configuration (it has the shape of a parallelepiped), but it has quite a few holes and grooves for basing other mating parts in the “plate” part.

The thesis develops a technological process for mechanical processing of the part, taking into account the criteria of process efficiency and meeting the requirements for the accuracy and quality of the processed part. The developed technological process uses both universal equipment and modern CNC equipment from HAAS. The “plate” part is made of 35L steel, DSTU 8781:2018. The work analyzes the material of the blank and proposes optimal heat treatment modes for the given material. A machine tool device for fixing the part and a control device were designed.

The stress-strain state of the part surface was studied, and practical recommendations were provided as a result of the research.

An analysis of the measures necessary for safe working conditions in foundries was carried out.

The author of the work

Nazariy BASARABA

2025 p.

/Signature/ Date

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ	10
1.1 Стан питання та постановка задачі	10
1.2 Аналіз об'єкта виробництва	10
1.3 Призначення та конструкція плити нерухомої	13
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	13
1.5 Аналіз матеріалу заготовки	15
1.6 Визначення типу і організаційної форми виробництва	15
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	15
2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу	15
2.2 Вибір виду і способу отримання заготовки	15
2.3 Вибір технологічних баз	22
2.4 Вибір технологічного маршруту оброблення деталі	23
2.5 Вибір різального інструменту	33
2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку	17
2.7 Вибір режимів різання	34
2.8 Нормування технологічного процесу механічного оброблення	40
2.9 Генерування керуючої програми оброблення на верстаті	43
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	47
3.1 Проектування верстатного пристрою для повороту деталі при фрезеруванні	47
3.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою	47
3.1.2. Розрахунок сил затискання при фрезеруванні нижньої поверхні плити	47
3.1.3 Розрахунок гвинтового та клинового затискного пристрою	50
3.1.4 Перевірка найбільш напружених деталей пристрою на міцність	51
3.1.5 Розрахунок пристрою на точність	51
3.2 Проектування контрольно – вимірювального пристрою	15
3.2.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою	15
3.2.2 Розрахунок пристрою на точність	15

	4
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ	56
4.1 Аналіз твердотільної моделі деталі «Плита PL-25-001» з використанням SolidWorks Simulation	56
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	66
5.1 Аналіз причин виникнення травматизму в ливарних цехах	66
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	85
ДОДАТКИ	85

Вступ

Метою магістерської роботи є розроблення прогресивного технологічного процесу виготовлення корпусних деталей із забезпеченням суттєвого зниження їх трудомісткості та собівартості на основі раціональних заготовок, застосування верстатів з ЧПК, сучасного різального інструменту та вдосконалення організації виробництва.

Сучасне машинобудування висуває нові вимоги до машинобудівних підприємств. В теперішній час важко неможливо збільшити обсяг випуску продукції без автоматизації виробництва та застосування сучасного обладнання.

З появою верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) значно зросли виробничі потужності підприємств, підвищилася якість та точність виробів, що випускаються, знизилася витрати та суттєво зросли прибутки.

Числове програмне керування – це комп'ютеризована система керування виробничими процесами, яка пов'язана із застосуванням цифрових обчислювальних пристроїв.

Оскільки в машинобудуванні найбільша частина трудомісткості припадає на механічне оброблення, особливо при обробленні корпусних деталей, то швидке впровадження сучасної техніки, а саме:

- засобів автоматизації та технологічного обладнання, оснащеного системами ЧПК та здатного до швидкого переналаштування;
- високопродуктивного різального інструменту;
- засобів корегування положення інструменту;
- автоматизованими системами заміни заготовок та інструменту, відіграє тут вирішальну роль.

Застосування верстатів з ЧПК дозволяє значно зменшити частку машинного часу та підвищити автоматизацію серійного виробництва, забезпечує високу техніко-економічну ефективність обладнання, дозволяє організувати централізовану під-

готовку програм оброблення, які легко використовуються в електронному документообігу підприємства.

Можливість зменшення трудомісткості оброблення різанням пов'язана з перспективними напрямками розвитку технології машинобудування:

- максимальне наближення форм і розмірів заготовок до форм і розмірів готових деталей шляхом широкого використання раціональних заготовок, виготовлених прогресивними формами (вилівка із застосуванням стрижневого формування);

- підвищення продуктивності, максимальна інформація та розширення області впровадження відомих базових прогресивних технологічних методів: малоопераційної технології за рахунок концепції технологічних операцій, що виконуються на одному верстаті, по можливості за один установ заготовки;

- застосування паралельних і паралельно-послідовних методів оброблення;

- використання багатоінструментального оброблення;

- одночасне оброблення декількома інструментами;

- перекриття допоміжного часу машинним;

- широке впровадження типових технологічних процесів і групових методів оброблення;

- інтенсифікація режимів різання відбувається завдяки застосуванню сучасних зносостійких матеріалів та інструментів прогресивних конструкцій;

- вдосконалення вже відомих методів оброблення та розширення застосування нових ефективних методів;

- різке зростання продуктивності виробництва внаслідок застосування багатоцільових верстатів;

- зниження зношування та підвищення періоду стійкості різального інструменту при оброблюванні матеріалів.

Розроблення даної магістерської роботи проводилось із врахуванням вищеперерахованих напрямків розвитку металообробного обладнання та металооброблення деталей.

В сучасному виробництві існують дві тенденції проектування технологічного процесу механічного оброблення деталей. Перша полягає в поділі виробничого про-

цесу на ряд послідовних операцій з використанням універсального обладнання та оснащення.

Друга тенденція полягає в можливості більш високої концентрації операцій на одному типі обладнання. І хоча для цього потрібне дороговартісне сучасне обладнання, виробничий цикл зменшується, а продуктивність збільшується від 3 до 8 разів.

Дана магістерська робота розроблялася відповідно до другої тенденції розвитку виробництва.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Стан питання та постановка задачі

Задача даної кваліфікаційної роботи - це розроблення сучасного технологічного процесу, із застосуванням верстатів з ЧПК (НААС VF-3 – в даному технологічному процесі), верстатів – автоматів, спеціальних верстатів, концентрація кількох різних операцій на одному верстаті для послідовної обробки кількома інструментами (фрезерування, свердлування, розсвердлювання, нарізання різьби, розточування, розвертання на верстаті НААС VF-3), застосування поворотного стола на поздовжньо-фрезерному верстаті 6М610Ф1), веде до зниження собівартості продукції за рахунок підвищення механізації і автоматизації технологічного процесу, звільнення трудових ресурсів.

1.2 Аналіз об'єкта виробництва

Для виготовлення деталей із термопластичних полімерів використовується таке обладнання як термопластавтомат, який слугує для виготовлення деталей методом литва під тиском. Робота такого термопластавтомата проводиться в автоматичному режимі.

В термопластавтоматі передбачено:

- Два пристрої термостатування інструменту автономно для рухомої і нерухомої напівформ. Пристрої виконані мобільними, на колесах, що дає можливість встановлення їх в зручному місці.
- Пристрій для дозування і змішування добавки для ковзання при виготовленні деталей.

1.3 Призначення та конструкція плити нерухомої

Плита нерухома PL-25-001 входить в склад механізму запирання ливникової машини і є основною корпусною деталлю вузла запирання.

Конструктивна форма плити нерухомої – це паралелепіпед із габаритами: ширина – 748 мм; висота – 760 мм; товщина – 180 мм.

Основними поверхнями плити нерухомої є:

1. Робоча площа 748x760 мм, в якій виконано 4 отвори $\varnothing 80H8$ під колони; центральний отвір $\varnothing 200H8$ під установку центруючого фланця полуформи (пуансона); 64 отвори M16x40 для кріплення пуансона пресформи.
2. Основа 760x180 мм, в якій виконано отвори під римболти M30.
3. Площина задня 748x760 мм, що має в кутах чотири платика 210x210 мм і центральний фланець 180 мм; платики, з'єднані між собою вилитими ребрами жорсткості 90 мм за схемою розподілу навантажень при запиранні пресформи.
4. Верхня площа 760x780 мм, в якому виконано: 2 отвори M30-7H під римболти, 4 отвори M5 для кріплення освітлення, 4 отвори M8 для кріплення системи висмоктування газів.

Матеріал деталі – ливарна сталь 35Л. Механічні властивості та хімічний склад сталі за ДСТУ 8781:2018 «Виливки зі сталі. Загальні технічні умови» наведено в таблицях 1.1 та 1.2 та на рис. 1.1.

Таблиця 1.2 - Механічні властивості сталі 35Л ДСТУ 8781:2018

Марка	σ_m	σ_B	δ , %	α , $\frac{кгс \cdot м}{см^2}$	Відносне звуження, %	Твердість НВ, не більше
	МПа					
35Л П	320	510	20	7	45	190

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 35Л ДСТУ 8781:2018

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cu	Cr
0,32- 0,40	0,05- 0,08	0,17-0,37	45	0,04	0,25	0,25	0,25

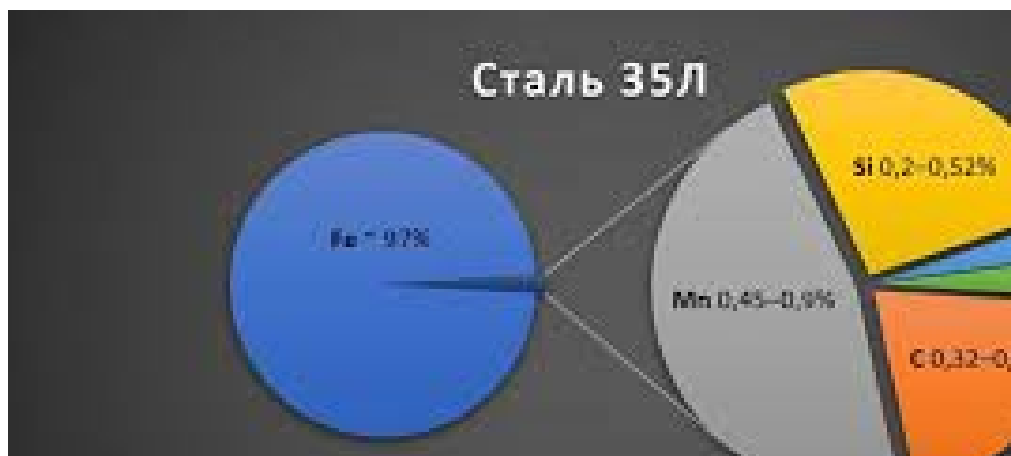


Рисунок 1.1 – Хімічний склад сталі 35Л

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь – плита нерухома PL-25-001 виготовлена із заготовки – виливки коробчастої форми зі сталі 35Л. Заготовка досить проста за конфігурацією, але потребує застосування стрижневого формування для утворення внутрішньої порожнини. Для виготовлення деталі доцільно ввести в технологічний процес механічного оброблення додаткові операції:

- 1) Газорізна для відрізання вантажних цапф;
- 2) Радіально-свердлувальна для отримання 4-х різьбових отворів під римболти.

Жорсткість деталі достатня і при обробленні не обмежить режими різання.

Значні труднощі викликає оброблення кріпильних отворів, оскільки вони розташовані близько один від одного.

Інші поверхні, що обробляються, не являють технологічних труднощів.

Використання верстатів з числовим програмним керуванням ІС 800 при обробленні деталі дозволяє підвищити продуктивність праці за рахунок зменшення кількості перестановок деталі і концентрації більшої кількості переходів в одній технологічній операції.

В цілому плита PL-25-001 достатньо технологічна.

1.5 Аналіз матеріалу заготовки

Особливості структури ливарної сталі: відмінною особливістю ливарної сталі є зернистість її будови, яка обумовлює низькі механічні властивості, особливо характеристики пластичності і в'язкості металу. Грубозерниста структура також дуже несприятливо впливає на показники опору мікропластичним деформаціям металу. Тому вирішення теоретичних і практичних питань подрібнення структури ливарної сталі має дуже актуальне значення.

Проблема покращення структури ливарної сталі стала предметом численних досліджень різних авторів. Запропоновано різні способи впливу на метал у рідкому та твердому стані, що забезпечують значне покращення властивостей.

У ряді робіт розглянуто питання подрібнення структури за допомогою раціональної термічної обробки. Показано, що одноразовий відпал (або нормалізація) ливарної сталі з нагріванням трохи вище критичної точки A_{c3} зазвичай не забезпечує отримання дрібнозернистої структури в сталевих виливках.

За допомогою складного термічного оброблення можна подрібнити структуру, значно підвищити однорідність і механічні властивості ливарної середньовуглецевої сталі. Наприклад, для сталі, яка має вміст карбону 0,4%, рекомендується термооброблення, що складається з триразового відпалювання послідовно при температурах 1100-1300, 900-1100 і 850-870°C з повільним охолодженням після 1 і 2-го відпалювань нижче критичних точок і гартування з температури останнього відпалювання. Таким термічним обробленням можна покращити структуру ливарної сталі, а саме: ліквідувати феритну макросітку, змінити характер неметалевих включень, що призведе до значного підвищення її пластичності та ударної в'язкості.

Після подвійної нормалізації (з 930 і 830° C) в порівнянні з одноразовою (при 860° C) межа текучості сталі 35Л підвищується з 33,5 до 40,5 кгс/мм², відносне видовження з 17,5 до 25,3%. Дослідження структурного механізму утворення аустеніту при нагріванні сталі, значною мірою полегшили вирішення практичних завдань покращення структури і властивостей металу з вихідною грубозернистою структурою.

При утворенні аустеніту в процесі нагрівання так само, як і при його розпаді в процесі охолодження, дотримується орієнтаційна відповідність фаз, що перетворюються, a -у. У початковий період a -у перетворення незалежно від умов нагрівання і вихідної структури утворення аустеніту відбувається при збереженні орієнтаційної відповідності з вихідними кристалами o - c -фази. Зародження аустеніту

при нагріванні може відбуватися на субмежі фериту, на високо кутових межах фериту і карбіду в перлітних колоніях і межах вихідних зерен.

При повільному нагріванні сталі з вихідною кристалографічно впорядкованою структурою зародження аустеніту відбувається переважно на субмежі фериту з відновленням форм і розмірів колишнього аустенітного зерна і внутрішньозернової текстури. Руйнування внутрішньозернової текстури і подрібнення зерна в сталі стає можливим при підвищенні температури, зазвичай значно вище A_{c3} , в результаті рекристалізації аустеніту з підвищеною від перетворення щільністю дефектів внаслідок фазового наклепу. При цьому рекристалізація аустеніту проходить після розчинення карбідних частинок і домішкових фаз, що знаходилися на субмежі.

Збільшення швидкості нагрівання, особливо в міжкритичному інтервалі температур, сприяє утворенню ділянок аустеніту на висококутових межах фериту і карбіду поряд з утворенням ділянок аустеніту на субмежі. Поблизу карбідних частинок при прискореному нагріванні у зв'язку з різницею в коефіцієнтах теплового розширення між матрицею і цими частинками виникають нові джерела дефектів. Ці дефекти сприяють виникненню ділянок аустеніту, з яких можуть утворитися нові зерна, не пов'язані з вихідною орієнтацією зерна. Це полегшує виправлення будови сталі з вихідною грубозернистою структурою.

На відміну від деформованої доєвтектоїдної вуглецевої сталі, в якій процес структурної перекристалізації аустеніту зазвичай закінчується при переході через точку A_{c3} або лише трохи вище A_{c3} , в ливарній сталі цей процес зміщений до більш високих температур. Усунення внутрішньозернової текстури при рекристалізації аустеніту при температурах значно вище A_{c3} дозволяє істотно підвищити однорідність структури і характеристики розмірної стабільності ливарної сталі.

Відповідність маркування сталі 35Л згідно до маркування за ДСТУ EN 10027-1 – G35.

За ДСТУ 8781:2018 «виливки підлягають термічному обробленню. Рекомендовані режими термічного оброблення конструкційної нелегованої та легованої сталі наведено в таблиці Г.1.» [1].

«Кількість допустимого повного термічного оброблення виливків не повинно бути більше ніж три, а для виливків з аустенітної та аустенітно-феритної легованої сталі зі спеціальними властивостями – не більше ніж два» [1]. «Кількість відпусків або стабілізуючих відпалів виливків з пробними брусками однієї й тієї самої партії після загартовування або нормалізації для одержання необхідних властивостей не обмежено» [1].

Таблиця 1.4 – Режими термічного оброблення сталі 35Л за ДСТУ 8781:2018

ДОДАТОК Г
(довідковий)

РЕЖИМИ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ СТАЛІ

Таблиця Г. 1 — Режими термічного оброблення конструкційної нелегованої та легованої

Позначка сталі згідно із цим стандартом	Режим термічного оброблення		
	Нормалізація та відпуск		Загартування 1
	Нормалізація	Відпуск	Загартування
Температура, °С			
1	2	3	4
15Л	910—930	—	—
	або 910—930	670—690	—
20Л	880—900	—	—
	або 880—900	630—650	—

1.6 Визначення типу і організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum P_{о.і}}{P},$$

де $\sum P_{о.і}$ - сумарне число операцій за місяць по дільниці;

P - явочна кількість робітників, що виконують різні операції.

Для масового типу виробництва $K_{з.о.} \leq 1$; для крупносерійного - $1 < K_{з.о.} \leq 10$; для середньосерійного - $10 < K_{з.о.} \leq 20$; для дрібносерійного - $20 < K_{з.о.} \leq 40$

Коефіцієнт закріплення операцій визначаємо на основі рекомендацій. За рекомендаціями виробництво – серійне, форма організації виробництва – групова (не потокова). При груповій формі організації виробництва запуск виробів проводиться партіями з визначеною періодичністю.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi_0},$$

де N - кількість деталей одного найменування і розміру в річному об'ємі випуску виробів, шт;

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

Φ_0 - число робочих днів в році. При п'ятиденному робочому тижні і тривалості робочого дня 8 годин $\Phi_0 = 254$.

