

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут

Кафедра технології машинобудування

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Олександр Охріменко

«_____» _____ 2022 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

**на тему: Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі
«Важіль відкривний»**

Виконав:

студент 4 курсу, групи МТ-82

Анікеєнко Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник:

Професор, д. т. н., Воронцов Борис Сергійович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)

(підпис)

Рецензент:

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ПІБ)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2022 рік

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДП.МТ8201.00.000.ПЗ	Пояснювальна записка	83	
3	A1	ДП.МТ8201.01.000.ТК	Кресленик деталі	1	
4	A1	ДП.МТ8201.02.000.ТК	Кресленик заготовки	1	
5	A1	ДП.МТ8201.03.000.ТК	Схема технологічних переходів операції 005	1	
6	A1	ДП.МТ8201.04.000.ТК	Схема технологічних переходів операції 025	1	
7	A1	ДП.МТ8201.05.000.ТК	Схема технологічних переходів операції 030	2	
8	A1	ДП.МТ8201.06.000.ТК	Верстатний пристрій	1	
9	A1	ДП.МТ8201.07.000.ТК	Керуюча програма ЧПК для операції 030	1	
10	A1	ДП.МТ8201.08.000.ТК	Гібридне аддитивно-субтрактивне виробництво металевих деталей	1	
11	A4	ДП.МТ8201.09.000.Д	Додаток 1. Маршрутні та операційні карти	20	
12	A4	ДП.МТ8201.10.000.Д	Додаток 2. Керуючі програми для операцій	12	

				ДП.МТ8201.00.000.ПЗ		
	ПІБ	Підпис	Дата			
Розробник	Анікеєнко О. О.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівник	Воронцов Б. С.				1	1
Н/контр.					НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, НН	
Зав. каф.					ММІ, група МТ-82	

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту на тему:
Конструкторсько-технологічне забезпечення деталі
«Важіль відкривний»

Київ – 2022 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут

Кафедра технології машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр ОХРИМЕНКО

«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Анікеєнку Олександрю Олександровичу

1. Тема проєкту «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Важіль відкривний»»

Керівник проєкту: проф. Воронцов Борис Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання)

затверджені наказом по університету від «_____» травня 2022 р. №_____

2. Термін подання студентом проєкту «15» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Кресленник деталі «Важіль відкривний», матеріал деталі, обсяг випуску $N_p = 5000$ штук на рік, технологію реалізувати на багатоцільових верстах HAAS.

4. Зміст пояснювальної записки: аналітична складова, пошукова складова, спеціальна складова, технологічна складова, конструкторська складова, дослідницька складова.

5. Перелік графічного матеріалу: 1-3 аркуші формату A1 для пояснення загальних питань машинобудування; 1-2 аркуші формату A1, які міститимуть схеми механізму, епюри напружень, креслення деталі тощо, 2-

3 аркуші формату А1 з зображенням технологічних переходів та візуалізація оброблення в САМ системі; 2-3 аркуші формату А1 з зображенням верстатних пристроїв, розрахункові схеми тощо.

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Розроблення записки з загальних питань машинобудування	01.02-10.04	
2	Розроблення 3Д моделі деталі та креслення	12.04-14.05	
3	Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Кришка гідроциліндра»	26.04-21.05	
4	Розроблення конструкції верстатних пристроїв для оброблення деталі на верстатах з ЧПК.	10.05-31.05	
5	Оформлення пояснювальної записки до диплому	17.05-06.06	
6	Оформлення плакатів з загальних питань машинобудування	12.04-06.06	
7	Оформлення кресленника деталі та заготовки	10.05-17.05	
8	Оформлення плакатів технологічних переходів та візуалізації Оброблення в САМ системі	17.05-28.05	
9	Оформлення плакатів з зображенням верстатних пристроїв	31.05-06.06	

Студент

Олександр АНІКЕЄНКО

Керівник

Борис ВОРОНЦОВ

Анотація

Пояснювальна записка до дипломного проєкту наукового ступеня бакалавра на тему «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі “Важіль відкривний”» складається з 82 аркушів формату А4, містить в собі 38 ілюстрацій, 32 таблиці, 2 додатки (маршрутні та технологічні карти з ескізами, керуючі програми ЧПК). При написанні дипломного проєкту було використано 26 літературних джерел, такі як технічна література, методичні вказівки до розрахунків, державні стандарти в галузі, наукові статті та публікації.

Графічна частина складається з 8 аркушів формату А1. На аркушах міститься кресленик деталі, кресленик заготовки, ескізи технологічних операцій 005, 025 та 030, кресленик верстатних пристроїв, кресленик з прикладом коду для ЧПК оброблення технологічної операції 030, ілюстрації до науково-дослідницької частини.

В дипломному проєкті:

- Дослідження впливу термічних факторів на процес різання металів.
- Розглянуто конструктивне призначення важеля відкривного.
- Розроблено 3D модель деталі та заготовки.
- Оформлено технічної документації креслеників деталі та заготовки.
- Наведено характеристики та властивості матеріалу.
- Розглянуто деталь на технологічність.
- Наведено схеми базування для обробки.
- Розроблено маршрутні, операційні карти з ескізами.
- Визначено припуски на обробку двома методами.
- Визначено аналітичним та розрахунковими методами режими різання для операційних переходів.
- Наведено нормування всіх операцій та допоміжного часу.
- Розраховано сили затиску в лещатах.
- Розраховано похибку базування в лещатах.
- Розраховано собівартість виготовлення деталі.

Ключові слова: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОГЛЯД ГІБРИДНОГО АДДИТИВНО-СУБТРАКТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО МЕТАЛЕВИХ ДЕТАЛЕЙ. РІВНЯННЯ ТА ПАРАМЕТРИ ДЖОНСОНА КУКА. МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.

Бібліографічний опис:

Анікеєнко О. О. Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення деталі «Важіль відкривний»: дипломний проєкт за напрямом 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології машинобудування» / Анікеєнко Олександр Олександрович. – Київ, 2022. – 83 с.

Зміст

Вступ	10
1. Гібридне аддитивно-субтрактивне виробництво металевих деталей	11
1.2.Метод наплавлення дротом.....	12
1.3.Висновки.....	14
1.4. Моделювання механічної обробки.....	14
1.4.1. Метод та матеріал.	14
1.4.2 Процес адитивного виробництва	17
1.4.3. Процес механічної обробки	18
1.4.4. Моделювання	20
1.4.5. Результати та обговорення.....	22
1.4.6. Підсумки та висновки	30
2. Технологічний розділ.....	31
2.1. Аналіз службового призначення та умов роботи деталі в вузлі	31
2.1.1.Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація.	32
2.1.2. Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі.	33
2.1.3. Аналіз вибору конструкційного матеріалу.....	33
2.2. Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовлення виробництва.....	34
2.3. Короткий аналіз технологічності конструкції деталі	35
2.4. Визначення виду та способу виготовлення заготовки.....	35
2.5. Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі	36
2.5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз.....	36
2.5.2. Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій.	38
2.6. Проектування першої технологічної операції.....	39
2.7. Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі "Важіль відкривний"	41
2.8. Вибір верстатів для оброблення деталі.....	51
2.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки. ...	52
2.9.1. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом (для оброблення двох відмінних поверхонь заготовки)[19,23].....	52
2.9.2. Визначення припусків аналоговими методами.....	57
2.10. Визначення режимів різання.	58
2.10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом.....	58
2.10.2. Визначення режимів різання аналоговими методами.	63
2.11. Керуюча програма ЧПК для операції 030.	66
2.12. Нормування технологічних операцій.....	72

2.12.1. Розрахунок поштучного часу для операції 005.....	72
2.12.2. Нормування технологічних операцій аналоговим методом	74
3. Проектування верстатних пристроїв.....	74
3.1. Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв.	74
3.1.2. Послідовність розроблення конструкції пристрою.	75
3.2. Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв.....	75
3.2.1. Розрахунок похибок базування.....	75
3.3. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв.....	75
3.3.1. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки	75
3.3.2. Розрахунок силових механізмів пристроїв.....	77
4. Економічний розділ	77
4.1. Заготівельні роботи.....	77
4.2. Різальний інструмент та верстатний пристрій.....	77
4.3. Відходи виробництва	78
4.4. Оплата праці персоналу.....	78
4.5. Амортизація та інші розходи.....	79
4.6. Підсумок.....	79
Список використаних джерел.....	81

Вступ

У дипломному проекті розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Важіль відкривний» .

Під час виконання курсового проекту виконуються такі завдання:

- самостійна розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Важіль відкривний» при заданому обсягу випуску;
- вибір методу виготовлення заготовок та їх технічне обґрунтування;
- призначення послідовності виконання операцій;
- вибір устаткування та інструмента для досягнення потрібної якості виготовлення деталей при заданій продуктивності.

У даному проекті описані порядок та всі етапи проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Важіль відкривний».

1. Гібридне аддитивно-субтрактивне виробництво металевих деталей

Аддитивне виробництво (Additive Manufacturing) – процес який включає в собі виготовлення виробів, деталей, конструкцій, переважно складної геометрії завдяки спроектованим 3D моделям, шляхом пошарового накладання матеріалу за допомогою автоматичного комп'ютерного керування - CAD/CAM систем. Дану технологію також називають 3D друком.

В цій науковій роботі буде розглянуто види адитивного виробництва виробів з металу, так як саме цей матеріал, є один із самих основних загально використаним, промисловим конструкційним матеріалом.

На сьогоднішній день існують різні технології 3D друка металів. Їх розрізняють за:

- Матеріалу, що використовується – дроти, порошки, порошок із сполучною сумішшю;
- Спосіб нагріву – лазер, плазма, електронний промінь, електрична дуга і т.д.;
- Спосіб пошарового накладання – пряме наплавлення порошку чи дроту на попередній шар, вибіркоче розплавлення підготовленого шару порошку, інжекційне лиття.

Однак, технологія адитивного виробництва, ще досі досліджується, тому має ряд недоліків таких як:

- Складне і дороге обладнання і оснащення;
- Висока вартість витратних матеріалів;
- Груба, нерівномірна поверхня виробу;
- Необхідність додаткових операцій, для механічної обробки виробу.
- Складність керування, що потребує кваліфікованих робітників.

1.1.Метод лазерного сплавлення порошкового шару

Сам процес адитивного виробництва методом лазерного сплавлення порошкового шару полягає в наступному[3]: порошок, що є вихідним

матеріалом для спікання, транспортується до сопла подачі порошку. Транспортування відбувається за допомогою захисного газу. При виході із сопла порошок плавиться завдяки лазерному промінню, таким чином утворюється сполучення підвищеної міцності та щільності. Відповідно утворюються нові окремі доріжки, які сплавляються в шар, і в свою ж чергу шари утворюють саму 3D-деталь.

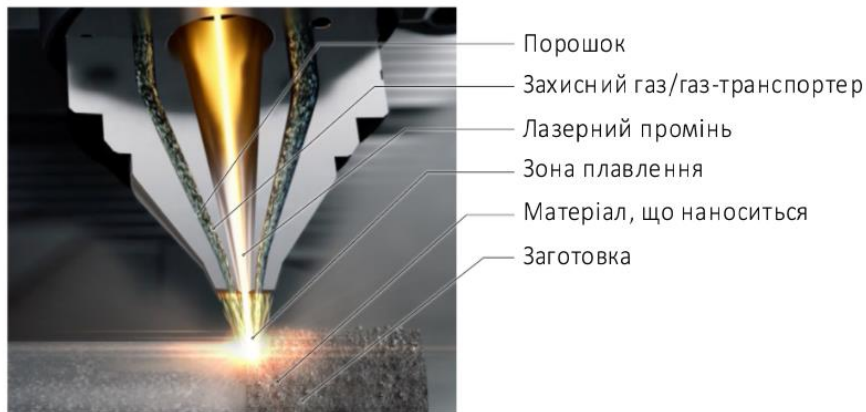


Рисунок 1.1. Процес наплавлення порошку

1.2.Метод наплавлення дротом

Даний спосіб 3D друку виробів є один із дешевших та легших серед інших методів адитивного виробництва. Його процес полягає в тому, що деталь чи продукт виготовляється шляхом осадження розплавленого дроту на основу, по заданій траєкторії. Дріт плавиться за допомогою електронного променя, і після виходу із зони нагріву, відбувається затвердіння шару металу. Газорозрядна електронно-променева гармата з кільцевим катодом, є джерелом нагріву в даному способі[1].

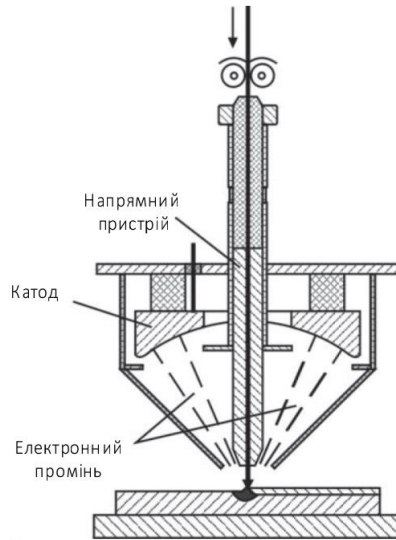


Рисунок 1.2.1. Схема пристрою технології xBeam 3D Metal Printing[1]

Одні із провідних компаній у виробництві продукції даним методом є українська компанія «Червона хвиля», яка розробила технологію xBeam 3D Metal Printing[4]. Вони запевняють, що високоякісні деталі можна отримувати за допомогою звичайного стандартного промислового металевого дроту діаметром до 3,2 мм.

Характеристика продукції після 3D друку:

- товщина стінки від 1,5 мм
- швидкість осадження до 2000 см³ на годину
- шорсткість поверхні < 1 мм

Виготовлення виробів відбувається за допомогою таких матеріалів як: титанові сплави, нержавіюча сталь, сталь, нікелеві сплави і т.д.

Виробництво титанової продукції фрезеруванням чи 3D-друком: в чому різниця?



Рисунок 1.2.2. Порівняння виробництва титанових деталей методом фрезерування та 3Д друком.[5]

1.3.Висновки

Аддитивне виробництво методом лазерного спікання порошкового шару є досить поширеним у використанні. Має суттєві переваги в пост обробці, так як виріб, після 3D друку є досить точним та близьким до кінцевого результату, тобто потребує менше механічної обробки. З іншої сторони метод наплавлення дротом є більш економічно дешевшим, вихідний матеріал, тобто дріт є дешевою альтернативою металевому порошку, тоді і кінцевий продукт також буде менш вартісним. Однак механічна обробка буде займати більше часу, так як виріб буде мати грубішу поверхню.

1.4. Моделювання механічної обробки

1.4.1. Метод та матеріал.

Описану тут[2] інверсну ідентифікацію параметрів проводили на прикладі адитивно виготовлених зразків із марагентної сталі марки 300 (коротка M300) за ASTM A646. Виробники характеризують мартенситну

інструментальну сталь для гарячої обробки як матеріал з високою твердістю і високою пластичністю. Ці властивості забезпечують високу зносостійкість матеріалу і, таким чином, дозволяють застосовувати його в механічно та термічно напружених компонентах, наприклад, інструментах для формування та прес-формах. Аддитивне виробництво є відповідним методом для створення складних внутрішніх контурів, таких як канали для охолоджувальних рідин, у таких компонентах. У таблиці 1 наведено хімічний склад матеріалу M300. У зв'язку з дедалі більшим використанням M300, отримання детальних знань як про властивості матеріалу та поведінку за різних умов є у центрі уваги поточних досліджень.