Тоді:

$$n = \frac{2500 \cdot 12}{254} = 118,1$$

Проведемо корегування розміру партії деталей для зручності планування і організації виробництва і визначимо розрахункове число змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях:

$$C = \frac{T_{шт.к.сер.} \cdot n}{476 \cdot 0,8},$$

де $T_{шт.к.сер.}$ - середній штучно-калькуляційний час на основних операціях, хв.;

$$T_{шт.к.сер.} = 87,8 \text{ хв.};$$

476 – дійсний фонд часу роботи обладнання за зміну;

0,8 – нормативний коефіцієнт завантаження верстатів в серійному виробництві.

Отже,

$$C = \frac{87,8 \cdot 118,1}{476 \cdot 0,8} = 27,23.$$

Приймаємо $C_{np} = 28$.

Визначимо число деталей в партії, необхідних для завантаження обладнання протягом цілого числа змін.

$$n_{np} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot C_{np}}{T_{шт.к.сер.}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 28}{87,8} = 121,4.$$

Попередньо приймаємо $n = 125$ шт.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу

Аналіз існуючого технологічного процесу механічного оброблення деталі плита PL-25-001 проведемо із міркувань забезпечення якості виробу, зниження технологічної собівартості, підвищення продуктивності праці.

Для заданої деталі раціональним методом отримання заготовки є литво в земляні форми.

Застосування поворотного стола на поздовжньо-фрезерній операції дозволить в спроектованому технологічному процесі в порівнянні із базовим замінити перевстановлення деталі на поворот стола, що призведе до зменшення витрат часу та зниження технологічної собівартості.

На поздовжньо-фрезерному верстаті пропонується обробити бокові поверхні, які виконувались на токарно-карусельному верстаті мод. 1516. При цьому застосування фрези $\varnothing 200$ мм з 12 вставними ножами дозволить знизити трудомісткість операції.

До недоліків існуючого технологічного процесу можна віднести наступні фактори: на верстаті з ЧПК мод. 2A622Ф2 робиться крім фрезерування, розточування, зацентрування різьбових отворів, а також отворів під штифти; нарізання різьб, зняття фасок, свердлування, розточування отворів виконується на двох інших операціях на радіально-свердлувальному верстаті з багатьма перевстановлюваннями, що призводить до порушення принципу концентрації операції. До того ж на верстаті 2A622Ф2 проводиться ручна зміна інструмента. Тому пропонується замінити верстат з ЧПК мод. 2A622Ф2 на інший – верстат з ЧПК мод. HAAS VF-3, де можлива повна обробка отворів та заміна інструменту за програмою. Ці фактори в значній мірі знижують собівартість виготовлення деталі.

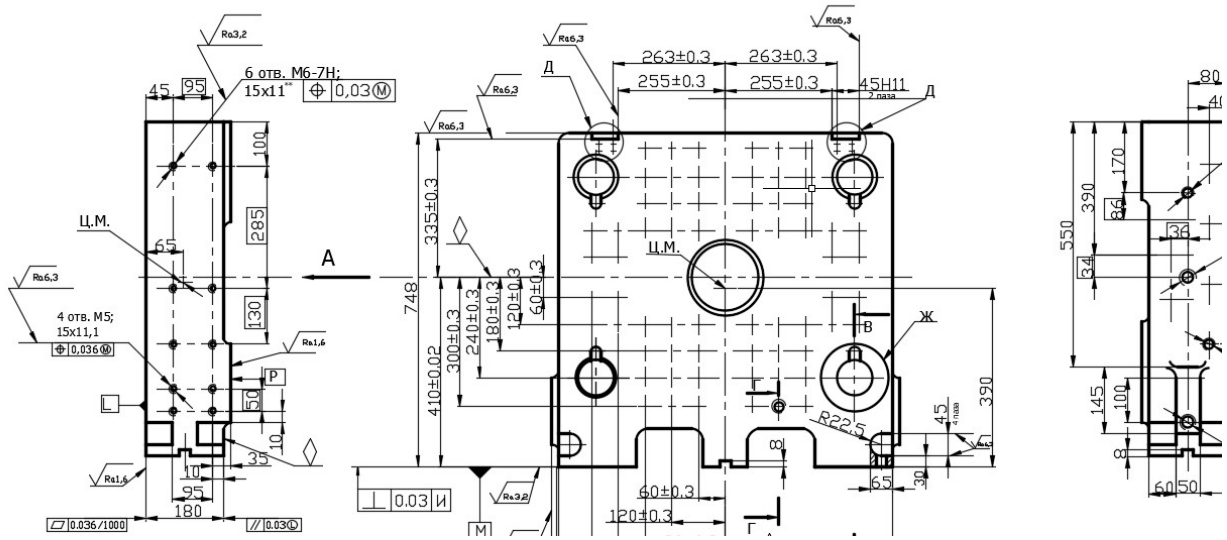


Рисунок 2.1 – Кресленик деталі «плита»

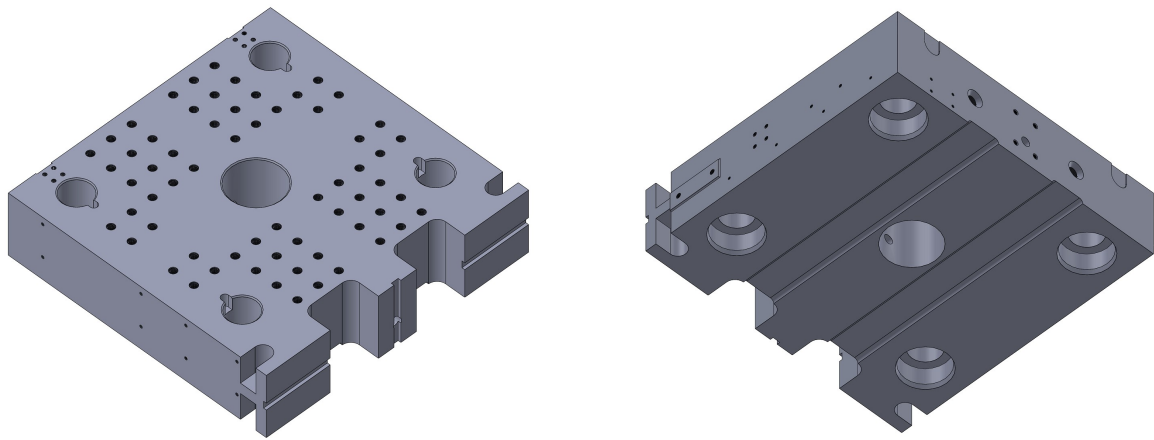


Рисунок 2.2 – 3D модель деталі «плита»

2.2 Вибір виду і способу отримання заготовки

Виходячи із того, що матеріал деталі – сталь 35Л за ДСТУ 8781:2018, призначаємо метод отримання заготовки – литво. До того ж деталь має складну конфігурацію: наявність центрального отвору, уступів і великої ваги (608 кг), тому, виходячи з цього призначаємо литво в земляні форми, іншими методами заготовку отримати неможливо.

Зварна конструкція заготовки недоцільна і на підприємстві немає обладнання для отримання листа товщиною 190 мм.

Оскільки маємо серійний тип виробництва, обираємо литво в земляні форми з машинною формовкою. Литво в земляні форми є найбільш універсальним методом, однак потребує великих витрат. Так, набивка 1м³ формованої суміші вручну займає 1,5 – 2 години. При машинній формовці 1 години литва в землю по металічним моделям отримують виливки масою 10...15 т.

Виходячи з вищесказаного, проводимо розрахунок собівартості заготовки.

Вартість заготовок, отриманих методом литва в пісково - глиняні форми розраховуємо за формулою:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000},$$

де $S_{заг}$ - вартість заготовки, грн;

C_i - базова вартість 1 т заготовок, грн. $C_i = 22000$;

Q - маса заготовки, кг; $Q = 760$;

q - маса готової деталі, кг; $q = 608$;

$S_{відх}$ - вартість 1 т відходів, грн. $S_{відх} = 1200$;

k_T, k_c, k_B, k_M, k_n - коефіцієнти, що залежать від точності, групи складності, маси, марки матеріалу, об'єму випуску заготовок.

Отже, вартість заготовки, що отримана зі сталі 35 методом литва в піщово-глиняні форми, становить:

$$S_{заг} = \left(\frac{22000}{1000} \cdot 760 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,45 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \right) - (760 - 608) \cdot \frac{1200}{1000} = 1775,82 \text{ грн}$$

2.3 Вибір технологічних баз

Основні вимоги до чорнових баз:

1. В якості технологічних чорнових баз обираються такі поверхні, які не обробляються, або поверхні з найменшим припуском.
2. Чорнова база повинна забезпечувати при закріпленні надійне положення деталі з уникненням деформації. В нашому випадку такою є поверхня 760x748 мм.

Основні вимоги до проміжних баз:

1. В якості технологічних баз приймаються такі поверхні, що пов'язуються з оброблюваною поверхнею найкоротшою ланкою розмірного ланцюга.
2. В якості технологічних баз приймаються такі поверхні, що дозволяють під час усього технологічного процесу не змінювати основних баз.
3. При зміні базової поверхні необхідно переходити від менш точної до більш точної оброблюваної поверхні, оскільки в такому випадку похибка оброблення буде меншою.

2.4 Вибір технологічного маршруту оброблення деталі

Технологічний процес механічного оброблення деталі „плита PL-25-001” на-
дамо у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технологічний процес механічної обробки деталі “плита”

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
005	Розміточна	Розміточна плита
010	Токарно-карусельна 1. Точити поверхню „I”, витримуючи розмір 171,6. 2. Розточити центральний отвір $\varnothing 190^{+0,3}$ ($\varnothing 200H8$).	Токарно-карусельний 1516
015	Слюсарна 1. Зачистити задирки.	Слюсарна плита
020	Токарно-карусельна 1. Точити поверхні платиків, витримуючи розмір 183,2 мм.	Токарно-карусельний 1516
025	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
030	Термічна	Піч
035	Газорізальна	Ру-66
040	Слюсарна	Слюсарна плита

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	1. Зачистити задирки.	
045	<i>Розміточна</i>	Розміточна плита
050	<p><i>Радіально-свердлувальна</i></p> <p>Установ 1</p> <p>1. Свердли 2 отвори Ø26,5 (М30) на довжину 70 мм.</p> <p>2. Розсвердли 2 отвори Ø38 на довжину 16 мм.</p> <p>3. Цекувати 2 отвори Ø70 на довжину 5 мм.</p> <p>4. Нарізати різьбу в 2-х отворах (М30-7Н) на довжину 46 мм.</p> <p>Установ 2</p> <p>1. Свердли 2 отвори Ø26,5 (М30) на довжину 70 мм.</p> <p>2. Розсвердли 2 отвори Ø38 на довжину 16 мм.</p> <p>3. Цекувати 2 отвори Ø70 на довжину 5 мм.</p> <p>4. Нарізати різьбу в 2-х отворах (М30-7Н) на довжину 46 мм.</p>	Радіально-свердлувальний 2М57
055	<p><i>Слюсарна</i></p> <p>1. Зняти задирки.</p>	Слюсарна плита
060	<i>Розміточна</i>	Розміточна плита
065	<i>Поздовжньо-фрезерна</i>	Поздовжньо-фрезерний мод.

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	<p style="text-align: center;">Установ 1</p> <p>1. Фрезерувати площину „I”, витримуючи розміри 170,6 мм та 182,2 мм.</p> <p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Фрезерувати поверхні платиків, витримуючи розмір 181,2 мм.</p>	6М610Ф11
070	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	Слюсарна плита
075	<p>Поздовжньо-фрезерна</p> <p style="text-align: center;">Установ 1</p> <p>1. Фрезерувати основу, витримуючи розмір 411 мм та протилежну сторону, витримуючи розмір 749 мм.</p> <p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Фрезерувати боковий платик, витримуючи розмір 391 мм.</p>	Поздовжньо-фрезерний мод. 6М610Ф11
080	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	Слюсарна плита
085	<p>Горизонтально-розточна</p> <p style="text-align: center;">Позиція 1</p> <p>1. Розточити отвір Ø179, витримуючи розміри 411, 391.</p>	Горизонтально-розточний мод. 2Е656

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	2. Розточити 4 отвори $\varnothing 77$. 3. Розточити 4 виточки $\varnothing 117$ на довжину 58 мм. Позиція 2 1. Повернути стіл на 90^0 . 2. Фрезерувати боковий платик в розмір $390 \pm 0,1$ мм.	
090	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
095	Горизонтально-розточна Установ 1 1. Фрезерувати лунку R 22,5, витримуючи розміри 165; 75 мм. 2. Фрезерувати лунку R 22,5, витримуючи розміри 130; 150 мм. 3. Фрезерувати 2 паза $\varphi=45$ мм, витримуючи розміри 30; 65; 65; R 22,5 мм. Установ 2 1. Фрезерувати 2 паза $\varphi=45$ мм, витримуючи розміри 30; 65; 65; R 22,5 мм.	Горизонтально-розточний мод. 2E656
100	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
105	Радіально-свердлувальна	Радіально-

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	1. Свердлити отвір Ø25. 2. Розсвердлити отвір Ø36 мм.	свердлувальний 2М57
110	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
115	Поздовжньо-шліфувальна Установ 1 1. Шліфувати 2 площини в розмір 180 мм, витримуючи технічні умови згідно креслення. Установ 2 1. Шліфувати 2 площини в розмір 180 мм, витримуючи технічні умови згідно креслення.	Поздовжньо-шліфувальний мод. 3510
120	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
125	Вертикально-фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати основу, витримуючи розмір 410 мм. 2. Фрезерувати 2 паза 20Р11. 3. Обробити 4 отвори Ø80Н8 мм.	Вертикально-фрезерний з ЧПК НААС VF-3
130	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
135	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розточити отвір $\varnothing 20H8$. 2. Розточити 4 отвори $\varnothing 80H8$, витримуючи розміри $410 \pm 0,02$ мм, $390 \pm 0,1$ мм. 3. Розточити 5 фасок в отворі $\varnothing 20H8$ та в отворі $\varnothing 80H8$. 4. Фрезерувати 4 паза 20H11, витримуючи розмір 100 мм. 5. Центрувати 72 отвори $\varnothing 3,15$ мм (64 отвори M16, 8 отворів M8). 4. Свердлити 8 отворів $\varnothing 6,7$ (M8) на довжину 20 мм. 5. Зенкувати 8 фасок $1,6 \times 45^{\circ}$. 6. Нарізати різьбу M8 в 8 отворах на довжину 16мм. 6. Свердлити 64 отвори $\varnothing 14$ мм (M16) на довжину 40 мм. 7. Зенкувати 64 фаски $2 \times 45^{\circ}$. 8. Нарізати різьбу M16-7H в 64 отворах на довжину 30мм. 	фрезерний з ЧПК HAAS VF-3
140	Слюсарна 1. Зняти задирки.	Слюсарна плита
145	Вертикально-фрезерна з ЧПК	Вертикально-

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	<p style="text-align: center;">Позиція 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Розточити 4 виточки $\varnothing 120$ на довжину 58 мм. 2. Розточити 4 фаски. 3. Свердли 2 отвори $\varnothing 30$ на довжину 25 мм. 4. Розсвердли отвір $\varnothing 45$ мм. 5. Розточити отвір $\varnothing 49,5$ на довжину 10 мм. 6. Розточити отвір $\varnothing 50H8$ на довжину 10 мм. 7. Розточити фаску 3×45^0. 8. Центрувати 20 отворів $\varnothing 3,15$ (M20). 9. Свердли 20 отворів $\varnothing 17,5$ мм (M20) на довжину 50 мм. 10. Зенкувати 20 фасок $2,5 \times 45^0$. 11. Нарізати різьбу в 20 отворах M20 на довжину 40 мм. <ol style="list-style-type: none"> 1. Повернути стіл на 90^0 2. Центрувати 4 отвори $\varnothing 3,15$ мм. 3. Свердли 4 отвори $\varnothing 5$ мм (M6) на довжину 15 мм. 4. Зенкувати 4 фаски 1×45^0. 5. Нарізати різьбу в 4-х отворах M6 на довжину 11 мм. 	фрезерний з ЧПК HAAS VF-3

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	<p style="text-align: center;">Позиція 3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повернути стіл на 180⁰. 2. Центрувати 8 отворів Ø3,15 мм. 3. Свердлити 2 отвори Ø10,2 мм (M12) на довжину 30 мм. 4. Зенкувати 2 фаски 1x45⁰. 5. Нарізати різьбу в 2-х отворах M12 на довжину 22 мм. 6. Свердлити 2 отвори Ø5 мм (M6) на довжину 15 мм. 7. Зенкувати 2 фаски 1x45⁰. 8. Нарізати різьбу в 2-х отворах M6-7H на довжину 11 мм. 9. Свердлити 4 отвори Ø6,7 мм (M8) на довжину 21 мм. 10. Зенкувати 4 фаски 1x45⁰. 11. Нарізати різьбу в 4-х отворах M8 на довжину 16 мм. 	
150	<p>Слюсарна</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зняти задирки. 	Слюсарна плита
155	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезерувати 2 паза в=45H11, витримуючи роз- 	Вертикально-фрезерний з ЧПК





№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Тип і модель верстата
	<p>міри 255±0,3; 335±0,3 мм.</p> <p>2. Центрувати 8 отворів Ø3,15 мм.</p> <p>3. Свердлити 4 отвори Ø8,7 мм (M10) на довжину 25 мм.</p> <p>4. Зенкувати 4 фаски 1,6x45⁰.</p> <p>5. Нарізати різьбу в 4-х отворах M10 на довжину 20 мм.</p> <p>6. Свердлити 4 отвори Ø4 мм (M5) на довжину 18 мм.</p> <p>7. Зенкувати 4 фаски 1x45⁰.</p> <p>8. Нарізати різьбу в 4-х отворах M5 на довжину 14 мм.</p>	HAAS VF-3
160	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	Слюсарна плита
165	Маркування	
170	Фарбування	


2.5 Вибір різального інструменту

Пропонований технологічний процес з усіма змінами та удосконаленнями наведено у таблиці 2.2.