Таблиця 1.4.1. Хімічний склад сталі M300 [6]

Елемент сплаву	C	Cr	Mn	P	S	Si	Ti	Mo	Ni
Мін. вміст сплаву [%]							0.8	4.5	17
Макс. вміст сплаву [%]	0.03	0.25	0.15	0.1	0.1	0.05	1.2	5.2	19

Основне рівняння Джонсона–Кука [7], що описує криві потоку з використанням кількох параметрів у простий у використанні спосіб, є основою однієї з найбільш широко використовуваних моделей матеріалів. Рівняння (1) описує напруження течії фон Мізеса з трьома доданками з урахуванням різних впливів: деформаційне зміцнення, швидкість деформації та температура.

$$\sigma = [A + B * \varepsilon^n] * [1 + C * \ln \varepsilon^*] * [1 - T^{*m}] \quad (1)$$

де

ε – еквівалентна пластична деформація

$\varepsilon^* = \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}$ – швидкість безрозмірної пластичної деформації для $\dot{\varepsilon}_0 = 1.0 \text{ s}^{-1}$ і

$T^* = 0 \text{ K}$

$T^* = \frac{T - T_r}{T_m - T_r}$ – температурне співвідношення

$[A + B * \varepsilon^n]$ – деформаційне зміцнення для $\dot{\varepsilon}_0 = 1.0 \text{ s}^{-1}$ і $T^* = 0 \text{ K}$

$[1 + C * \ln \varepsilon^*]$ – вплив швидкості деформації на стрес

$[1 - T^{*m}]$ – вплив температури на стрес

з

$$(\dot{\varepsilon}^*)^a = 1 \leftrightarrow \alpha = 1 \quad (2)$$

$$[D - ET^{*m}] = [1 - T^{*m}] \leftrightarrow D = 1 \wedge E = 1 \quad (3)$$

$$D = 1 = D_0^{k*(T-T_b)^\beta} \Leftrightarrow k = 0 \wedge B \in \{\mathfrak{R}\} \wedge T_b \in \{\mathfrak{R}\} \wedge D_0 \in \{\mathfrak{R}/0\} \quad (4)$$

і вибираючи

$$\beta = 0 \wedge T_b = 0 \wedge D_0 = 1 \quad (5)$$

Рівняння (1) можна записати в узагальненому вигляді:

$$\sigma = [A + B * \varepsilon^n] * [1 + C * \ln \dot{\varepsilon}^*] * (\dot{\varepsilon}^*)^a * [D - ET^{*m}] \quad (6)$$

У літературі можна знайти параметри Джонсона-Кука для найбільш широко використовуваних матеріалів. Зазвичай ці значення визначають експериментально відомими методами, наприклад, на основі випробувань на розтяг і стиск, у деяких випадках проведених в теплових і механічних умовах процесів механічної обробки. На жаль, важко знайти моделі матеріалів, які особливо описують поведінку залежно від орієнтації нарощування деталей, виготовлених аддитивно. У таблиці 1.4.2 наведено параметри Джонсона-Кука вищезгаданої марагенжуючої сталі М300, використаної як матеріал у цій роботі. Дані були знайдені в літературі та розроблені на основі кривих напруження-деформація для старої марагенжуючої сталі.

Таблиця 1.4.2. Параметри Джонсона–Кука для мараджування сталі М300.

A	B	n	C	M
758.0 МПа	172.147 МПа	0.2258	0.0522	0.7799

1.4.2 Процес адитивного виробництва

Процес LPBF був використаний в рамках описаної науково-дослідної роботи для створення зразків матеріалу. Його можна використовувати для обробки різноманітних металевих матеріалів, таких як алюмінієві сплави, сталь, титанові сплави та суперсплави на основі Ni. Теоретично всі зварювані металеві матеріали можна використовувати за допомогою процесу LPBF [8]. Використані тут зразки матеріалу були виготовлені на системі RenAM 500Q LPBF від Renishaw plc., Wotton-under Edge, Великобританія. Він оснащений чотирма виходами лазерного променя, кожен з оптичною потужністю 500 Вт, які можна синхронно використовувати за допомогою 2-дзеркальних гальванометрів. Система має будівельну камеру з об'ємом $250 \times 250 \times 350$ мм з використанням закритої вакуумної системи для початкової інертації та рециркуляції захисного газу (Renishaw plc., Wotton-under-Edge, Великобританія). Зразки виготовляли з інертним газом азоту зі швидкістю 190 м³/год. Основну плиту нагріли до 60 °С, щоб зменшити тепловий вплив на опорні конструкції шляхом поступового нагрівання будівельної плити під час нарощування. Висота шару була встановлена на 50 мкм. Кількість кордонів було встановлено до двох. Відстань штрихування була встановлена на 75 мкм. Шаблон штрихування був встановлений на «смути» довжиною 10 мм. Потужність лазера була встановлена на 150 Вт для кожного виходу для меж і на 200 Вт для штрихування. Діаметр плями машини становив 80 мкм. Таким чином з порошку M300 виготовляли зразки у формі плоских кубоїдів довжиною 170 мм, товщиною 5 мм і висотою 25 мм. Орієнтуючи зразки на будівельній платформі, напрямок побудови зразків заготовки змінювали під кутами 0 і 90 градусів (Рисунок 1.4.1). Заявлену тонку дендритну мікроструктуру, яка формується вздовж напрямку нарощування, можна побачити на малюнку 1б. Відомо, що така анізотропна поведінка матеріалу пошарової структури впливає на процес різання [3].

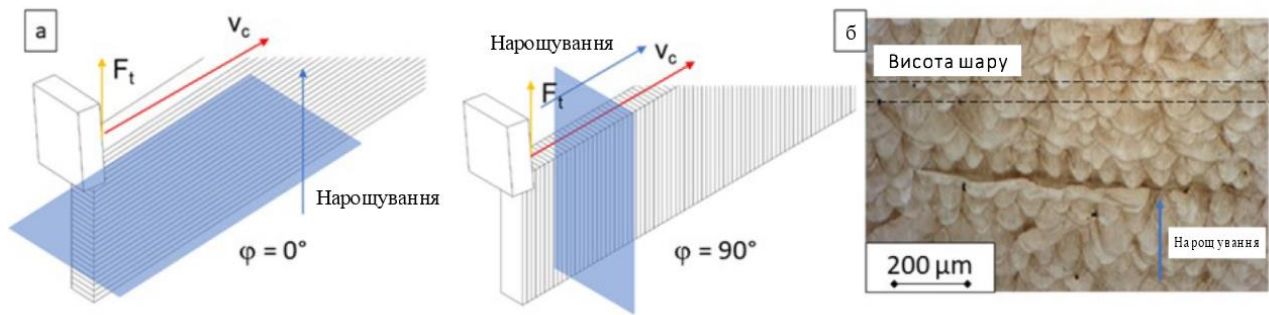


Рисунок 1.4.1. (а) Схема побудованого орієнтаційного кута φ ; (б) мікроструктура використаного марагенту сталь.

1.4.3. Процес механічної обробки

Зразки були використані в експериментах з ортогонального різання на випробувальній установці, що забезпечує прямий рух інструменту. Зрізи були зроблені як паралельно ($\varphi = 0$ градусів), так і нормально ($\varphi = 90$ градусів) до орієнтації шару відносно довгої сторони зразка. На малюнку 1.4.2 показаний загальний вигляд випробувального стенду (ліва сторона), а також зразковий зразок, встановлений на динамометрі (Kistler Instrumente AG, Вінтертур, Швейцарія), передня частина для обкатки та інструмент.

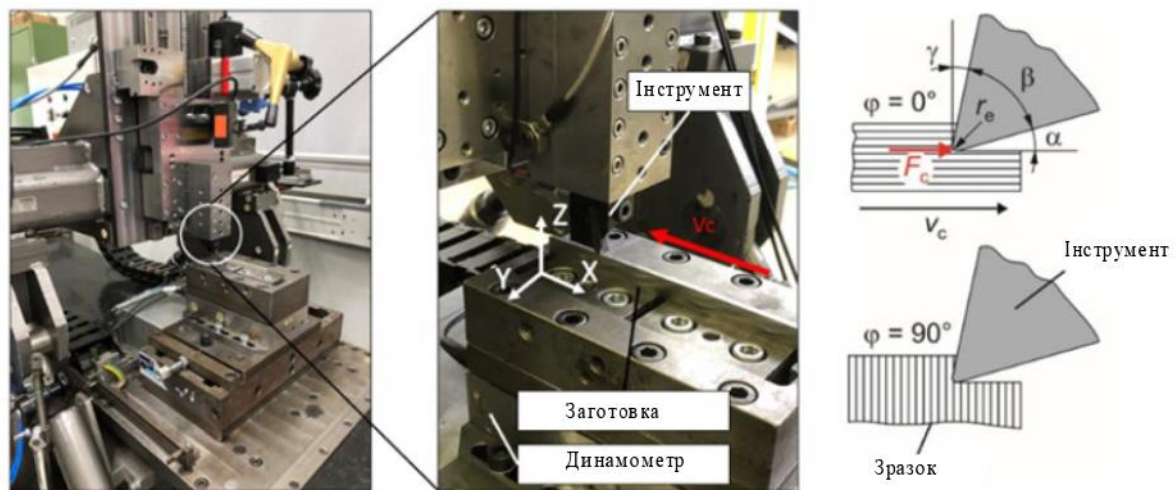


Рисунок 1.4.2. Випробувальна установка для експериментів з ортогональним різанням та умови випробування.

Використовуваний інструмент - це інструмент для розрізання та нарізання канавок типу S229.0800.36 виробництва Paul Horn GmbH, Тюбінген, Німеччина. Пластини виготовлені із запатентованої сполуки карбиду вольфраму під назвою Ti 25. У таблиці 1.4.3 наведено основні характеристики інструменту.

Експерименти проводили при швидкості подачі $f = 0,1$ мм і швидкості різання $v_c = 80$ м/хв. Матеріали 2022, 15, 26 5 з 12 Для статистичної перевірки було проведено 30 повторних тестів для обох орієнтацій матеріалу.

Зразки отриманих трісок досліджували мікроскопічно, і визначали як товщину стружки t , так і відстань ламелі d , щоб співвіднести їх із кутом нарощування φ . На малюнку 1.4.3 показано як результуюче середнє значення сили різання F_c всіх окремих випробувань, залежно від створеного орієнтаційного кута φ , так і розрізів типових стружки з пластинчастим виглядом. Середні значення зусиль різання були отримані з вимірних кривих сили різання. Амплітуда динамічної складової сигналу є відносно низькою і становить менше 10% від середнього значення. Через обмежену власну частоту

На динамометрі неможливо отримати якісь достовірні кількісні висновки про зв'язок між динамічною складовою силової кривої та формуванням ламелі. Сила різання $F_{c_0} = 1157,2$ Н у випадку $\varphi = 0^\circ$ і $F_{c_{90}} = 1069,7$ Н при $\varphi = 90^\circ$ відрізняються на 7,56%. Цей результат відповідає вищезгаданому контексту між міцністю на розтяг і орієнтацією φ .

Таблиця 1.4.3. Технічні характеристики інструменту

Характеристика інструмента	Значення
Передній кут γ	15°
Кут клина β	63°
Зазорний кут α	12°
Радіус ріжучої кромки	47.6 мкм

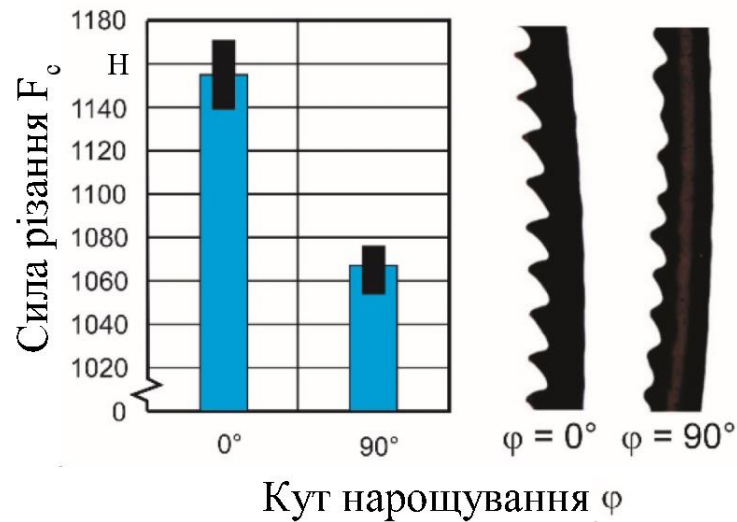


Рисунок 1.4.3. Експериментально визначена сила різання F_c і форма стружки залежно від орієнтації матеріалу.

1.4.4. Моделювання

Для отримання адаптованих параметрів Джонсона–Кука щодо різних напрямків нарощування адитивно виготовленого матеріалу була здійснена інверсна ідентифікація параметрів за допомогою методу скінченних елементів. Метою цієї процедури є порівняння результатів моделювання утворення стружки та експериментів з механічної обробки на основі заздалегідь визначених критеріїв. У ітеративному підході, вибраному тут, визначена кількість наборів параметрів змінювалась у все більш вузьких межах і використовувалася як вхідні змінні для моделювання. При цьому були визначені набори параметрів, для яких результати моделювання максимально наближаються до експериментально визначених критеріїв. Межі наступного кроку ітерації є результатом цих двох наборів параметрів з найкращим наближенням. Діапазон стартових параметрів першого кроку ітерації був створений за допомогою DoE на основі латинського методу гіперкуба. Завдяки підходу, широко описаному в літературі, сила різання F_c була врахована під час перших запусків моделювання. Двовимірну імітаційну модель було розроблено з використанням DEFORM 3D™ V12.01 (V12.01, Scientific Forming Technologies Corp., Колумбус, Огайо, США). Форма вищезгаданого токарного

інструменту врахована за допомогою кута зазору $\alpha = 12^\circ$ і переднього кута $\gamma = 15^\circ$, а також радіуса ріжучої кромки $r_b = 47,6$ мкм. Сітка деталі створюється з локальним уточненням і максимальним числом сіток 10 000. Зосереджуючись на параметрах Джонсона–Кука, що відповідають за ефект деформаційного зміцнення, набори з різними параметрами A, B і n на основі таблиці 1.4.2 були підготовлені за допомогою підходу планування експерименту, який базується на методі латинського гіперкуба. Визначено, що верхня та нижня межі діапазонів параметрів, показаних у таблиці 1.4.4, становлять +20% і -20% від значень, описаних у літературі.

Таблиця 1.4.4. Обмеження діапазону параметрів для першої ітерації ідентифікації щодо початкових параметрів з літератури.