Таблиця 2.2 - Технологічний процес механічної обробки деталі “плита”


№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
005	Розміточна	Розміточна плита
010	Токарно-карусельна 1. Точити поверхню „H”, витримуючи розмір 171,6. 2. Розточити центральний отвір $\varnothing 190^{+0,3}$ ($\varnothing 200H8$).	Різець механічний розточувальний S12M SCLCR 09 з кутом 95°; 
015	Слюсарна 1. Зачистити задирки.	Напилок 
020	Токарно-карусельна 1. Точити поверхні платиків, витримуючи розмір 183,2 мм.	Різець SDJCR2020K11




№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
		
025	<p><i>Слюсарна</i></p> <p>1.Зняти задирки.</p>	<p>Напиллок</p> 
040	<p><i>Слюсарна</i></p> <p>1. Зачистити задирки.</p>	<p>Напиллок</p> 
045	<p><i>Розміточна</i></p>	<p>Керн</p> 
050	<p><i>Радіально-свердлувальна</i></p> <p>Установ 1</p>	



№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	<p>1. Свердли 2 отвори $\varnothing 26,5$ (M30) на довжину 70 мм.</p> <p>2. Розсвердли 2 отвори $\varnothing 38$ на довжину 16 мм.</p> <p>3. Цекувати 2 отвори $\varnothing 70$ на довжину 5 мм.</p> <p>4. Нарізати різьбу в 2-х отворах (M30-7H) на довжину 46 мм.</p> <p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Свердли 2 отвори $\varnothing 26,5$ (M30) на довжину 70 мм.</p> <p>2. Розсвердли 2 отвори $\varnothing 38$ на довжину 16 мм.</p> <p>3. Цекувати 2 отвори $\varnothing 70$ на довжину 5 мм.</p> <p>4. Нарізати різьбу в 2-х отворах (M30-7H) на довжину 46 мм.</p>	<p>Свердло CoroDrill 880</p> <p>Свердло CoroDrill 880</p> <p>Цеківка, P6M5</p> <p>Мітчик 2620-15.15.3</p> <p>Свердло CoroDrill 880</p> <p>Свердло CoroDrill 880</p> <p>Цеківка, P6M5</p> <p>Мітчик 2620-15.15.3</p>
065	<p><i>Поздовжньо-фрезерна</i></p> <p style="text-align: center;">Установ 1</p> <p>1. Фрезерувати площину „I”, витримуючи розміри 170,6 мм та 182,2 мм.</p> <p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Фрезерувати поверхні платиків, витримуючи розмір 181,2 мм.</p>	<p>Фреза CoroMill 745</p> 
075	<p><i>Поздовжньо-фрезерна</i></p> <p style="text-align: center;">Установ 1</p>	<p>Фреза CoroMill 745</p>

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	<p>1. Фрезерувати основу, витримуючи розмір 411 мм та протилежну сторону, витримуючи розмір 749 мм.</p> <p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Фрезерувати боковий платик, витримуючи розмір 391 мм.</p>	
085	<p><i>Горизонтально-розточна</i></p> <p style="text-align: center;">Позиція 1</p> <p>1. Розточити отвір $\varnothing 179$, витримуючи розміри 411, 391.</p> <p>2. Розточити 4 отвори $\varnothing 77$.</p> <p>3. Розточити 4 виточки $\varnothing 117$ на довжину 58 мм.</p> <p style="text-align: center;">Позиція 2</p> <p>1. Повернути стіл на 90^0.</p> <p>2. Фрезерувати боковий платик в розмір $390 \pm 0,1$ мм.</p>	<p>Різець механічний розточувальний S12M SCLCR 09 з кутом 95°;</p>  <p>Фреза CoroMill 316</p> 
090	<p><i>Слюсарна</i></p> <p>1. Зняти задирки.</p>	-
095	<p><i>Горизонтально-розточна</i></p> <p style="text-align: center;">Установ 1</p>	Фреза CoroMill Dura

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	<p>1. Фрезерувати лунку R 22,5, витримуючи розміри 165; 75 мм.</p> <p>2. Фрезерувати лунку R 22,5, витримуючи розміри 130; 150 мм.</p> <p>3. Фрезерувати 2 паза $\phi=45$ мм, витримуючи розміри 30; 65; 65; R 22,5 мм.</p> <p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Фрезерувати 2 паза $\phi=45$ мм, витримуючи розміри 30; 65; 65; R 22,5 мм.</p>	
100	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	-
105	<p>Радіально-свердлувальна</p> <p>1. Свердлити отвір $\varnothing 25$.</p> <p>2. Розсвердлити отвір $\varnothing 36$ мм.</p>	<p>Свердло CoroDrill 880</p> 
110	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	-
115	<p>Поздовжньо-шліфувальна</p> <p style="text-align: center;">Установ 1</p> <p>1. Шліфувати 2 площини в розмір 180 мм, витримуючи технічні умови згідно креслення.</p>	<p>Круг ПП 500x100x305 25A20HSM2K0A 35м/с</p>

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	<p style="text-align: center;">Установ 2</p> <p>1. Шліфувати 2 площини в розмір 180 мм, витримуючи технічні умови згідно креслення.</p>	
120	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	-
125	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <p>1. Фрезерувати основу, витримуючи розмір 410 мм.</p> <p>2. Фрезерувати 2 паза 20P11.</p> <p>3. Обробити 4 отвори Ø80H8 мм.</p>	<p>Фреза CoroMill 745</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Фреза CoroMill Dura</p>

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
		
130	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	-
135	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <p>1. Розточити отвір $\varnothing 20H8$.</p> <p>2. Розточити 4 отвори $\varnothing 80H8$, витримуючи розміри $410 \pm 0,02$ мм, $390 \pm 0,1$ мм.</p> <p>3. Розточити 5 фасок в отворі $\varnothing 20H8$ та в отворі $\varnothing 80H8$.</p> <p>4. Фрезерувати 4 паза 20H11, витримуючи розмір 100 мм.</p> <p>5. Центрувати 72 отвори $\varnothing 3,15$ мм (64 отвори M16, 8 отворів M8).</p> <p>4. Свердлити 8 отворів $\varnothing 6,7$ (M8) на довжину 20 мм.</p> <p>5. Зенкувати 8 фасок $1,6 \times 45^\circ$.</p> <p>6. Нарізати різьбу M8 в 8 отворах на довжину 16мм.</p>	<p>Фреза CoroMill Dura</p>  <p>Свердло CoroDrill 880</p>  <p>Мітчик 35-2620-0573</p>

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	<p>6. Свердлити 64 отвори $\varnothing 14$ мм (M16) на довжину 40 мм.</p> <p>7. Зенкувати 64 фаски $2 \times 45^{\circ}$.</p> <p>8. Нарізати різьбу M16-7H в 64 отворах на довжину 30мм.</p>	
140	<p>Слюсарна</p> <p>1. Зняти задирки.</p>	-
145	<p>Вертикально-фрезерна з ЧПК</p> <p>Позиція 1</p> <p>1. Розточити 4 виточки $\varnothing 120$ на довжину 58 мм.</p> <p>2. Розточити 4 фаски.</p> <p>3. Свердлити 2 отвори $\varnothing 30$ на довжину 25 мм.</p> <p>4. Розсвердлити отвір $\varnothing 45$ мм.</p> <p>5. Розточити отвір $\varnothing 49,5$ на довжину 10 мм.</p> <p>6. Розточити отвір $\varnothing 50H8$ на довжину 10 мм.</p> <p>7. Розточити фаску $3 \times 45^{\circ}$.</p> <p>8. Центрувати 20 отворів $\varnothing 3,15$ (M20).</p> <p>9. Свердлити 20 отворів $\varnothing 17,5$ мм (M20) на довжину 50 мм.</p> <p>10. Зенкувати 20 фасок $2,5 \times 45^{\circ}$.</p> <p>11. Нарізати різьбу в 20 отворах M20 на довжину</p>	<p>Різець механічний розточувальний S12M SCLCR 09 з кутом 95°;</p>  <p>Свердло CoroDrill 880</p>  <p>Зенківка 2353-0136</p> <p>Мітчик 35-2620-0573</p>

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	<p>40 мм.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повернути стіл на 90^0 2. Центрувати 4 отвори $\varnothing 3,15$ мм. 3. Свердлити 4 отвори $\varnothing 5$ мм (М6) на довжину 15 мм. 4. Зенкувати 4 фаски 1×45^0. 5. Нарізати різьбу в 4-х отворах М6 на довжину 11 мм. <p style="text-align: center;">Позиція 3</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повернути стіл на 180^0. 2. Центрувати 8 отворів $\varnothing 3,15$ мм. 3. Свердлити 2 отвори $\varnothing 10,2$ мм (М12) на довжину 30 мм. 4. Зенкувати 2 фаски 1×45^0. 5. Нарізати різьбу в 2-х отворах М12 на довжину 22 мм. 6. Свердлити 2 отвори $\varnothing 5$ мм (М6) на довжину 15 мм. 7. Зенкувати 2 фаски 1×45^0. 8. Нарізати різьбу в 2-х отворах М6-7Н на довжину 11 мм. 9. Свердлити 4 отвори $\varnothing 6,7$ мм (М8) на довжину 	

№ операції	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	21 мм. 10. Зенкувати 4 фаски 1x45°. 11. Нарізати різьбу в 4-х отворах М8 на довжину 16 мм.	
150	Слюсарна 1. Зняти задирки.	-
155	Вертикально-фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати 2 паза $\sigma=45H11$, витримуючи розміри $255\pm 0,3$; $335\pm 0,3$ мм. 2. Центрувати 8 отворів $\varnothing 3,15$ мм. 3. Свердлити 4 отвори $\varnothing 8,7$ мм (М10) на довжину 25 мм. 4. Зенкувати 4 фаски 1,6x45°. 5. Нарізати різьбу в 4-х отворах М10 на довжину 20 мм. 6. Свердлити 4 отвори $\varnothing 4$ мм (М5) на довжину 18 мм. 7. Зенкувати 4 фаски 1x45°. 8. Нарізати різьбу в 4-х отворах М5 на довжину 14 мм.	Різець механічний розточувальний S12M SCLCR 09 з кутом 95°;  Свердло CoroDrill 880  Зенківка 2353-0136 Мітчик 35-2620-0573
160	Слюсарна	-

№ опе- рації	Найменування операції і зміст технологічного переходу	Різальний інструмент
	1. Зняти задирки.	
165	<i>Маркування</i>	-
170	<i>Фарбування</i>	-

2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку

2.6.1 Аналітичний розрахунок припусків

Для зручності результати розрахунків представимо в вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Карта розрахунку припусків на обробку та граничних розмірів по технологічних переходах $\varnothing 80H8$

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 80H8$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{\min}$, мкм	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	R_z	T	ρ	ε				d_{\min}	d_{\max}	$2z_{\min}^{zp}$	$2z_{\max}^{zp}$
Заготовка	700	700	3805	-	-	68,654	3500	65,2	68,7	-	-
1. Фрезерування обдирочне	250	250	228	170	9018	77,672	1000	77	78	9300	11800
2. Фрезерування чорнове	100	100	190	140	1,535	79,207	540	78,67	79,21	1210	1670
3. Фрезерування чистове.	-	-	-	120	850	80,057	57	80	80,057	847	1330
Всього:										11357	14800

Технологічний маршрут оброблення поверхні $\varnothing 80H7$ складається із обдирочного, чорнового, чистового фрезерування.

Значення R_z і T для заготовки, а також після механічного оброблення, як технологічні допуски δ - це довідникові значення.

Знаходимо значення просторової похибки:

$$\rho = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2},$$

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

$$\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta_k \cdot d)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2},$$

де Δ_k - питома кривизна заготовки, мкм на 1 мм довжини;

d - оброблюваний діаметр, мм;

l - довжина заготовки в мм.

$$\rho_{кор} = \sqrt{(3 \cdot 80)^2 + (3 \cdot 180)^2} = 591 \text{ мкм.}$$

$\rho_{зм}$ - похибка зміщення:

$$\rho_{зм} = \sqrt{\left(\frac{\delta_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_2}{2}\right)^2} \text{ мм;}$$

де δ_1 і δ_2 - допуски на розміри по класу точності відповідно вилитій заготовці.

$\delta_1 = 3,5$ мм; $\delta_2 = 4,0$ мм.

$$\rho_{зм} = \sqrt{\left(\frac{3500}{2}\right)^2 + \left(\frac{4000}{2}\right)^2} = 3758 \text{ мкм.}$$

Отже, значення просторової похибки:

$$\rho = \sqrt{591^2 + 3758^2} = 3805 \text{ мкм.}$$

Залишкова величина просторових відхилень:

Після обдирочного проходу:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 3805 = 228 \text{ мкм,}$$

Після чорнового фрезерування:

$$\rho_2 = 0,05 \cdot 3805 = 190 \text{ мкм}$$

Похибка встановлення ε_y на переході, що виконується, при визначенні проміжного припуску, характеризує зміщення оброблюваної поверхні, яке повинно компенсуватись додатковою складовою проміжного припуску.

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2};$$

де $\varepsilon_0 = 0$ - похибка базування (оскільки співпадають установча і технологічна бази);

При першому переході базуємо заготовку по необробленій поверхні. Тоді похибка закріплення $\varepsilon_{31} = 170$ мкм. При другому переході $\varepsilon_{32} = 140$ мкм; при третьому переході $\varepsilon_{33} = 120$ мкм.

Отже,

$$\varepsilon_{y1} = \varepsilon_{31} = 170 \text{ мкм;}$$

$$\varepsilon_{y2} = \varepsilon_{32} = 140 \text{ мкм;}$$

$$\varepsilon_{y3} = \varepsilon_{z3} = 120 \text{ мкм.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3.

Загальні припуски $z_{o_{\min}}$ та $z_{o_{\max}}$ визначаємо, сумуючи проміжні.

Перевіримо вірність розрахунків:

$$2z_{1\max} - 2z_{1\min} = \delta_3 - \delta_1;$$

$$14800 - 11357 = 3500 - 57$$

$$3443 = 3443$$

Розрахунки проведені правильно.

2.7 Вибір режимів різання методом

Результати представимо в вигляді таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Режими різання

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xg} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
010	Токарно-карусельна 1. Точити поверхню „И”, витримуючи розмір 171,6.	5	1	-	15	83,68	25	30,228
	2. Розточити центральний отвір $\varnothing 190+0,3$ ($\varnothing 200H8$).	5	1	-	60	100	100	
020	Токарно-карусельна 1. Точити поверхні платиків, витримуючи розмір 183,2 мм.	5	1	-	15	83,68	25	29,7

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
050	Радіально-свердлувальна							
	Установ 1							
	1. Свердлити 2 отвори $\varnothing 26,5$ (М30) на довжину 70 мм.	13,25	1	0,2	25	10,4	125	
	2. Розсвердлити 2 отвори $\varnothing 38$ на довжину 16 мм.	5,75	1	0,14	8,82	7,52	63	
	3. Цекувати 2 отвори $\varnothing 70$ на довжину 5 мм.	16	1	0,1	3,15	6,92	31,5	
	4. Нарізати різьбу в 2-х отворах (М30-7Н) на довжину 35 мм.	1	1	3,5	157,5	4,24	45	
	Установ 2	13,25	1	0,2	25	10,4	125	
	1. Свердлити 2 отвори $\varnothing 26,5$ (М30) на довжину 70 мм.	5,75	1	0,14	8,82	7,52	63	
	2. Розсвердлити 2 отвори $\varnothing 38$ на довжину 16 мм.	16	1	0,1	3,15	6,92	31,5	
	3. Цекувати 2 отвори $\varnothing 70$ на довжину 5 мм.	1	1	3,5	157,5	4,24	45	
	4. Нарізати різьбу в 2-х отворах (М30-7Н) на довжину 35 мм.							