Параметр Джонсона–Кука	A (МПа)	B (МПа)	n ()
Початкові значення з літератури	758.0	172.147	0.2258
Ітерація 1			
Верхня межа (+20%)	910.108	206.576	0.0626
Нижня межа (-20%)	606.738	137.718	0.0418

Параметри C і m залишалися незмінними на етапі моделювання. На першій ітерації було визначено кількість із 100 індивідуальних наборів параметрів у межах. Щоб досягти рівномірного прогресування сили різання, початкове моделювання було проведено без будь-якого критерію пошкодження, що призвело до утворення стружки потоку. Це спрощення також було зроблено щодо сили різання, вимірної та згодом усередненої в експериментальних дослідженнях, а також того факту, що компонент динамічної сили не може бути однозначно кількісно визначений і, таким чином, використаний як критерій порівняння. Використане програмне забезпечення для моделювання надає перевагу узагальненій формі матеріальної моделі Джонсона–Кука. На рисунку 1.4.4 показана 2D імітаційна модель із сітчастою

частиною та інструментом, а також отримана форма стружки з використанням початкових параметрів.

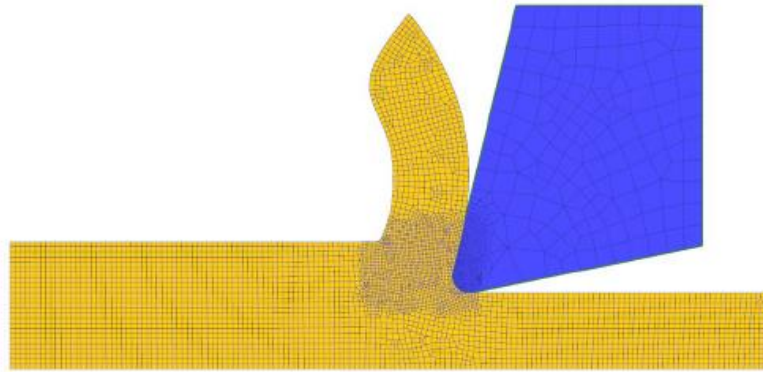


Рис 1.4.4. Модель на основі FEM та результуюче формування потоку стружки з використанням початкових параметрів на першій ітерації ідентифікації.

1.4.5. Результати та обговорення

На рисунку 1.4.5 показано співвідношення між значенням сили різання та кількістю окремих наборів параметрів, отриманих у результаті першої ітерації. Експериментально визначені середні значення зусиль різання на основі двох орієнтацій, $\varphi = 0^\circ$ і 90° , представлені червоною ($F_{c_0} = 1157$ Н) і синьою ($F_{c_{90}} = 1067$ Н) лініями. Було визначено два набори параметрів з найкращою апроксимацією сили різання для кожної орієнтації матеріалу (набір 0_1 і набір 0_2, набір 90_1 і 90_2).

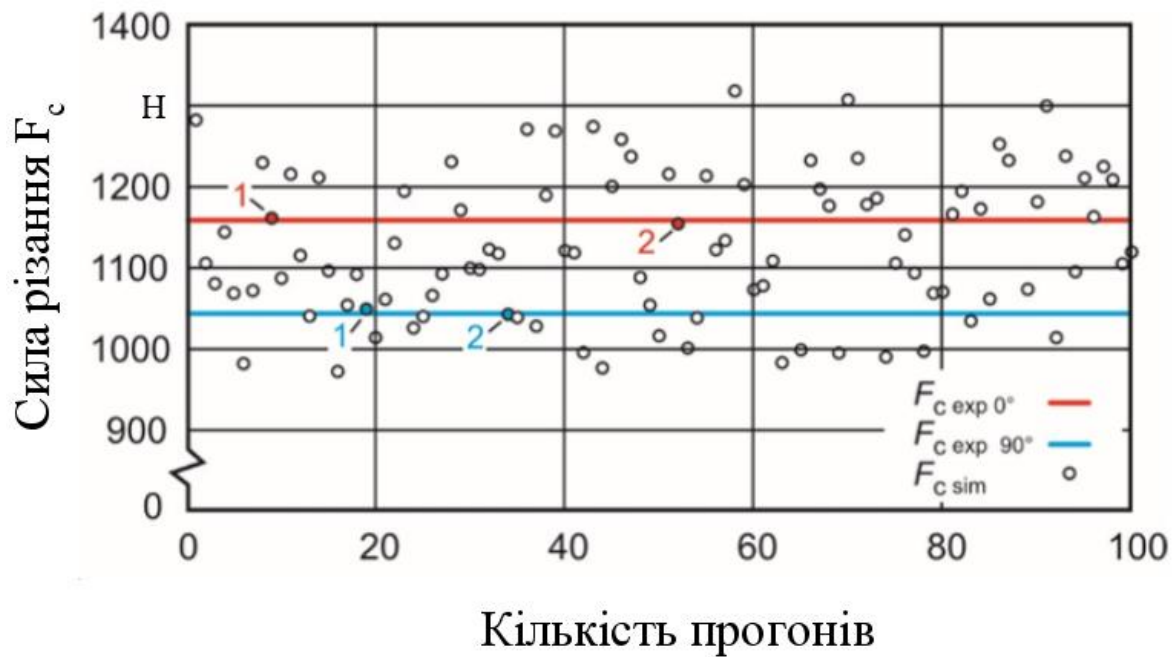


Рисунок 1.4.5. Перша ітерація зі 100 прогонами між верхньою та нижньою межами та отримана експериментально зусилля різання для орієнтацій $\varphi = 0^\circ$ і 90° .

Ці набори використовуються як верхня та нижня межі для другої ітерації ідентифікації, щоб наблизитися до експериментально отриманих значень сили різання. Найближчого наближення можна досягти за допомогою наборів параметрів №9 і №52 у разі орієнтаційного кута $\varphi = 0^\circ$ і множин №7 і №64 у випадку $\varphi = 90^\circ$. Ці набори параметрів (Таблиця 1.4.5) були використані як нові межі для другої ітерації ідентифікації на основі DOE з 25 запусками кожен. На малюнках 1.4.6 і 1.4.7 показано розрахункові зусилля різання в залежності від окремих комплектів. Поновлений пошук наборів параметрів з найближчим наближенням до експериментально отриманих значень сили різання призводить до наборів № 15 і № 24 у випадку кута орієнтації $\varphi = 0^\circ$ і наборів № 3 і № 4 у випадку $\varphi = 90^\circ$. Належні параметри Джонсона-Кука A, B і n наведені в таблиці 6.

Таблиця 1.4.5. Друга ітерація з 25 прогонами в кожній між верхньою та нижньою межею для орієнтації. Кути $\varphi = 0^\circ$ і 90° .

Дж.–К. Параметр	A (МПа)	ps#	B (МПа)	ps#	n ()	ps#
$\varphi = 0^\circ$ Ітерація 2						
Верхня межа	818.093	52	170.276	9	0.2269	52
Нижня межа	809.121	9	154.213	52	0.1898	9
$\varphi = 90^\circ$ Ітерація 2						
Верхня межа	709.990	7	204.301	64	0.2140	64
Нижня межа	657.995	64	174.550	7	0.2098	7