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
065	Поздовжньо-фрезерна Установ 1 1. Фрезерувати площину „И”, витримуючи розміри 170,6 мм та 182,2 мм.	1	5	-	180	188,4	315	44,44
	Установ 2 1. Фрезерувати поверхні пластиків, витримуючи розмір 181,2 мм.	1	5	-	180	188,4	315	
075	Поздовжньо-фрезерна Установ 1 1. Фрезерувати основу, витримуючи розмір 411 мм та протилежну сторону, витримуючи розмір 749 мм.	4	1	-	180	188,4	300	22,22
	Установ 2 1. Фрезерувати боковий пластик, витримуючи розмір 391 мм.	4	1	-	180	188,4	300	

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
085	Горизонтально-розточна							
	Позиція 1							
	1. Розточити отвір $\varnothing 179$, витримуючи розміри 411, 391.	1,5	1	-	160	61,85	100	5,813
	2. Розточити 4 отвори $\varnothing 77$.	5	1	-	156	62,68	260	
3. Розточити 4 виточки $\varnothing 117$ на довжину 58 мм.	4	5	-	96	58,78	160		
Позиція 2								
	1. Повернути стіл на 90° .							
	2. Фрезерувати боковий платик в розмір $390 \pm 0,1$ мм.	1	1	-	180	188,4	300	

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
095	Горизонтально-розточна Установ 1							
	1. Фрезерувати лунку R 22,5, витримуючи розміри 165; 75 мм.	45	1	-	32	22,6	160	6,878
	2. Фрезерувати лунку R 22,5, витримуючи розміри 130; 150 мм.	45	1	-	32	22,6	160	
	3. Фрезерувати 2 паза $v=45$ мм, витримуючи розміри 30; 65; 65; R 22,5 мм.	45	1	-	32	22,6	160	
Установ 2								
	1. Фрезерувати 2 паза $v=45$ мм, витримуючи розміри 30; 65; 65; R 22,5 мм.	45	1	-	32	22,6	160	
105	Радіально-свердлувальна							
	1. Свердлити отвір $\varnothing 25$.	12,5	1	0,2	-	12,56	160	10,51
	2. Розсвердлити отвір $\varnothing 36$ мм.	5,5	1	0,2	-	7,12	63	

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
115	Поздовжньо-шліфувальна Установ 1 1. Шліфувати 2 площини в розмір 180 мм, витримуючи технічні умови згідно креслення.	0,01	60	-	32	35	1112	53,3
	Установ 2 1. Шліфувати 2 площини в розмір 180 мм, витримуючи технічні умови згідно креслення.	0,01	60	-	32	35	1112	
125	Фрезерна з ЧПК 1. Фрезерувати основу, витримуючи розмір 410 мм.	1	1	-	120	251,2	400	10,632
	2. Фрезерувати 2 паза 20P11.	10	1	-	150	31,4	500	
	3. Обробити 4 отвори $\varnothing 80H8$ мм.	9,5	1	-	63	12,79	315	

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
135	Фрезерна з ЧПК							
	1. Розточити отвір Ø20H8.	1	1	-	31,25	78,7	125	149,868
	2. Розточити 4 отвори Ø80H8, витримуючи розміри 410±0,02 мм, 390±0,1 мм.	0,5	1	-	16	95,2	160	
	3. Розточити 5 фасок в отворі Ø20H8 та в отворі Ø80H8.	3	1	-	31,25	78,1	125	
	4. Фрезерувати 4 паза 20H11, витримуючи розмір 100 мм.	10	1	-	150	31,4	500	
	5. Центрувати 72 отво- ри Ø3,15 мм (64 отвори M16, 8 отворів M8).	1,575	1	-	63	6,23	630	
	4. Свердлити 8 отворів Ø6,7 (M8) на довжину 20 мм.	3,35	1	-	37,8	6,63	315	
	5. Зенкувати 8 фасок 1,6x45°.	1,6	1	-	126	17,83	630	
	6. Нарізати різьбу M8 в 8 отворах на довжину 16мм.	1	1	-	78,75	1,5	63	
	6. Свердлити 64 отвори Ø14 мм (M16) на дов-	7 2	1 1	- -	100 126	21,98 17,83	500 630	

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
	Фрезерна з ЧПК							
	Позиція 1							
	1. Розточити 4 виточки Ø120 на довжину 58 мм.	1	1	-	40	100,4 8	400	
	2. Розточити 4 фаски.	12,5	1	-	32	12,56	160	
	3. Свердлити 2 отвори Ø30 на довжину 25 мм.	10	1	-	13	7,06	50	
	4. Розсвердлити отвір Ø45 мм.	2,25	1	-	100	72,7	500	
	5. Розточити отвір Ø49,5 на довжину 10 мм.	0,25 3	1 1	- -	63 100	98,9 78,5	630 500	
	6. Розточити отвір Ø50H8 на довжину 10 мм.	1,575 8,75	1 1	- -	63 80	6,23 21,98	630 400	
	7. Розточити фаску 3x450.	2,5	1	-	50	15,7	250	
	8. Центрувати 20 отво- рів Ø3,15 (M20).	1	1	-	78,75	1,97	31,5	
	9. Свердлити 20 отворів Ø17,5 мм (M20) на довжину 50 мм.	1,575	1	-				
	10. Зенкувати 20 фасок 2,5x450.	2,5	1	-	63	6,23	630	
	11. Нарізати різьбу в 20	1	1	-	50	7,85	500	
		1						

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
145	1. Повернути стіл на 90°		1	-	63	1,18	630	76,817
	2. Центрувати 4 отвори Ø3,15 мм.							
	3. Свердлити 4 отвори Ø5 мм (М6) на довжину 15 мм.	1,575 5,1						
	4. Зенкувати 4 фаски 1x450.	1 1	1	-	63	6,23	630	
	5. Нарізати різьбу в 4-х отворах М6 на довжину 11 мм.		1	-	126	20,17	630	
	Позиція 3							
	1. Повернути стіл на 180°.	1 1	1	-	126	17,83	630	
	2. Центрувати 8 отворів Ø3,15 мм.		1	-	55	1,18	31,5	
	3. Свердлити 2 отвори Ø10,2 мм (М12) на довжину 30 мм.	1 1	1	-	50	7,85	500	
	4. Зенкувати 2 фаски 1x450.	1 1	1	-	126	17,8	630	
	5. Нарізати різьбу в 2-х отворах М12 на довжи- ну 22 мм.		1	-	63	1,18	63	
	6. Свердлити 2 отвори		1	-	37,8	6,63	315	
			1	-	126	17,83	630	
			1	-	78,75	1,5	63	

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання						
		t , мм	i , чис- ло про- ходів	S , мм/об (мм/зуб)	S_{xe} , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	T_o хв
155	Фрезерна з ЧПК							
	1. Фрезерувати 2 паза в=45Н11, витримуючи розміри 255±0,3; 335±0,3 мм.	22,5	1	-	40	28,26	200	19,728
	2. Центрувати 8 отворів Ø3,15 мм.	1,575	1	-	63	6,23	630	
	3. Свердлити 4 отвори Ø8,7 мм (М10) на довжину 25 мм.	4,35	1	-	31,5	8,6	315	
	4. Зенкувати 4 фаски 1,6x450.	1,6	1	-	126	17,83	630	
	5. Нарізати різьбу в 4-х отворах М10 на довжину 20 мм.	1	1	-	75	1,57	50	
	6. Свердлити 4 отвори Ø4 мм (М5) на довжину 18 мм.	2	1	-	63	7,9	630	
	7. Зенкувати 4 фаски 1x450.	1	1	-	126	17,8	630	
8. Нарізати різьбу в 4-х отворах М5 на довжину 14 мм.	1	1	-	28	0,63	40		

2.8 Нормування технологічного процесу механічного оброблення

Результати розрахунків наведемо у вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Зведена відомість норм штучно – калькуляційного часу по операціях

Номер операції	Назва операції	T_o , ХВ	$T_{оп}$ ХВ	$T_{п.з.}$ ХВ	$T_{обв.к.}$ ХВ	$T_{від}$ ХВ	$T_{шт.к.}$ ХВ	$T_{доп.}$ ХВ			$T_{шт.к.}$ ХВ
								$T_{зак.}$	$T_{кер}$	$T_{вим}$	
010	Токарно-карусельна	30,283	41,98	26	1,05	1,679	44,712	10,5	0,74	0,46	44,92
020	Токарно-карусельна	29,7	40,8	26	1,02	1,632	43,452	10,5	0,36	0,24	43,66
050	Радіально-свердлувальна	37,628	59,948	14	1,749	2,798	74,495	25,6	4,8	1,92	74,607
065	Поздовжньо-фрезерна	44,44	76,12	24	1,903	3,045	81,07	25,6	5,6	0,48	81,262
075	Поздовжньо-фрезерна	22,22	51,32	24	1,283	2,053	54,656	25,6	1,2	1,8	54,868
085	Горизонтально-розточна	5,813	42,973	30	1,074	1,719	45,766	30,2	4,88	2,08	46,006
095	Горизонтально-розточна	6,878	74,718	30	1,868	2,989	79,575	60,4	3,6	3,84	79,815

Номер операції	Назва операції	T_o , ХВ	$T_{оп}$ ХВ	$T_{п.з.}$ ХВ	$T_{обв.к.}$ ХВ	$T_{від}$ ХВ	$T_{шт.к.}$ ХВ	$T_{дон}$, ХВ			$T_{шт.к.}$ ХВ
								$T_{зак.}$	$T_{кер}$	$T_{вим}$	
105	<i>Радіально-свердловальна</i>	10,51	24,89	14	0,622	0,996	26,508	12,8	1,34	0,24	26,62
115	<i>Поздовжньо-шліфувальна</i>	53,3	78,56	18	1,964	3,142	83,666	16,4	8,4	0,46	83,81
125	<i>Фрезерна з ЧПК</i>	10,632	53,75	34	1,344	2,15	57,246	35,6	5,36	2,16	57,518
135	<i>Фрезерна з ЧПК</i>	49,868	332,99	34	8,325	13,32	354,63	35,6	138,92	18,6	354,904
145	<i>Фрезерна з ЧПК</i>	76,817	402,157	34	5,054	8,086	215,29	37,8	75,14	12,4	215,569
155	<i>Фрезерна з ЧПК</i>	19,728	78,288	34	1,957	3,13	83,377	35,6	21,16	1,8	83,649

2. 9 Генерування керуючої програми оброблення на верстаті

Розроблення керуючої програми для оброблення деталі на операції 125 – фрезерній з ЧПК, на верстаті HAAS VF-3 (рис. 2.3) в системі автоматизованого проектування (САМ) містить декілька етапів.



Рисунок 2.3 – Вертикально-фрезерний верстат HAAS VF-3

1. Створення 3D моделі (рис. 2.4).

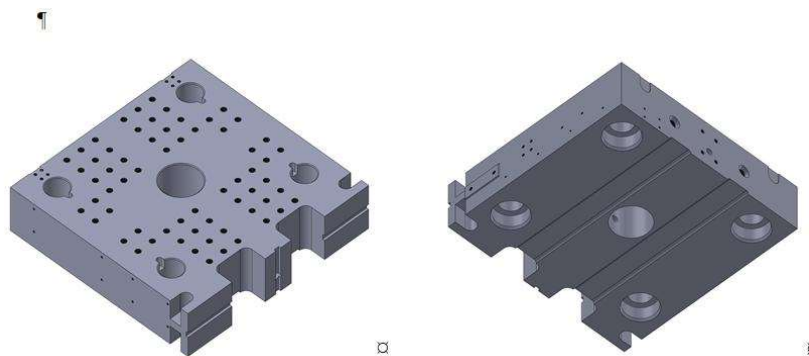


Рисунок 2.4 – 3D модель деталі «плита»

4. Траекторія руху інструменту при обробленні отворів (рис. 2.5)

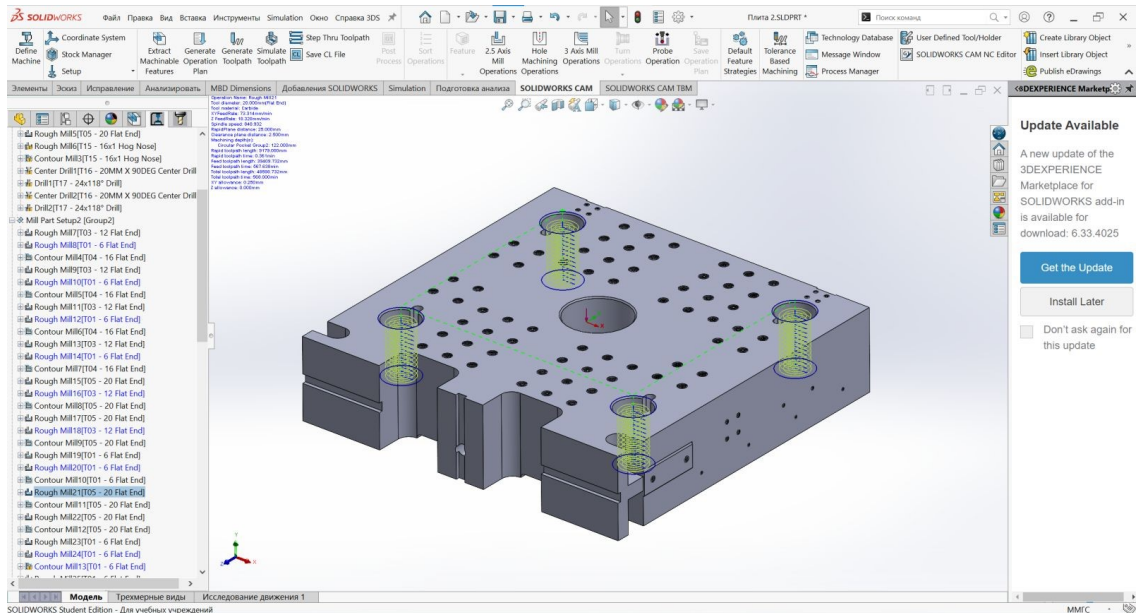


Рисунок 2.5 – Траекторія руху інструменту при обробленні отворів

5. Траекторія руху інструменту при фрезеруванні паза (рис. 2.6)

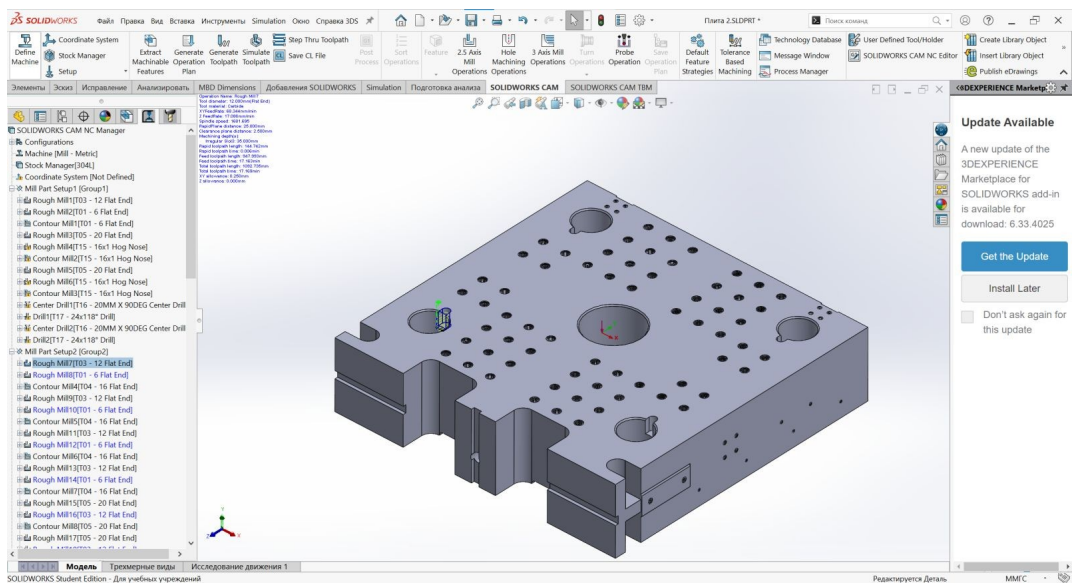


Рисунок 2.6 – Траекторія руху інструменту при фрезеруванні паза

6. Траекторія руху інструменту при фрезеруванні площини (рис. 2.7)

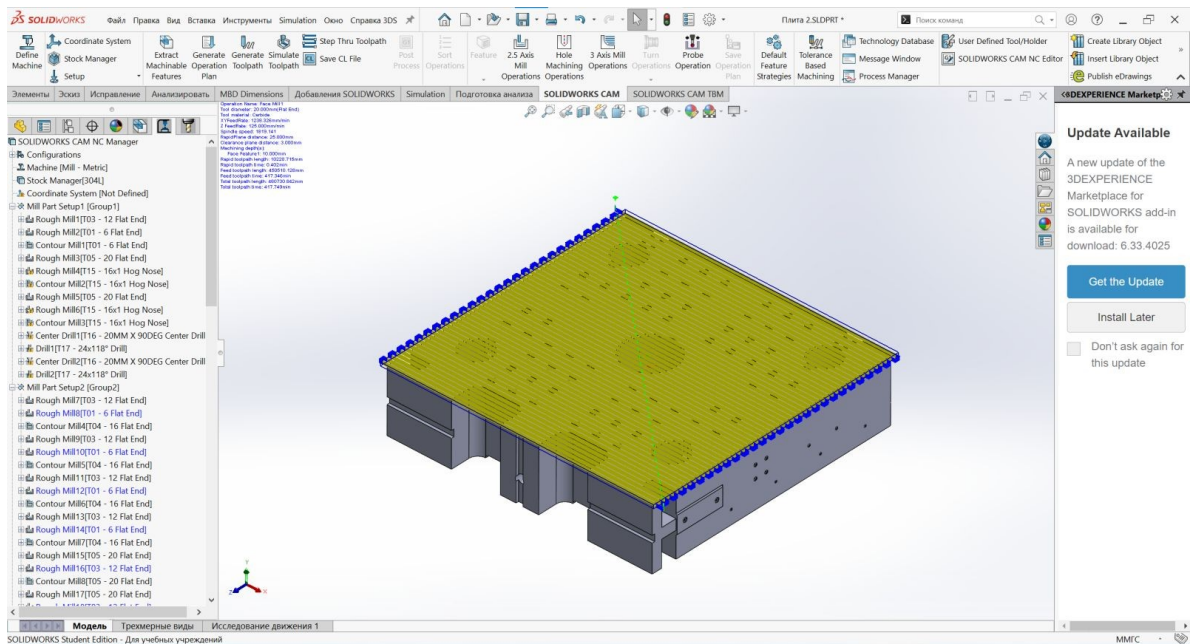


Рисунок 2.7 – Траекторія руху інструменту при фрезеруванні площини

7. Візуалізація процесу оброблення – фрезерування отвору (рис. 2.8)

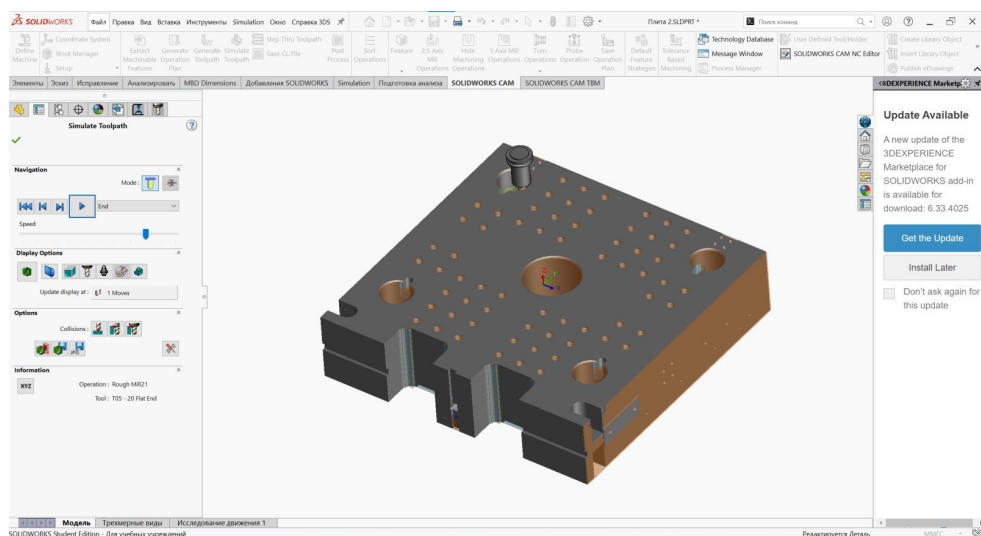


Рисунок 2.8 – Візуалізація процесу оброблення отвору

8. Візуалізація процесу оброблення – фрезерування паза (рис. 2.9)