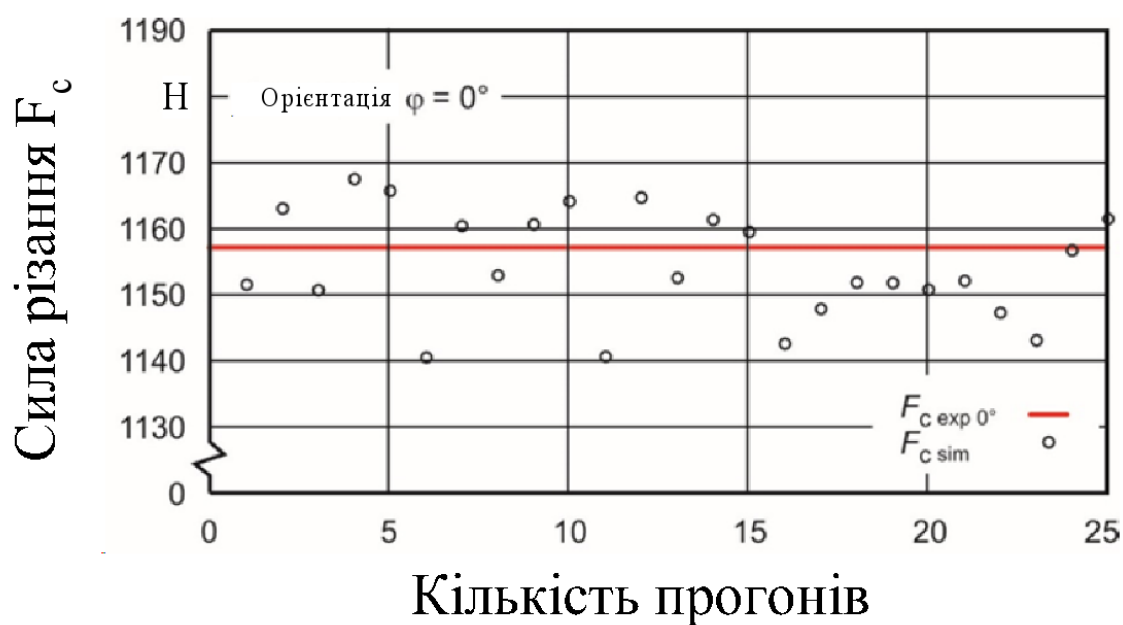


Рисунок 1.4.6. Друга ітерація з 25 запусками для орієнтації $\varphi = 0^\circ$.

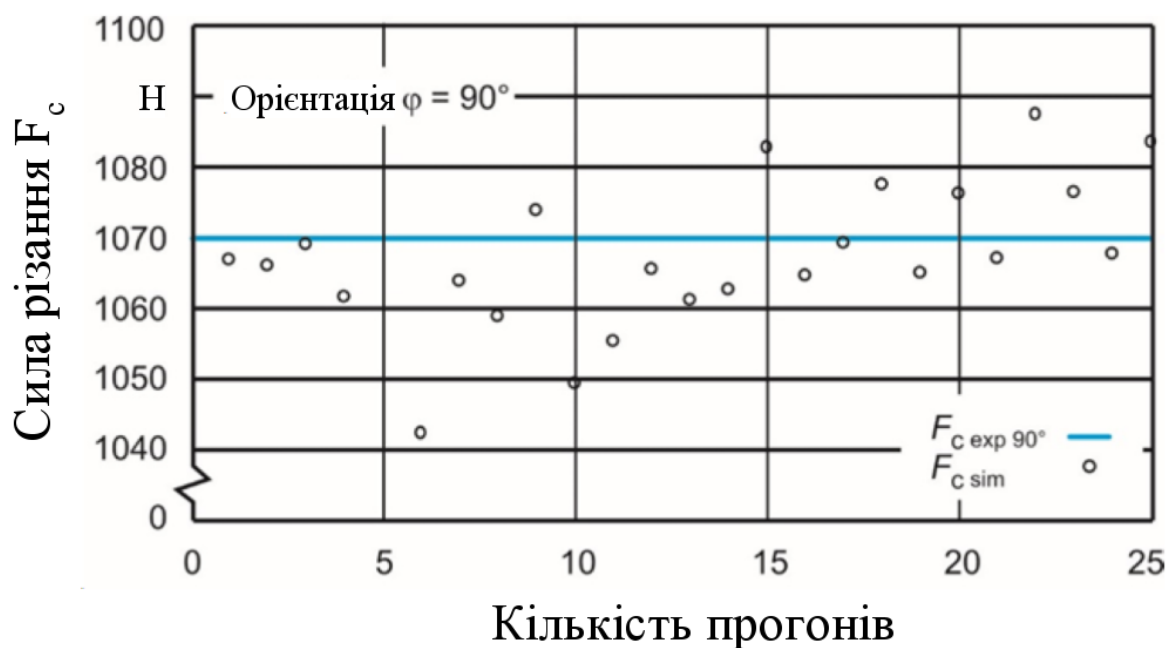


Рисунок 1.4.7. Друга ітерація з 25 запусками для орієнтації $\varphi = 90^\circ$.

Таблиця 1.4.6. Результуючі параметри Джонсона–Кука А, В і n після другої ітерації ідентифікації.

Дж.–К. Параметр	ps#	A (МПа)	B (МПа)	n ()
Кут нарощування $\varphi = 0^\circ$				
Перший найближчий	15	816.720	163.850	0.2166
Другий найближчий	24	809.234	167.667	0.2027
Кут нарощування $\varphi = 90^\circ$				
Перший найближчий	17	705.004	179.962	0.2130
Другий найближчий	3	660.754	203.009	0.2112

Щоб підтвердити ці кінцеві результати та отримати інформацію про різницю між ними, що впливає на утворення стружки, форма стружки була врахована як додаткові критерії (Рисунок 1.4.8). Отже, як середню товщину стружки t , так і середню відстань d між кромкою двох сусідніх ламелей стружки було визначено на експериментально виготовлених стружках, а також на стружках, отриманих в результаті моделювання.

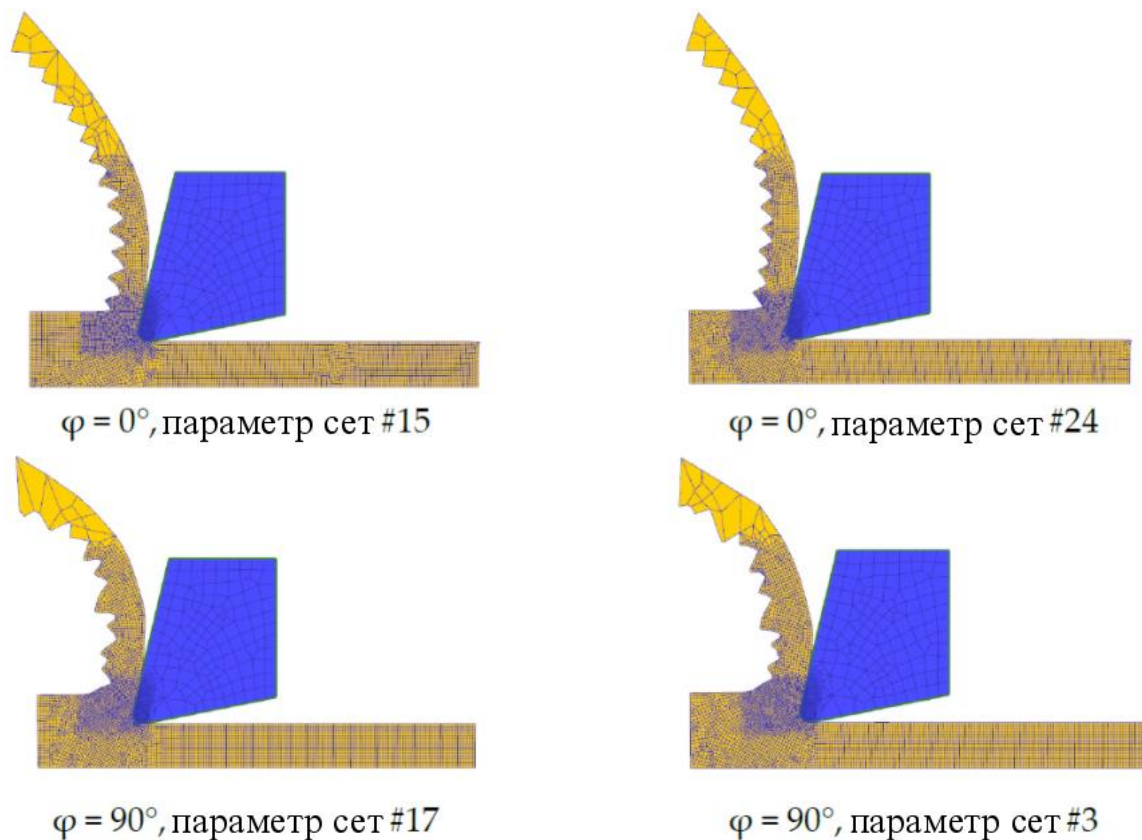


Рисунок 1.4.8. Результати моделювання залежно від побудованого кута φ та різних наборів параметрів.