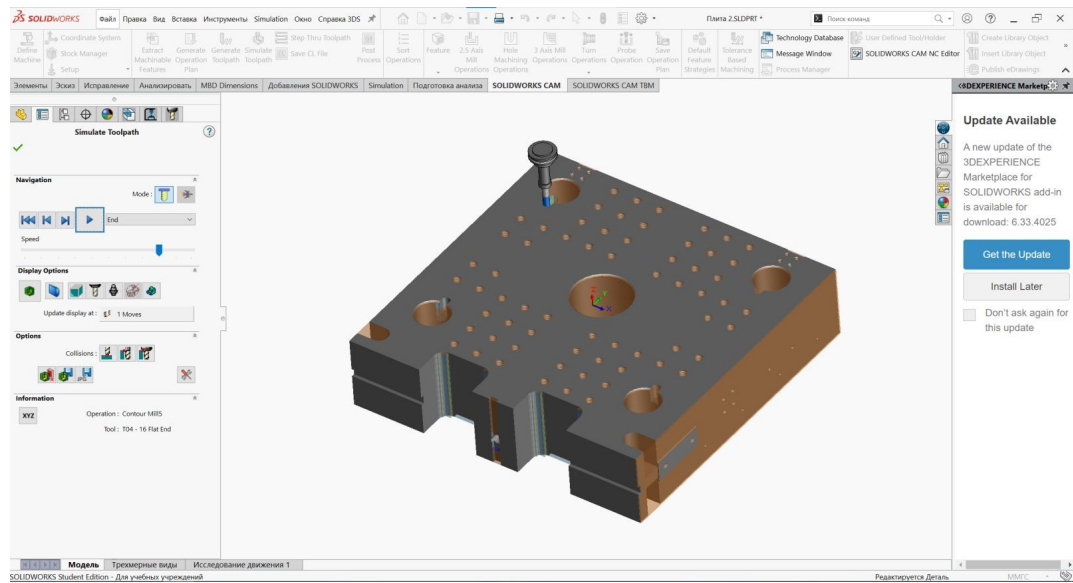


Рисунок 2.9 – Візуалізація процесу фрезерування паза

9. Візуалізація процесу оброблення – фрезерування площини (рис. 2.10)

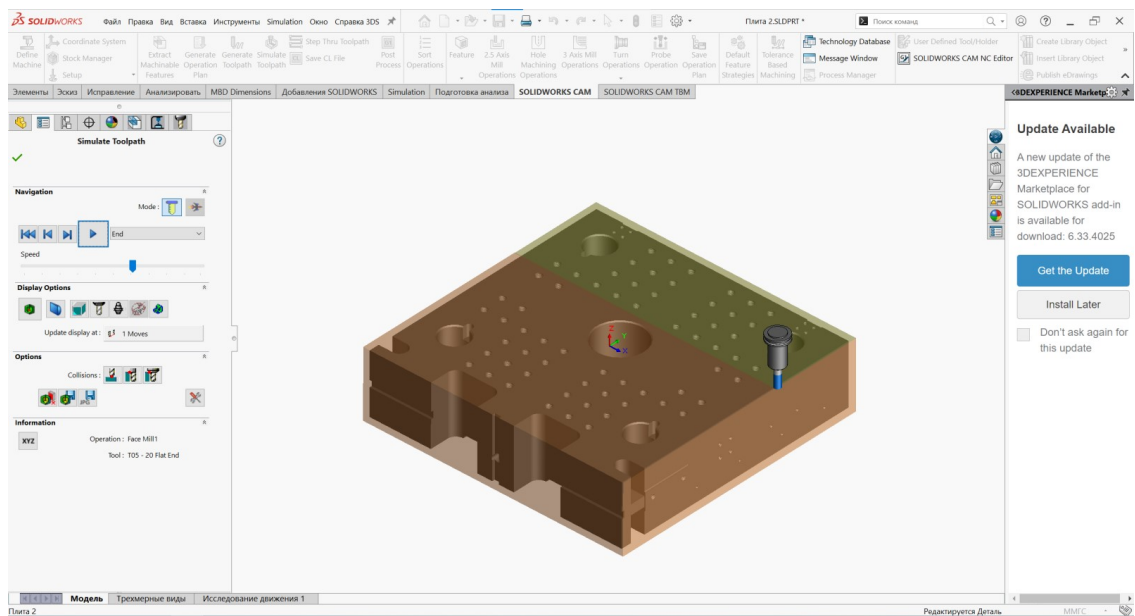


Рисунок 2.10 – Візуалізація процесу фрезерування площини

10. Автоматично згенеровано програму для ЧПК (рис. 2.11).

```
N229 G00 X55.2
N230 Z-54.794
N231 X55.
N232 G01 X51.168
N233 G00 X55.2
N234 Z-54.892
N235 X55.
N236 G01 X51.346
N237 G00 X55.2
N238 Z-54.99
N239 X55.
N240 G01 X51.9
N241 G00 X55.2
N242 X508. Z127. M09
N243 M01

N244 (1MM GROOVE OD HOLDER)
N245 T0707
N246 B90.
N247 G00 G97 S453 M03

N248 (10.0mm JOBBER DRILL)
N249 G54 G00 Z-53.9 M08
N250 X55.2
N251 G98 G01 X55. Z-54. F21.9
N252 X51.9
N253 G03 X51. Z-53.55 R.45
N254 G00 X55.
N255 Z-53.1
N256 G01 Z-53.
N257 X51.9
N258 G02 X51. Z-53.45 R.45
N259 G01 Z-53.55
N260 G00 X55.1
N261 X508. Z127. M09
N262 M01

N263 (6MM X 60DEG HSS CENTERDRILL)
N264 T0808
N265 B0
N266 G00 G97 S4204 M03

N267 ( &5=B@>20=851 )
N268 G54 G00 Z3. M08
N269 X0
N270 G74 Z-2. F277.6
N271 X508. M09
N272 Z127.
```

Рисунок 2.11 – Фрагмент G-code автоматично генерованої програми

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Проектування верстатного пристрою для повороту деталі при фрезеруванні

3.1.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою

Пристрій призначено для закріплення плити при фрезеруванні основи та бобишок на боковій поверхні плити на поздовжньо - фрезерному верстаті 6М610Ф11.

Деталь в даному пристрої встановлюється попередньо обробленою лицьовою поверхнею на поворотний стіл поз.7. Ця поверхня є головною установчою базою на вказаній операції. Напрямною установчою базою є два із чотирьох отворів під колони, що розташовані по діагоналі плити. В ці отвори вставлено дві оправки поз.2, які одночасно є гвинтовими затискачами з клиновим механізмом.

Принцип дії наступний. В напрямній втулці розташовано затискний гвинт, який в свою чергу пов'язаний із різьбою М16 з поворотним столом поз.7 пристрою. При загвинчуванні затискного гвинта в елемент стола, закріплена на гвинт втулка з трьома конусними пазами, по яких пересуваються підпружинені затискні сухарі, діє на ці сухарі і розтискає їх до контакту з поверхнею отвору. При цьому створюється необхідне затискне зусилля, яке забезпечує оброблення бокових поверхонь плити.

Після оброблення основи плити її за рахунок поворотного столу розвертають на 90^0 , фіксують і проводять оброблення бобишок 145x50 мм.

Принцип дії поворотного столу. Стіл має можливість повертатись навколо штиря поз.9, навколо своєї осі в незафіксованому стані. Штир поз. 9 нерухомо закріплено в нижній плиті поз.1 пристрою. На ньому через втулку поз. 11 закріплено поворотну плиту поз.7, яка лежить на нижній плиті поз.1 на підшипникових кульках поз. 32, що закріплені в сепараторі 8.

Фіксатор повороту стола складається із ексцентрика поз.12, який за рахунок зміщення осей при повороті плити поз. 7 викликає тертя поверхонь плит поз.7 і поз.1. тобто піднімає плиту поз. 7 над плитою поз.1 на величину ексцентриситету $e=1,5$ мм. При повороті ексцентрика на 90^0 він не тільки піднімає верхню плиту 7,

але й виводить із отвору верхньої плити 7 фіксатор поз.21 зубчастої передачі ексцентрик - фіксатора (поз.21 і 12). При повороті ексцентрика ще на 90^0 верхня плита 7 опускається на плиту 1 і фіксатор поз. 21, в свою чергу, заходить в один із чотирьох фіксуючих отворів верхньої плити.

Схему базування деталі наведено на рис. 3.1.

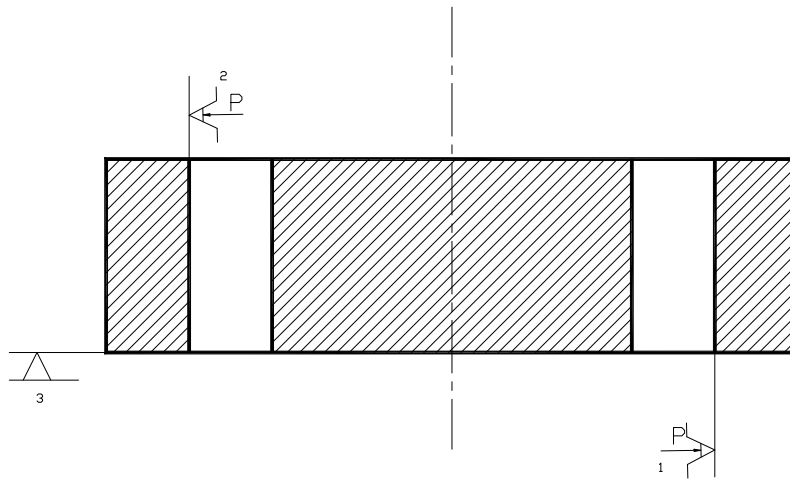


Рисунок 3.1 - Схема базування

В даному випадку затискні клинові елементи є одночасно базовими поверхнями.

3.1.2 Розрахунок сил затискання при фрезеруванні нижньої поверхні плити

Розрахунок сили затискання P , що прикладається до оброблюваної деталі по двох діагонально розташованих отворах під колони (рис. 3.1), проводимо, виходячи із максимального значення головної складової сили різання P_z , яка виникає при виконанні чорнового фрезерування основи плити.

Значення головної складової сили різання P_z визначається за формулою:

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

де C_p - коефіцієнт, що залежить від виду матеріалу, що обробляється та від виду обробки;

x, y, n, u, q, w - показники степені;

D - діаметр фрези, мм;

B - ширина фрезерування, мм;

z - кількість зубців фрези.

$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^{n_p}$ - коефіцієнт, який враховує конкретні умови обробки..

Розрахунок сили різання проводився в технологічному розділі. Звідти $P_z = 5833,43$ Н. Розрахункова схема для визначення сили затискання наведена на рис. 3.2.

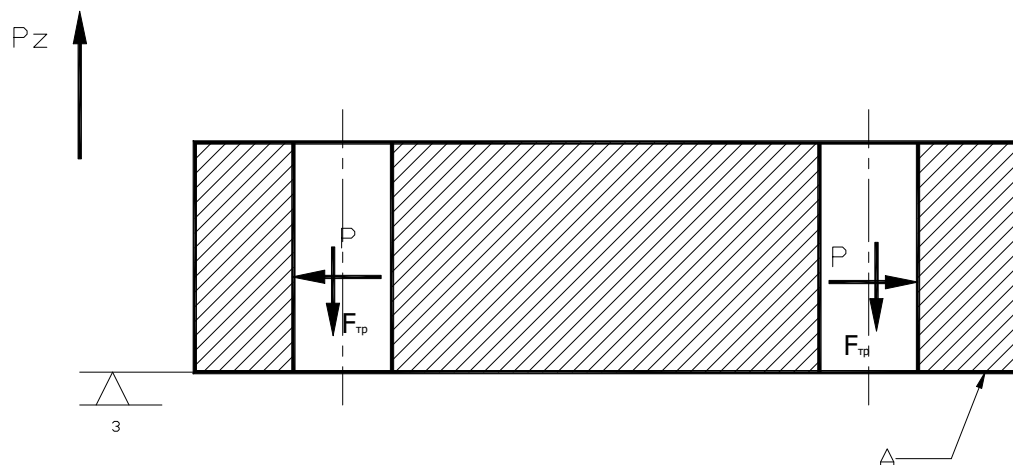


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема для визначення сили затискання P

В зв'язку з цим умова статичної рівноваги в просторі описується рівнянням:

$$P_z \cdot k \leq \sum F_{mp},$$

де $\sum F_{mp}$ - сумарна величина сили тертя, що діє на деталь від сил затискання P .

$$\sum F_{mp} = 2P \cdot (f_1 + f_2);$$

де f_1 - коефіцієнт тертя між опорними пластинами пристрою і спряженою поверхнею плити 1; приймаємо $f_1 = 0,1$;

f_2 - коефіцієнт тертя між поверхнями притискних прихватів і поверхнею плити 2; приймаємо $f_2 = f_1 = 0,1$.

Тоді умова статичної рівноваги деталі має вигляд:

$$P_z \cdot k \leq 2P \cdot 0,2;$$

де k - коефіцієнт запасу:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6;$$

$$k_0 = 1,5; k_1 = 1,0; k_2 = 1,13; k_3 = 1,0; k_4 = 1,0; k_5 = 1,0; k_6 = 1,5.$$

Отже,

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,54.$$

Тоді величина зусилля затискання P :

$$P \geq \frac{P_z \cdot k}{0,4} = \frac{5833,43 \cdot 2,54}{0,4} = 24885,6 \text{ Н.}$$

Приймаємо $P = 24885,6 \text{ Н.}$

Головна складова сили різання P_z , що виникає при фрезеруванні основи плити, намагається зіштовхнути деталь з площини „А” пристрою. Сили тертя, що виникають від сили затискання P , прикладеного до деталі по двом отворам утримує оброблювану деталь в пристрої. Сила тертя F_{mp} , що діє на оброблювану деталь прикладена по поверхнях контакту клинових сухарів з поверхнею отворів під колони.

В зв'язку з цим умова статичної рівноваги деталі в пристрої описується рівнянням:

$$2 \cdot F_{mp} \geq P_z \cdot k;$$

де F_{mp} - сила тертя, діюча на деталь від сили затискання P .

$$F_{mp} = P \cdot f,$$

де P - сила затискання;

f - коефіцієнт тертя між деталлю та клиновими сухарями; $f = 0,1$.

Тоді умова статичної рівноваги має вигляд:

$$z \cdot P \cdot f \geq P_z \cdot k,$$

де P_z - сила різання; $P_z = 5833,43 \text{ Н.}$

k - коефіцієнт запасу:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6;$$

$$k_0 = 1,5; k_1 = 1,0; k_2 = 1,13; k_3 = 1,0; k_4 = 1,0; k_5 = 1,0; k_6 = 1,5.$$

Отже,

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,54.$$

Значення зусилля затискання не повинно бути меншим:

$$P \geq \frac{P_z \cdot k}{4 \cdot f} = \frac{5833,43 \cdot 2,54}{4 \cdot 0,1} = 37042 \text{ Н.}$$

3.1.3 Розрахунок гвинтового та клинового затискного пристрою

Розрахунок затискного пристрою полягає у визначенні повного моменту, який прикладається до гвинта стійки z для отримання на клинових сухарях необхідної сили затискання P .

Кінематична схема клинового механізму з різьбовим затисканням наведена на рис. 3.3.

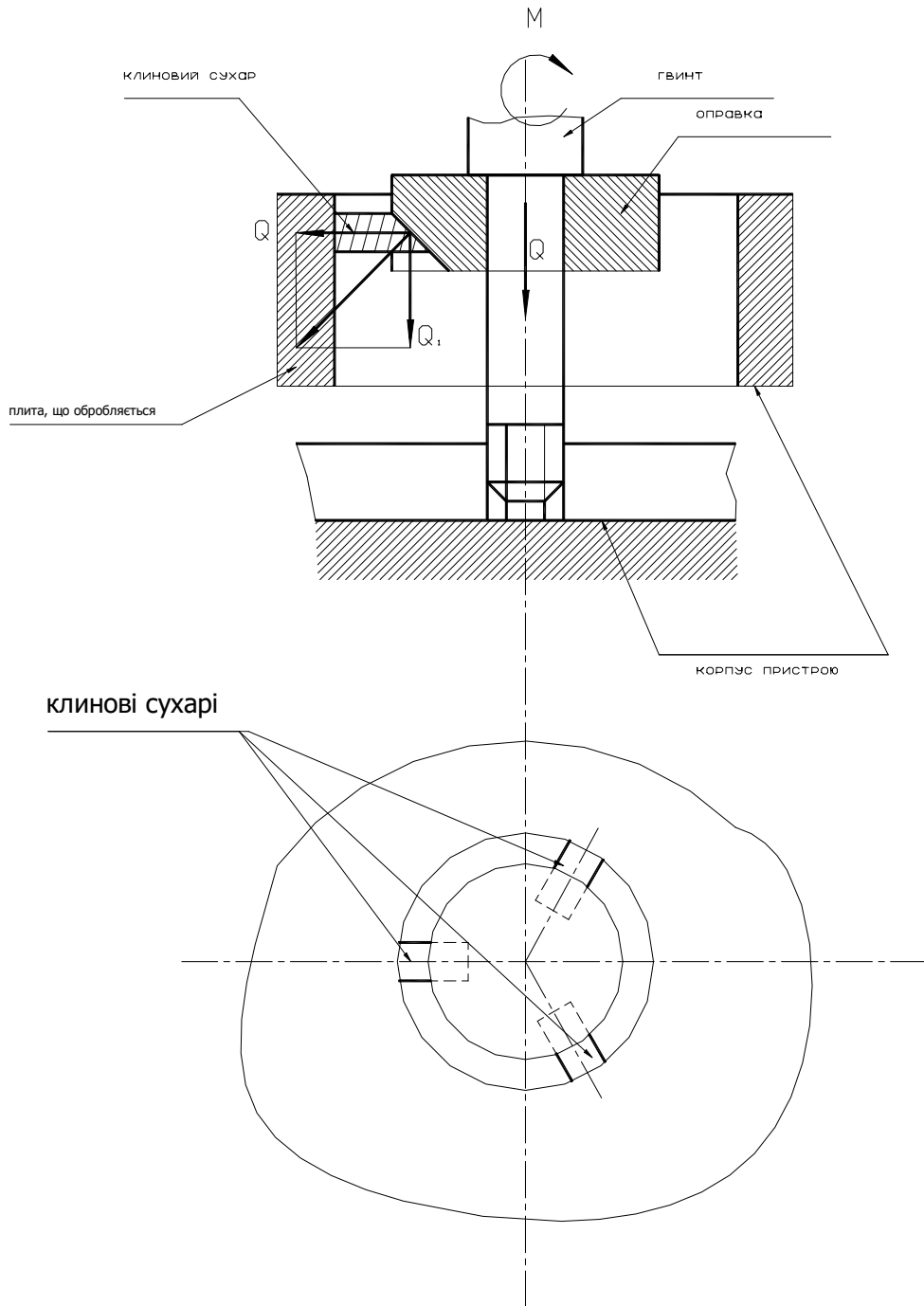


Рисунок 3.3 - Кінематична схема клинового механізму
з гвинтовим затисканням

Для клинового механізму односторонньої дії величина затискного зусилля Q , яке забезпечує зусилля затискання P із врахуванням сил тертя визначається за формулою:

$$Q = P \cdot [(tg \alpha + tg \varphi_1) + tg \varphi_2]$$

де α - кут нахилу скосу клинового сухаря, $\alpha = 5^\circ$;

$tg \varphi_1$ - коефіцієнт тертя на нахиленій поверхні клина;

$tg \varphi_2$ - коефіцієнт тертя на напрямній поверхні клина.

За умови, що $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$ допускається приймати:

$$Q = P \cdot tg(\alpha + 2\varphi).$$

$$\varphi = \arctg f,$$

де f - коефіцієнт тертя, $f = 0,05$.

$$\varphi = \arctg 0,05 = 2^\circ 5'.$$

Звідси:

$$Q = P \cdot (tg \alpha + 2\varphi) = 5107 \text{ Н.}$$

Для гвинтового затискного пристрою момент, прикладений до гвинта, необхідний для надання сили затискання Q визначається за формулою:

$$M_p = Q \frac{d_{cp}}{2} \cdot tg(\alpha + \varphi_{np}),$$

де d_{cp} - середній діаметр різьби М16, $d_{cp} = 14,7$ мм;

α - кут підйому різьби, $\alpha = 2^{\circ}30'$;

p - крок різьби, $p = 2$ мм;

$\text{tg}\varphi_{np}$ - приведений коефіцієнт тертя для заданого профілю різьби,

$$\text{tg}\varphi_{np} = \frac{f}{\cos \beta},$$

f - коефіцієнт тертя по площині контакту, $f = 0,1$;

$\beta = 30^{\circ}$ - половина кута при вершині профілю різьби.

Підставляємо значення в формулу і отримуємо:

$$M_p = 1,433 \cdot Q \text{ Н/м.}$$

Крім того, при обертанні гвинта створюється додатковий момент, який долає тертя між стопорною шайбою і розтискнутою втулкою.

$$M_T = \frac{2}{3} Q \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot f \text{ Н/м,}$$

де R, r - відповідно зовнішній та внутрішній радіуси контакту;

f - коефіцієнт тертя на торці.

Повний момент $M_{об}$, який необхідно прикласти до гвинта, щоб забезпечити необхідну силу затискання P визначається за формулою:

$$M_{об} = M_p + M_m = Q \left(\frac{d_{cp}}{2} \text{tg}(\alpha + \varphi_{np}) + \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \right) = 107 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

тобто для забезпечення необхідного зусилля затискання P необхідно на гвинті забезпечити момент $M_{об} = 107 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

3.1.4 Перевірка найбільш напружених деталей пристрою на міцність

Найбільш напружена деталь в пристрої є затискний гвинт М16. умова міцності гвинта М16 на розтягування має вигляд:

$$\sigma_p = \frac{Q \cdot 4}{\pi d^2} \leq [\sigma_p],$$

де Q - зусилля затискання на гвинті;

d - внутрішній діаметр різьби М16, $d = 14 \text{ мм}$;

$[\sigma_p]$ - допустиме напруження розтягування для гвинтів класу міцності 8.8, сталь 35, термічне оброблювання – слабке гартування, $[\sigma_p] = 21000 \text{ кПа}$.

Отже, умова міцності виконується.

$$3319 \leq [\sigma_p] = 21000 \text{ кПа}$$

3.1.5 Розрахунок пристрою на точність

При фрезеруванні двох бокових поверхонь (основи і платиків) плити на поздовжньо – фрезерному верстаті розміри $390 \pm 0,1$ та $410 \pm 0,02$ витримуються за рахунок настроювання верстата (інструмента). А розміри, які визначають положення чотирьох периферійних отворів під колони ($\varnothing 67H14$) відносно бокових поверхонь плити, витримуються за рахунок точності виготовлення пристрою, яка визначає величину бокового зазору в посадках деталей поз.7 і деталей складальної одиниці оправки поз.2, втулки, яка з'єднана по посадці з плитою поз.7 і штиря, який з'єднаний з втулкою стійки по посадці.

Таким чином, розрахунком пристрою на точність визначимо допустиму величину сумарного радіального зазору в посадках штиря, втулки і плити, оправки поз.2.

Для розрахунку допустимої величини сумарного радіального зазору в посадках застосуємо формулу:

$$\varepsilon_{np} = \delta - k \sqrt{(k_1 \cdot \varepsilon_\delta)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{уст}^2 + \varepsilon_{зн}^2 + \varepsilon_n^2 + k_2 \cdot \omega},$$

де $\delta = 0,74$ мм $\left(90 \pm \frac{IT14}{2}\right)$ – допуск операційного розміру (розміру, що визначає положення отворів $\varnothing 67H14$ відносно бокових поверхонь плити), тобто даний розмір виконується по 14 квалітету точності;

$k = 1,2$ – коефіцієнт точності обробки;

$\omega = 0,05$ – коефіцієнт економічної точності оброблення;

ε_3 – похибка закріплення, яка з'являється внаслідок непостійності сили затиску.

В даному випадку похибка закріплення $\varepsilon_3 = 70$ мкм;

$\varepsilon_{уст}$ – похибка встановлення пристрою на верстаті:

$$\varepsilon_{уст} = \frac{L_\delta \cdot S}{l},$$

де L_{∂} - загальна довжина оброблення бокової поверхні плити за креслеником

$L_{\partial} = 760$ мм; $l = 600$ мм – відстань між шпонками пристрою;

S - найбільший зазор між напрямною шпонкою пристрою і низом стола верстата, розмір шпонки і характер посадки у верстатному пазу визначається з'єднанням – 28H7/g6, максимальний зазор в якому

$$S = 0,021 + 0,020 = 0,041$$

Тоді

$$\varepsilon_{уст} = \frac{760 \cdot 0,041}{600} = 0,052 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{зн} = 0,04$ мм - похибка зношування базових елементів;

ε_n - похибки установки і зміщення різального та допоміжного інструменту на верстаті, яка викликана неточністю виготовлення напрямних елементів пристрою; в даному випадку $\varepsilon_n = 0$, тобто маємо беззазорне базування за рахунок клинового затискання.

Отже, фактична похибка пристрою

$$\varepsilon_{np} = 0,74 - 1,2 \cdot \sqrt{0,07^2 + 0,052^2 + 0,04^2 + 0,03^2} = 0,618 \text{ мм.}$$

Таким чином, величина сумарного радіального зазору в посадках не повинна перевищувати величину ε_{np} . Призначаємо посадку деталей втулка – плита $\varnothing 70\text{H7/f7}$ і деталей втулка – штир $\varnothing 56\text{H7/f7}$.

Максимальний зазор в посадці $\varnothing 70\text{H7/f7}$ дорівнює $\Delta'_{\max} = 0,043 + 0,06 = 0,103$ мм.; в посадці $\varnothing 56\text{H7/f7}$ - $\Delta''_{\max} = 0,043 + 0,06 = 0,103$.

Звідси сумарний зазор в посадках $\varnothing 70\text{H7/f7}$ і $\varnothing 56\text{H7/f7}$ дорівнює:

$$\Delta \varepsilon_{\max} = \Delta'_{\max} + \Delta''_{\max} = 0,103 + 0,103 = 0,206 \text{ мм.}$$

Таким чином, з точки зору точності дану схему базування можна признати раціональною, оскільки виконується умова:

$$\Delta \varepsilon_{\max} < \varepsilon_{np},$$
$$0,206 < 0,618.$$

3.2 Проектування контрольно – вимірювального пристрою

3.2.1 Опис конструкції та принципу роботи пристрою

Пристрій призначено для контролю міжцентрових відстаней отворів $\varnothing 80H8$ і центрального отвору $\varnothing 200H8$ деталі “плита нерухома”.

Пристрій складається із рейки поз.6, в якій є 2 поздовжніх паза шириною $\epsilon=16H7$. В кожний із пазів вмонтовано 2 пальця, за допомогою яких вони розкріплюються на рейці на визначений розмір міжцентрових відстаней. На других кінцях пальців закріплюються вимірювальні диски D і D₁, розміри яких визначаємо із таблиці і схеми вимірювань (див. кресленик пристрою).

Для виключення можливого ромбоподібного розташування отворів $\varnothing 80H8$ вводимо додатково контроль міжцентрових відстаней по діагоналі.

Вимірювальний диск D₁, закріплений на пальці 8, має можливість (коли він не буде затиснутий із затискачем) вільно переміщуватись в пазу рейки і фіксуватись в визначеному положенні за допомогою затискача 11.

Вимірювальний диск D нерухомо через вісь 7 з'єднаний з повзушкою 2. Повзушка 2, в свою чергу, разом із диском D має можливість переміщуватись на незначну відстань (10 мм) відносно рейки (в пазу $\epsilon=16H7$) під дією пружини 13 вправо. В не затиснутому стані (звільнений затискувач 11) повзушка 2 завжди буде розташовуватись в крайньому правому положенні під дією пружини. Вліво повзунка може переміститись тільки під дією зусилля контролера, виконуючого вимірювання міжцентрових відстаней.

В жорстко з'єднаному з сухарем 4 кронштейні 1 встановлюється індикатор годинникового типу, який фіксується в кронштейні за допомогою втулки 12 і гвинта 5, доторкаючись вимірювальною ніжкою до рухомої повзушки 2. Таким чином, переміщення повзушки 2 разом із вимірювальним диском D викликає відхилення стрілки індикатора в той чи інший бік в залежності від точності дотримання міжцентрових розмірів двох отворів.

3.2.2 Розрахунок пристрою на точність

Контролювання міжцентрових відстаней цим пристроєм полягає у визначенні величини відхилення міжцентрової відстані від його номінального розміру і порівняння цього відхилення з допуском на цю відстань в відповідності до робочого кресленника деталі.

Для проведення контролювання міжцентрових відстаней на пристрої встановлюють змінні диски D і D_1 , номінальні діаметри яких рівні діаметрам отворів між осями яких вимірюється розмір (див. таблицю на кресленику).

Для зменшення похибки вимірювання, пов'язаної з відхиленням площини, що утримує осі вимірювальних дисків D і D_1 від площини, що утримує осі вимірювальних отворів, номінальні діаметри дисків D і D_1 , виконані менше розмірів отворів між якими виконується вимірювання на $0,1 \dots 0,15$ мм.

Так, для отвору $\varnothing 80H8$, діаметр вимірювального диска повинен мати розмір $\varnothing 59,85 - \varnothing 59,90$ мм. Разом із тим, похибка форми і розташування поверхонь вимірювальних дисків D і D_1 повинні відповідати відповідно $0,002$ – відхилення від циліндричності і $0,01$ – відхилення від перпендикулярності.

Налагоджування пристрою на розмір, що контролюється, виконується за допомогою плоско паралельних кінцевих мір для будь-якої міжцентрової відстані. Довжину набору кінцевих мір l_k визначаємо за формулою:

$$l_k = l_{ном} - \frac{D + D_1}{2},$$

де D і D_1 – дійсні розміри вимірювальних дисків, виготовлених з точністю до $0,002$ мм (визначаються з маркування на кожному диску);

$l_{ном}$ - номінальний розмір міжцентрової відстані між двома отворами (визначений креслеником деталі).

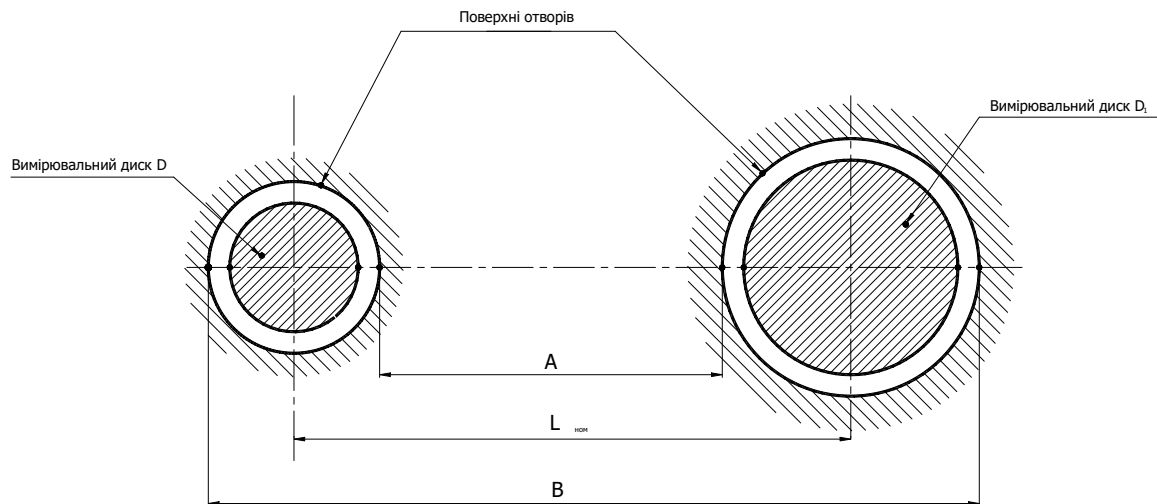


Рисунок 3.4 - Схема вимірювання дійсного розміру міжцентрової відстані між двома отворами

Обчисливши значення l_k з точністю до 0,001 мм, набираємо із кінцевих мір його величину, з'єднавши їх струбциною. Встановлюємо набрану кількість кінцевих мір l_k між вимірвальними дисками D і D_1 (рис. 3.4) так, щоб палець 7 з диском D знаходився приблизно посередині малого пазу в рейці 6. Таке його положення забезпечує вільне переміщення диску при виконанні вимірювання, його плавність ходу, а також необхідний мінімальний натяг по шкалі індикатора. Диск D_1 закріплюється фіксатором 12 наглухо. При встановленому наборі кінцевих мір індикатор годинникового типу виставляється на „нуль” шляхом прокручення його шкали. Натяг на міліметровій шкалі індикатора встановлюють в інтервалі 1...2 мм (стрілка малої шкали знаходиться напроти цифри 1 або 2).

Настроєний розмір встановлюється на деталь, що контролюється. Змінні диски D і D_1 підтискаємо до контакту з поверхнями отвору послідовно по розміру „А”, а потім по розміру „В” (рис. 3.5).

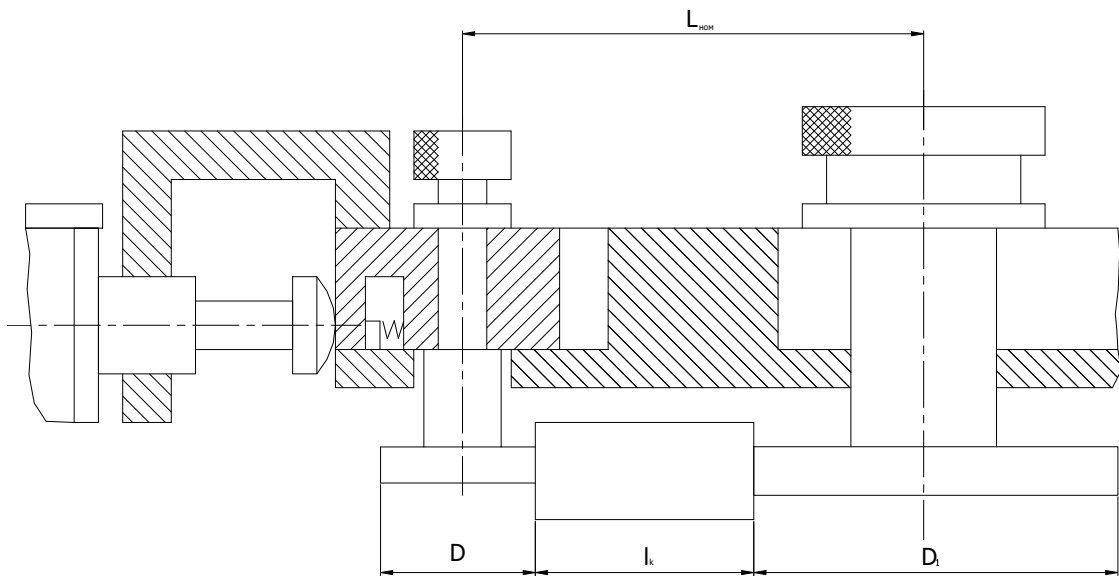


Рисунок 3.5 - Схема налагоджування вимірювального пристрою на розмір

Проводячи вимірювання по розміру „В” вимірювальні диски D і D_1 доторкаються до поверхні деталі в точках 1 і 4, що призводить до збільшення $l_{ном}$ на суму зазорів 1-1' і 4-4' і нове значення $l_{ном}$ становить:

$$l'_{ном} = l_{ном} + [(1-1') + (4-4')].$$

При вимірюванні по розміру „А” вимірювальні диски, відповідно, доторкаються до поверхні деталі в точках 2 і 3, що приведе до зменшення $l_{ном}$ на величину двох зазорів 2-2' і 3-3'.

$$l''_{ном} = l_{ном} - [(2-2') + (3-3')]$$

Дійсне значення фактичної міжцентрової відстані між двома отворами визначається із формули:

$$\begin{aligned}
 l'_{\text{ном}} &= \frac{l'_{\text{ном}} + l''_{\text{ном}}}{2} = \frac{l_{\text{ном}} + [(1-1') + (4-4')] + l_{\text{ном}} - [(2-2') + (3-3')]}{2} = \\
 &= \frac{2l_{\text{ном}} + [(1-1') + (4-4')] - [(2-2') + (3-3')]}{2} = \\
 &= l_{\text{ном}} + \frac{[(1-1') + (4-4')] - [(2-2') + (3-3')]}{2};
 \end{aligned}$$

де $[(1-1') + (4-4')]$ відповідає відхиленню δ_1 по розміру „В” від $l_{\text{ном}}$;

$[(2-2') + (3-3')]$ відповідає відхиленню δ_2 по розміру „А” від $l_{\text{ном}}$.