У зв'язку з цим вищезгадану модель FE було розширено моделлю руйнування за Cockroft and Latham, щоб забезпечити утворення пластинчастих відколів. На рисунку 1.4.8 показані результати моделювання, де можна порівняти утворення стружки залежно від вибраного набору параметрів. Примітно, що тріски, що утворюються в результаті кута нарощування $\varphi = 0^\circ$, демонструють більш регулярну послідовність окремих ламелей, ніж ті з $\varphi = 90^\circ$.

Крім того, форми чіпів трохи тонші за умови $\varphi = 0^\circ$. У разі прямого порівняння різних наборів під одним і тим же збудованим кутом $\varphi = 0^\circ$, помітно, що ламелі, які походять із набору №15, займають більшу частку від загальної ширини стружки, ніж ламелі з набору №24.

Щоб отримати інформацію про кореляції між товщиною стружки t , а також відстанню ламелі d і наборами параметрів, було проведено кілька вимірювань на стружках, отриманих як під час моделювання формування стружки, так і в експериментах з різанням. Товщину стружки визначали відповідно до рисунка 1.4.9, завжди в найтоншій точці між окремими ламелями. Відстань ламелі вимірювали від краю до краю.

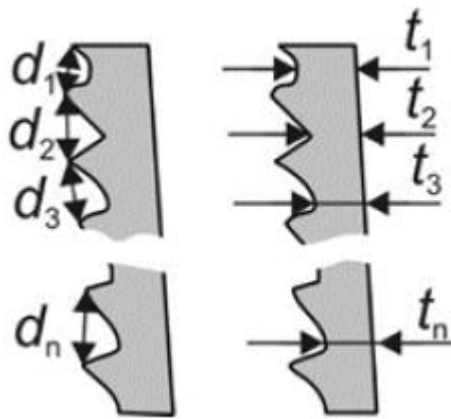


Рисунок 1.4.9. Критерії форми стружки товщина стружки t і відстань ламелі d .

На рисунку 1.4.10 показано, що як середні значення змодельованої товщини стружки, так і відстані між ламелі нижче середніх значень експериментально отриманих стружки. У таблиці 1.4.7 показано відносні відхилення між окремими критеріями змодельованих форм стружки та експериментально отриманих.

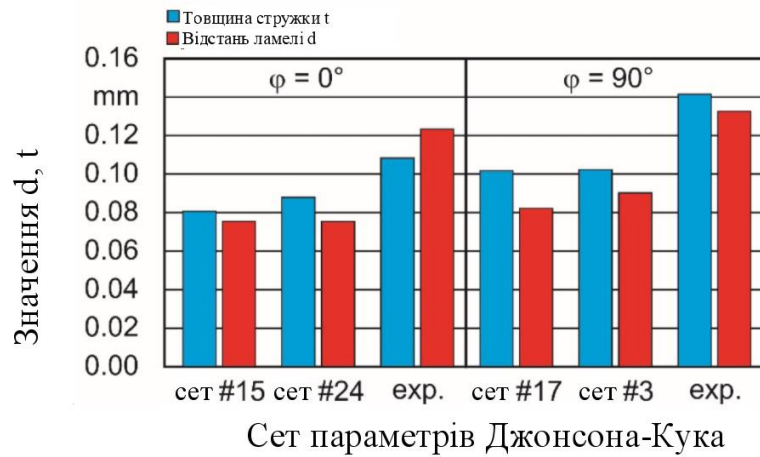
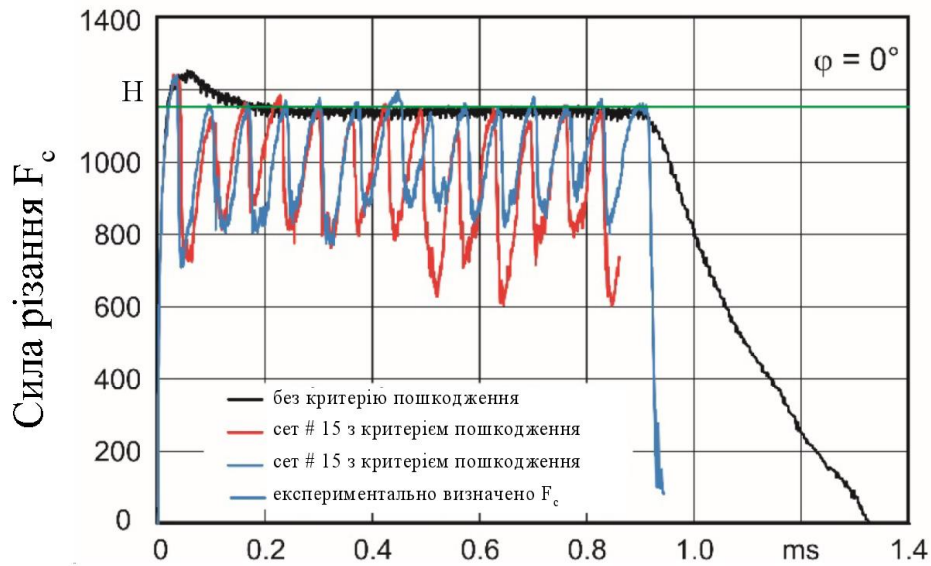


Рисунок 1.4.10. Критерії форми стружки t і d залежно від моделі та результатів експерименту.

Змінні сили різання, визначені за критерієм пошкодження, в середньому на нижчому рівні, ніж сила різання з чистим утворенням стружки (без критерію пошкодження). Максимальні значення завжди відповідають силі різання з утворенням стружки, коли окремі ламелі досягають максимальної товщини. Рисунок 1.4.11 ілюструє це для випадку створеного кута $\varphi = 0^\circ$ для наборів параметрів №15 та №24.

Загалом, можна побачити, що залежність критеріїв від побудованого кута може бути відображена в тренді. Однак слід також зазначити, що включення додаткових критеріїв порівняння, зокрема, компонента динамічної сили різання, а також, наприклад, температури обробки, здається доцільним для подальшої мінімізації наявних відхилень.



Симуляція часу t

Рисунок 1.4.11. Порівняння визначених на основі моделювання (як з критерієм пошкодження, так і без нього) та експериментально отриманих сил різання F_c для $\varphi = 0^\circ$.

Таблиця 1.4.7. Критерії форми стружки T і D залежно від результатів моделі та експерименту.

Порівняні результати	Різниця в товщині стружки t (%)	Різниця в ламелі Відстань d (%)
$\varphi = 0^\circ$ сет # 15 до $\varphi = 0^\circ$ екр.	33.8	63.0
$\varphi = 0^\circ$ сет # 24 до $\varphi = 0^\circ$ екр.	22.9	63.2
$\varphi = 90^\circ$ сет # 17 до $\varphi = 90^\circ$ екр.	38.4	60.1
$\varphi = 90^\circ$ сет # 3 до $\varphi = 90^\circ$ екр.	38.7	47.6
$\varphi = 0^\circ$ сет # 15 до $\varphi = 90^\circ$ сет 17	26.2	9.3
$\varphi = 0^\circ$ сет # 24 до $\varphi = 90^\circ$ сет 3	15.7	18.7
$\varphi = 0^\circ$ екр. до $\varphi = 90^\circ$ екр.	30.6	7.3

1.4.6. Підсумки та висновки

Метою цієї роботи було представлення інверсної ідентифікації параметрів на основі моделювання FE для визначення параметрів Джонсона–Кука A , B і n для марагентової сталі M300, яка використовується для адитивного виробництва в двох напрямках нарощування.