Тоді:

$$l'_{\text{ном}} = l_{\text{ном}} + \frac{\delta_1 - \delta_2}{2}.$$

Величина $\frac{(\delta_1 - \delta_2)}{2} = \Delta$ - є фактичне відхилення від номінального значення $l_{\text{ном}}$.

Порівнюючи величину Δ зі значенням допусків на міжцентрові відстані двох отворів, роблять висновок про його відповідність вимогам кресленика. Таким чином можна сформулювати правило: піврізниця між максимальним і мінімальним відхиленням стрілки індикатора від номінального розміру є фактичним відхиленням міжцентрових відстаней від $l_{\text{ном}}$.

Згідно класифікатора видів розташування осей отворів запропонована схема вимірювання відноситься до V виду розташування. Визначаємо допуск на розташування отвору.

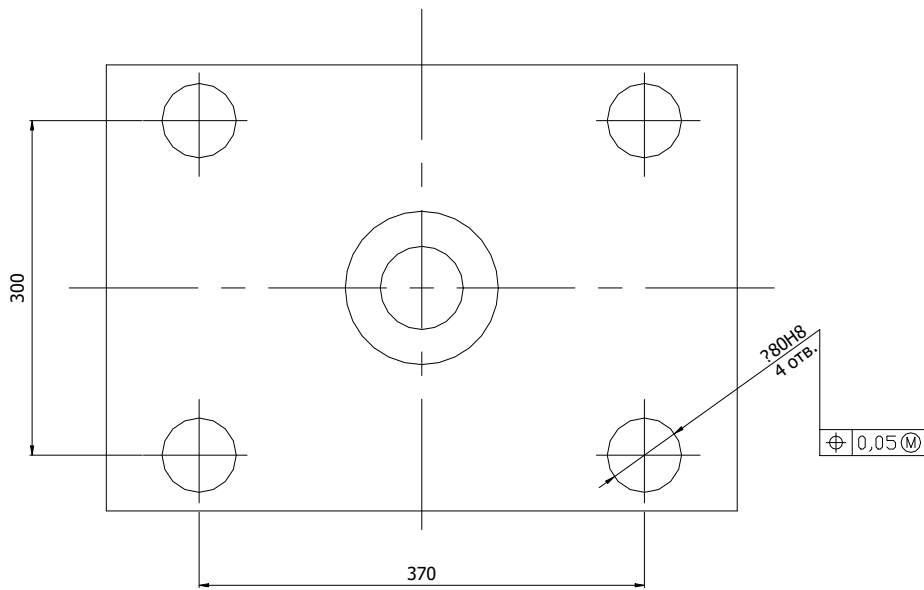


Рисунок 3.6 - Схема визначення допуску

Для міжцентрових відстаней 300 і 370 мм фактичне відхилення осей отворів від номінального стану не повинно перевищувати $\pm 0,035$ мм.

Допустима похибка при вимірюванні лінійних розмірів $370 \pm 0,035$ мм і $300 \pm 0,035$ мм складає ± 10 мкм.

Ця вимога дозволяє нам вибрати за вимірювальний пристрій індикатор годинникового типу ИЧ 0...10 з ціною поділки на шкалі 0,01 мм.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ

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

Метою дослідницького розділу є перевірка існуючої конструкції деталі плита PL-25-001 за допомогою CAD – системи із вбудованим CAE модулем.

SolidWorks Simulation – це CAE модуль, який засновано на методі кінцевих елементів та використовується для проведення аналізу міцності навантажених корпусних деталей.

Модель деталі «Плита PL-25-001» створено в САПР SolidWorks.

Розрахунок на статичну міцність корпусної деталі є одним із найважливіших етапів проектування раціональної конструкції деталі із врахуванням конкретних умов та режимів її експлуатації, а також використаного матеріалу. Аналітичний розрахунок визначення напружено-деформованого стану конструкції корпусних деталей малоефективний, оскільки пов'язаний із складними, трудомісткими аналітичними розрахунками, обмежених емпіричними залежностями та примітивною геометрією та спрощеними схемами навантажень.

Необхідність та доцільність CAE аналізу такої деталі, як плита, яка є базовою деталлю при складанні виробу, очевидна, оскільки реалізує чисельні методи вирішення задачі механіки деформованого твердого тіла (метод кінцевих елементів) та не обмежується ні геометричною формою конструкції, ні характером навантаження.

Матеріал деталі – ливарна сталь 35Л. До поверхні моделі прикладається навантаження 1600 Н (рис. 4.1). Навантаження реальне, бралось із технічних умов на деталь.

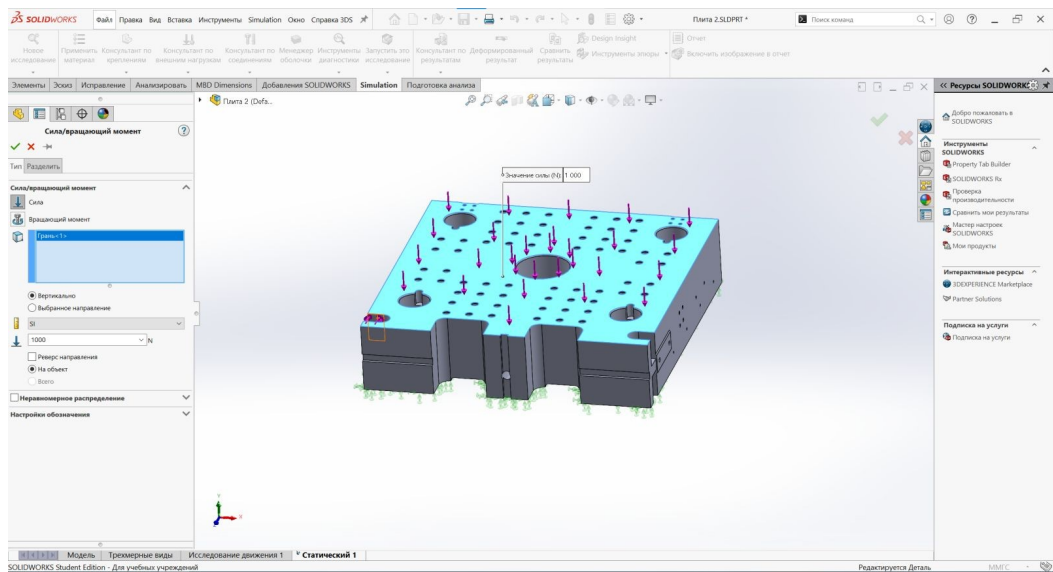


Рисунок 4.1 - Умови навантаження

Наступним етапом САЕ аналізу є створення графічних відображень сітки кінцевих елементів (рис. 4.2).

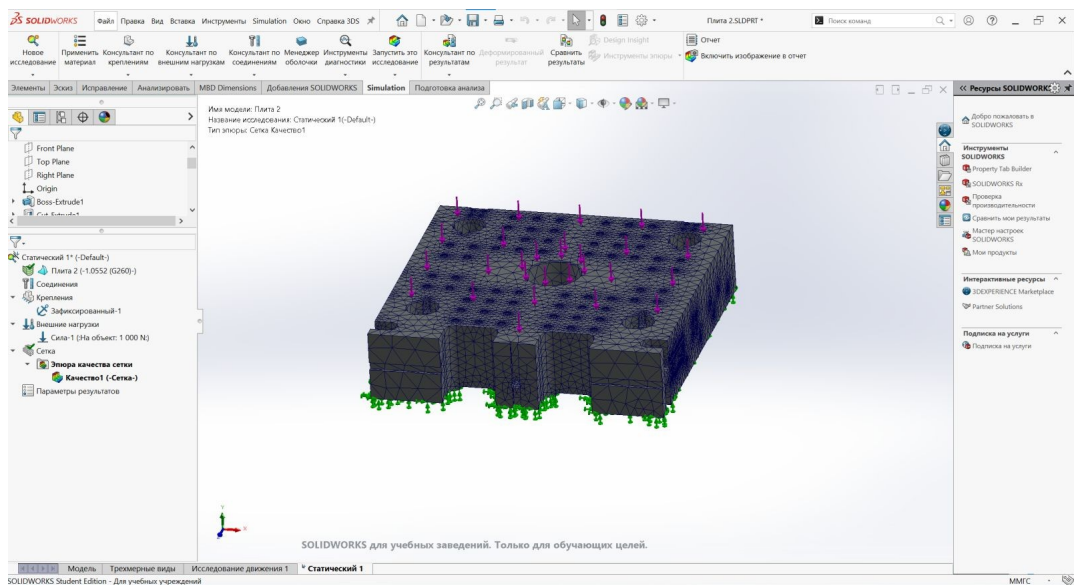


Рисунок 4.2 - Генерування сітки кінцевих елементів

Наступним етапом переходимо до статичного аналізу та в розділі «результати» маємо епюру деформацій (рис. 4.3) та епюру запасу міцності (рис. 4.4.).

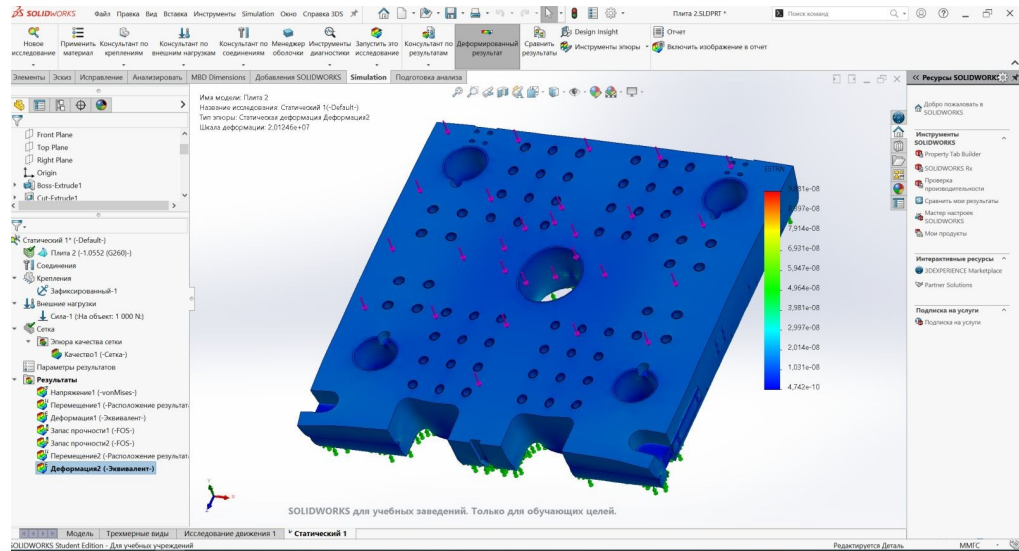


Рисунок 4.3 - Епюра деформації

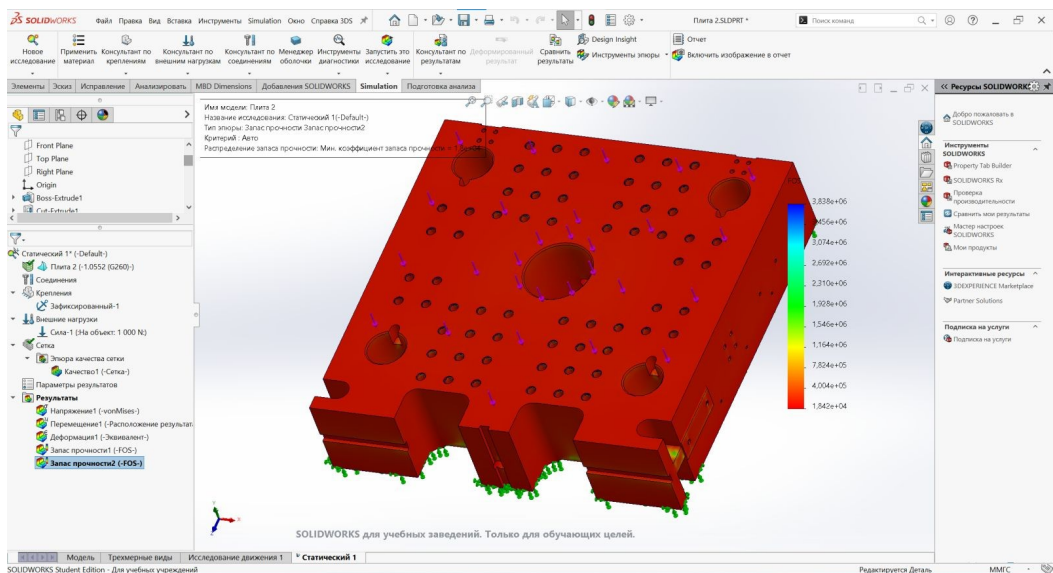


Рисунок 4.4 - Епюра запасу міцності

Базуючись на отриманих даних по перевірці конструкції деталі «плита» можна зробити висновок, що отримані дані знаходяться в межах норми, що свідчить про правильність конструкції деталі. Найбільших напружень немає ні на одному конструктивному елементі деталі «плита» (рис. 4.5), що говорить про те, що модернізації ця деталь не потребує.

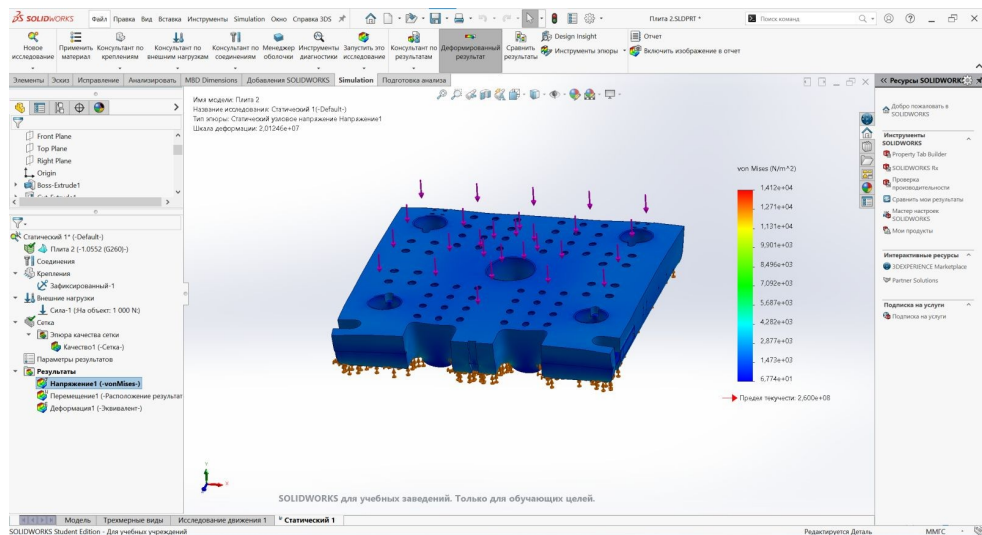


Рисунок 4.5 - Епюра розподілу напружень

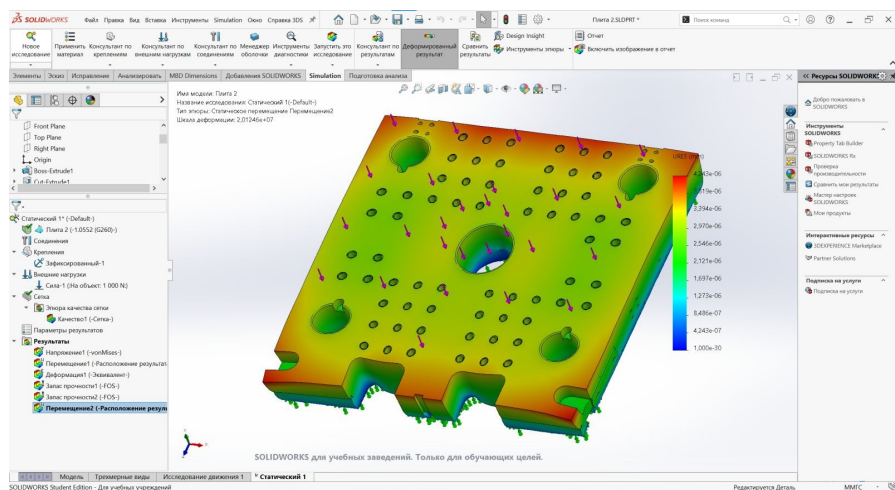


Рисунок 4.6 - Епюра переміщення матеріалу

Аналіз показав, що внаслідок навантаження деталі відбувається статичне переміщення поверхневого шару металу (рис. 4.6). Найбільш напруженим елементом деталі є краї. Але умова міцності виконується, напруження не перевищує запасу міцності. Деталь є працездатною.

Використання SOLIDWORKS SIMULATION дозволило:

- Скоротити тривалість дослідницько – конструкторських робіт завдяки аналізу робочих режимів виробу в цифровому середовищі;
- За необхідності, скоротити витрати матеріалу за рахунок виявлення та оптимізації конструктивних елементів, застосування яких надмірне;
- Дослідити одночасно декілька варіантів виробів в межах одного розрахунку.

Висновок: результати, отримані в процесі аналізу напружено деформованого стану свідчать про те, що деталь спроектовано правильно.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз причин виникнення травматизму в ливарних цехах

Аналіз травматизму встановлює закономірності появи нещасних випадків. Їх появі завжди передують відхилення від нормального протікання технологічного процесу, що, нажаль, доволі часто спостерігається саме в ливарних цехах в зв'язку із наявністю небезпек, високою трудомісткістю операцій тощо. Безпечність праці визначають дві групи факторів: виробничо-технічні (організаційні, технічні, фактори виробничого середовища) та психофізіологічні (людські). Тому при проведенні аналізу виробничого травматизму необхідно враховувати весь комплекс факторів, що визначають умови праці на виробництві.

Вивчення актів та первинних матеріалів розслідування нещасних випадків з використанням статистичного аналізу дозволило визначити динаміку та виявити закономірності збільшення чи зменшення показників виробничого травматизму.

Аналіз травматизму проводився проводили в чавуноливарних та сталеливарних цехах з різним типом виробництва (масовим, серійним та дрібносерійним). Було визначено коефіцієнти частоти та складності, виявлено розподіл нещасних випадків по дільницях цехів, професіям, віку та стажу роботи в ливарних цехах потерпілих (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Розподіл показників травматизму в ливарних цехах

Вид ливарного цеху	Показник травматизму	
	Коефіцієнт частоти	Коефіцієнт складності
Чавуноливарний	4,7	18,3
Сталеливарний	7,8	22,1
Середнє значення	6,25	20,2

Дослідження показників виробничого травматизму в ливарних цехах з різним характером виробництва показав, що середні значення коефіцієнтів частоти та складності травматизму мають найбільші значення в цехах, що працюють в умовах масового виробництва.

Це пояснюється більш високим рівнем механізації та автоматизації та несприятливими умовами праці, оскільки вплив факторів виробничого середовища протягом усієї робочої зміни призводить до появи втоми, зниженню робото здатності, послабленню уваги, уповільненню реакції, що, тим самим, сприяє виникненню травмонебезпечних ситуацій.

Розглядався період п'ять років, за який спостерігалось зниження коефіцієнту частоти виникнення травматизму в ливарних цехах незалежно від типу виробництва, що свідчить про ефективність запроваджених заходів на підприємстві. Коефіцієнт складності травматизму незначно зростає за вказаний період часу, оскільки з підвищенням рівня автоматизації та механізації виробництва ускладнюються і наслідки травмонебезпечних ситуацій.

Шкідливі виробничі фактори з'являються здебільшого на плавильних, заливних, очисних та формувальних дільницях (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Розподіл нещасних випадків по дільницях ливарних цехів

Дільниця ливарного цеху	Кількість травм за рік в ливарних цехах (% до загальної кількості нещасних випадків)		
	чавуноливарні	сталеливарні	загальна
Приготування суміші	1,1	1,8	2,9
Стрижневий	0,4	0,7	1,1
Формувальний	7,6	10,3	17,9
Шихтовий	2,3	3,8	6,1
Плавильно-заливальний	7,8	11,6	19,4
Очисний	11,5	18,1	29,6
Служби	8,7	14,3	23,0

Слід відмітити очисну ділянку ливарного цеху з масовим типом виробництва, на якій зафіксовано значну кількість травм незалежно від рівня механізації та автоматизації. В той же час на цій ділянці є значна кількість робіт, що виконується вручну (підвішування та знімання виливок з підвісних конвеєрів, відрубання облою, зачищення ручним інструментом, завантаження в тару тощо). Крім того, м'язова працездатність людини після четвертої години роботи знижується приблизно на 25%.

Високий рівень показників травматизму відмічено в цехах за малосерійного типу виробництва, де присутня висока доля ручної праці, пов'язаної з підготовкою форм, набором, транспортуванням та заливанням рідкого металу, вибиванням виливок із форм. Усі ці фізично важкі роботи виконуються в умовах високих теплових потоків та температур, підвищеного шуму та високої загазованості повітря.

На плавильно-заливальних ділянках ливарних цехів за малосерійного типу виробництва також відмічено більш високий рівень травм в порівнянні з цехами, що працюють в умовах масового виробництва. Це пояснюється тим, що не дивлячись на більш сприятливі умови праці, заливання форм відбувається на плацу, де важко передбачити всі заходи попередження небезпеки.

В службах механіка, енергетика, та інших відсоток виникнення травматизму спостерігається близько 18% від усіх випадків. Така кількість виникнення травматизму відноситься до ливарних цехів, які працюють в умовах масового та серійного типу виробництва, де рівень автоматизації та механізації становить 60-80%.

Обслуговування обладнання ремонтниками здійснюється в несприятливих умовах (підвищений шум, запиленість, загазованість, високі температури, недостатнє освітлення, незручні пози при здійсненні робіт), що призводить до появи втоми, зниженню уваги і, як наслідок, до виникнення нещасних випадків.

Найбільша кількість отримання травм в ливарних цехах за усіх типів виробництва приходиться на професії формувальника, плавильника, заливальника та слюсаря - ремонтника (табл. 5.3). Звертає на себе увагу значний травматизм

залівальників, що працюють в умовах малосерійного виробництва, де форми заливають на плацу, що має негативний висновок про травматизм в порівнянні із заліванням на конвеєрах.

Таблиця 5.3 – Розподіл нещасних випадків по професіях

Професія	Кількість травм за рік в ливарних цехах (% до загальної кількості нещасних випадків)		
	чавуноливарні	сталеливарні	загальна
Стрижневик	0,3	0,6	0,9
Формувальник	5,1	7,3	12,4
Шихтувальник	0,4	1,6	2,0
Пресувальник	-	0,7	0,7
Вогнетривщик	1,2	1,9	3,1
Плавильник	3,7	4,1	7,8
Залівальник	2,6	4,9	7,5
Вибивальник	1,2	0,9	2,1
Обрубування виливок	5,8	16,4	22,2
Очисник виливок	3,9	2,1	6,0
Транспортувальник	1,0	2,3	3,3
Слюсар – ремонтник	4,4	6,2	10,6
Прибиральник	1,5	4,3	5,8
Електромонтер	1,8	2,5	4,3
Терміст	-	2,8	2,8
Машиніст крана	0,7	0,8	1,5
Електрогазозварювальник	1,1	2,0	3,1
Майстер дільниці	0,4	1,2	1,6

Співвідношення кількості нещасних випадків по професіях кожного року змінюється, але сумарно знаходиться на одному рівні. А на професії людей, які займаються обрубванням, формуванням та ремонтуванням кількість травм завжди близька до вказаних значень. Значна кількість травм приходить на ливарників, які займаються обробленням виливок, значних за вагою та складністю конструкції. Причини такого становища полягають в недосконалому технології формувальних робіт: використання формувальної суміші недостатньої міцності, що призводить до ливарних дефектів на поверхні виливок, хаотично розташованих, що виключає можливість застосування дистанційних засобів очищення та вимагає значної кількості робіт по обрубанню виливок.

Високий відсоток травмування формувальників пов'язаний зі значним об'ємом ручних операцій (встановлення опок та модельних плит на машини та зняття їх, збирання верхніх та нижніх напівформ, вкладення опок в штабелі та інші операції, які пов'язані з переміщенням різноманітних вантажів).

Достатньо високий рівень травматизму серед слюсарів-ремонтників (близько 17%) свідчить про конструктивні недоліки обладнання та виникнення, як наслідок, відмов обладнання, аварій, поломок.

Розподіл нещасних випадків по стажу роботи потерпілих (табл. 5.4) показав, що в ливарних цехах основна кількість травм припадає на робітників зі стажем роботи до 3-х років. Високий рівень травмування робітників зі стажем до 1 року (в середньому 37%) пояснюється високою текучістю кадрів. Особливо це спостерігається в ливарних цехах, які працюють за умов малосерійного виробництва, де існує самий високий відсоток робітників віком 18 – 27 років, які отримали травми. Як правило, це працівники з низькою кваліфікацією (учень, 1 – 2 розряди). В цехах, що працюють за умов масового виробництва, кількість потерпілих низької кваліфікації становить 22%, серійного – 33%, малосерійного – 54%. В таблиці 5.5 надано аналіз виникнення нещасних випадків в залежності від віку.

Таблиця 5.4 – Розподіл нещасних випадків за стажем роботи потерпілих

Стаж роботи, рік	Кількість травм за рік в ливарних цехах (% до загальної кількості нещасних випадків)		
	чавуноливарні	сталеливарні	загальна
До 1 року	8,9	28,6	37,5
1 – 3	11,6	15,2	26,8
3 – 5	4,4	6,3	10,7
5 – 10	1,8	1,8	3,6
Більше 10	8,9	12,5	21,4

Таблиця 5.5 – Розподіл нещасних випадків по віку потерпілих

Вік потерпілих, рік	Кількість травм за рік в ливарних цехах (% до загальної кількості нещасних випадків)		
	чавуноливарні	сталеливарні	загальна
18 – 20	5,4	8,0	13,4
21 – 30	1,8	19,6	21,4
31 – 40	8,9	9,8	18,7
41 – 50	9,8	17,8	27,6
Більше 50	8,1	10,8	18,9

Високий рівень травматизму приходить на першу декаду місяця, що обумовлено відсутністю чіткого ритму робіт, недостатньою завантаженістю, що притупляє увагу робітників. Більша кількість (в порівнянні із середньою) нещасних випадків і в кінці місяця, а також в кінці року. Така тенденція є наслідком підвищеною напруженістю праці, що призводить до хронічного накопичення втоми і, як наслідок, до послаблення уваги, застосуванню неправильних та небезпечних прийомів праці.

Дані про час події нещасних випадків вказують на збільшення кількості травм в спекотну пору року (за червень-серпень відбувається близько 34% усіх травм), оскільки температура повітря на багатьох ділянках значно перевищує комфортну, недостатньо інтенсивно здійснюється повітрообмін виробничих приміщень. Також слід враховувати морально-психологічний настрій робітників в літній період року.

Вивчення причин виникнення травматизму в ливарних цехах показав, що близько 75% випадків припадає на організаційні причини (рис. 5.1).

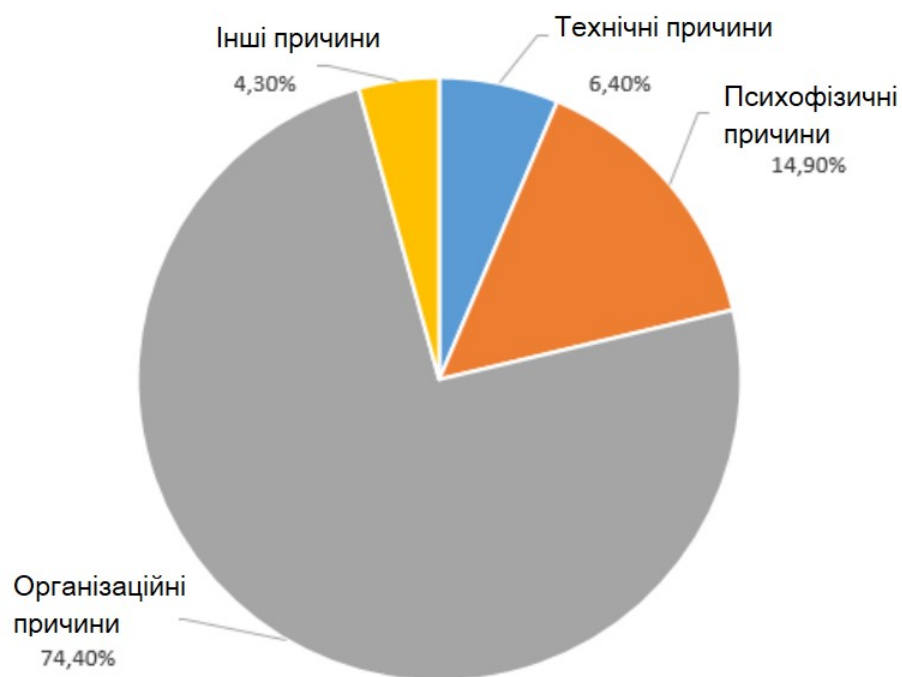


Рисунок 5.1 – Кругова діаграма розподілу кількості постраждалих по основним причинам

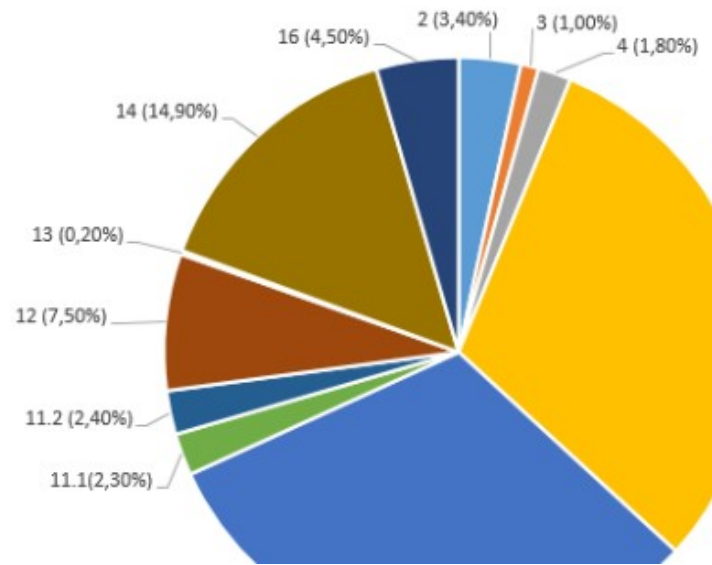


Рисунок 5.2 – Кругова діаграма розподілу кількості постраждалих по причинам за стандартною класифікацією:

2 – Конструктивні недоліки, недостатня надійність обладнання

3 – Недосконалість технологічного процесу

4 – Експлуатація несправного обладнання

6 – Порушення технологічного процесу

9 – Незадовільна організація роботи

11.1 – Не проведення інструктажу з охорони праці

11.2 – Не проведення навчання та перевірки знань з охорони праці

12 – Не застосування працівником засобів індивідуального захисту

13 – Не застосування засобів колективного захисту

14 – Порушення робітником трудового розпорядку та дисципліни

16 – Інші причини

Санітарно-гігієнічні фактори при розслідуванні нещасних випадків враховуються недостатньо, чи зовсім не враховуються. Звичайно, незадовільні метеорологічні умови, шум, вібрація, недостатнє освітлення, запиленість, загазованість повітряного середовища, не можуть бути безпосередньою причиною

виникнення травми. Однак ці фактори незадовільно впливають на організм робітників, призводять до виникненню втоми, уповільненню захисних реакцій, порушенню координації рухів, що, тим самим, сприяє виникненню неправильних дій та утворенню нещасних випадків.

Вивчення травмуючи факторів в ливарних цехах з різним типом виробництва показало, що немає суттєвої різниці в їх розподіленні. Більш високий відсоток припадає на пристрої, інструменти, транспорт та вантажопідйомне обладнання.

Слід відмітити, що в зв'язку із більшою кількістю вантажних операцій та об'ємних вантажних потоків більшість травм відбувається саме на транспортному обладнанні внаслідок відсутності огороження приводів чи механізмів, що обертаються, перехідних містків тощо.

Таким чином, забезпечення безпеки праці в ливарних цехах необхідно здійснювати комплексно, із врахуванням усіх виробничих факторів, що створюють умови праці. Поряд з технологічними заходами, такими як вдосконалення машин та механізмів, чітке дотримання технологічної послідовності виробничого процесу, підвищення рівня автоматизації та механізації при виконанні складних та небезпечних робіт, а також значного покращення умов праці робітників на формувальних, плавильних, заливальних та очисних ділянках, особливу увагу необхідно приділяти організаційним заходам та підвищити рівень технічної дисципліни, посилити роботу по навчанню персоналу охороні праці: виключити формальне проведення інструктажів, організувати навчання робітників та пропагувати безпечні прийоми роботи.

Висновки

В кваліфікаційній роботі магістра надано сучасний технологічний процес виготовлення деталі «Плита PL-25-001» із застосуванням верстатів з ЧПК.

В розробленому технологічному процесі використовується як універсальне обладнання, так і сучасне обладнання з ЧПК фірми HAAS. Деталь «плита» виготовлена зі сталі 35Л, ДСТУ 8781:2018. В роботі проведено аналіз матеріалу заготовки та запропоновано оптимальні режими термічного оброблення заданого матеріалу.

В конструкторському розділі спроектовано поворотний верстатний пристрій для закріплення деталі при фрезеруванні основи та бобишок на боковій поверхні плити на поздовжньо - фрезерному верстаті 6М610Ф11 та контрольний пристрій для контролювання міжцентрових відстаней отворів $\varnothing 80H8$ і центрального отвору $\varnothing 200H8$ деталі.

В дослідницькому розділі проведено дослідження напружено-деформованого стану поверхні деталі, в результаті досліджень надані практичні рекомендації.

Проведено аналіз заходів, необхідних для безпечних умов праці в ливарних цехах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 8781:2018 Виливки зі сталі. Загальні технічні умови. Київ (ДП «УкрНДНЦ») 2018.
2. ДСТУ EN ISO 13849-1:2018 «Безпека машин. Деталі систем управління, пов'язані з забезпеченням безпеки. Частина 1. Загальні принципи проектування» (EN ISO 13849-1:2015, IDT; ISO 13849-1:2015, IDT).
3. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
4. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур та ін. – Львів : Новий Світ, 2022. – 422 с.
5. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи за освітньо-професійною програмою – 131 Технології машинобудування; / Укладачі: А. І. Гордєєв, В. П. Ткачук, В. В. Милько, О. В. Романішина – Хмельницький: ХНУ, 2023. – 39 с.
6. Гордєєв А. І. Урбанюк Є.А., Сілін Р.С. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ 2013. 159 с., іл.
7. МАШІНТЕХ. [Електронний ресурс]. – Режим до ступу до каталогу: <https://www.met.ua/p/vertikalni-obrobni-tsentr-avia-seriya-x-5/>.
8. Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158с. Доступ:
https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36433/1/IOAV_verstaty_ChPK.pdf

9. Sandvik.Coromant. Каталог [Електронний ресурс]. – Режим доступу до каталогу: <http://www.sandvik.coromant.com>
10. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Посібник для практичного програмування верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 115с.
11. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці в галузі освіти. Суми: Університетська книга, 2001. 345 с.
12. SANDVIK COROMAT [Електронний ресурс] // www.sandvik.coromant.com. 2021. Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ruru/products/pages/technologies.aspx#inveio>.
13. <http://ecat.secotools.com/>
14. Євтухов, В. Г. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В.Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
15. Кушніров, П. В. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Технологічна оснастка» / Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.