Для подальшого порівняння експериментально та симуляційно отриманих критеріїв, з використанням процесу LPBF були підготовлені зразки марагентної сталі M300 з обома напрямками нарощування, $\varphi = 0^\circ$ та 90° . В експериментах з механічної обробки визначали як силу різання F_c , так і характеристику форми стружки. Зусилля різання залежить від орієнтації нарощування і відрізняється на 7,56%.

Необхідну двовимірну скінченноелементну модель було підготовлено за допомогою DEFORM 3D™ V12.01 і використано для отримання наборів параметрів A , B і n Джонсона–Кука, які призводять до найближчого наближення до експериментальних сил різання. Початкові параметри для створення DOE взяті з літератури.

В якості додаткових критеріїв були визначені та порівняні як товщина стружки, так і відстань ламелі експериментально та імітаційно отриманих стружки. Хоча абсолютні відмінності між критеріями експериментально та симуляційно отриманих властивостей стружки є порівняно великими, залежність як товщини стружки, так і відстані ламелі від напрямку нарощування може бути підтверджена в тренді. Найближчі результати – 26,6% різниці товщини стружки між $\varphi = 0^\circ$ і 90° в симуляції та 30,6% в експерименті. Для випадку ламелі найближче наближення було досягнуто з 9,3% у симуляції порівняно з 7,3% в експерименті.

Посилаючись на спрощений підхід, використаний у цій роботі, плануються подальші експерименти з різанням із високою роздільною здатністю та високочутливою системою вимірювання сили. У цьому контексті

слід розглядати не лише вплив кута нарощування ϕ , а й вплив окремих шарів на їх взаємодію з утворенням пластинчастої стружки. Крім того, необхідно включити вимірювання температури в зоні різання. З додатковими критеріями, отриманими з цього, подальше моделювання має бути виконано для більш точного визначення зворотного параметра.

2. Технологічний розділ

2.1. Аналіз службового призначення та умов роботи деталі в вузлі

Важелі є ланками системи машин, апаратів, приладів, пристроїв. Здійснюючи коливальний або обертальний рух, важелі передають необхідні сили та рухи сполученим деталям, змушуючи їх виконувати необхідні переміщення з належною швидкістю. В інших випадках важелі, наприклад, прихвати, залишаються нерухомими і фіксують відносне положення сполучених деталей.

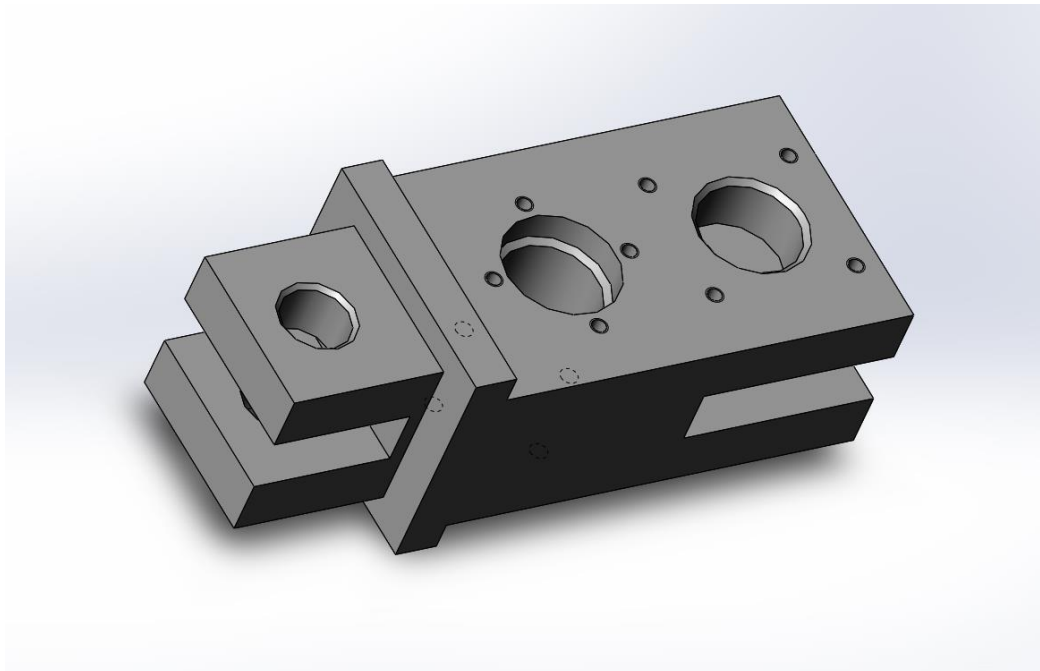


Рис. 1.1.1.2. 3-D модель деталі «Важіль відкривний»

2.1.2. Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі.

При аналізі даної деталі виникли складнощі, так як відсутній складальний кресленик вузла, в який входить «Важіль відкривний». Тому даних про службове призначення виробу ускладнює точне визначення призначення деталі. Однак, виходячи з кресленика деталі, можна сказати що Важіль кріпиться до вузла за допомогою нарізних отворів малих діаметрів – М6. Завдяки більшим отворам, ймовірно за допомогою валів, відбувається передача сили та рухів з одного вузла до іншого.

2.1.3. Аналіз вибору конструкційного матеріалу.

Вибір матеріалу залежить від службового призначення та економічності виготовлення деталі. Важелі складної форми можуть бути досить економічно виготовлені із заготовки-вилівки. Деталі, що зазнають більших навантажень, виготовляють з більш міцного і дорогого чавуну марок СЧ21 і СЧ25[9].

Таблиця 2.1.3.1. Хімічний склад СЧ25

Елемент	Частка, %
Si	1.4...2.2
C	3.2...3.4

Mn	0.7...1
P	< 0.2
S	<0.15

Таблиця 2.1.3.2. Фізико-механічні характеристики СЧ25

Границя міцності σ_b , МПа	250
Твердість*, НВ	245
Ливарна усадка, %	1.2

2.2. Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва.

Тип виробництва визначається кількістю продукції, яку випускає підприємство за одиницю часу, і її характером. У свою чергу він визначає форми організації технологічних процесів, які залежать від установленого порядку виконання операцій, розміщення технологічного обладнання, кількості виробів і напрямку їх руху при виготовленні[10].

У машинобудуванні умовно розрізняють три основних типи виробництва: одиничне, серійне і масове.

Для попереднього проектування доцільно використовувати аналогові методи визначення типу виробництва. Для цього необхідно визначити масу деталі та річний обсяг випуску.

Масу деталі знаходимо за допомогою функції програми SolidWorks побудувавши тривимірну модель деталі «Важіль відкривний» та додавши відповідний матеріал. Маса деталі 6.3 кг. Програма випуску 5000 шт.

Таблиця 2.2.1. Залежність типу виробництва від обсягу випуску і маси деталі[10].

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одичне	мало-серійне	середньо-серійне	великосерійне	масове
до 1,0	до 10	10...2000	2000...75000	75000...200000	>200000
>1,0...2,5	до 10	10...1000	1000...50000	50000...100000	>100000
>2,5...5,0	до 10	10...500	500...35000	35000...75000	>75000
>5,0...10,0	до 10	10...300	300...25000	25000...50000	>50000
>10,0	до 10	10...200	200...10000	10000...25000	>25000

Тип виробництва – середньосерійне. Для виробництво будемо використовувати верстат з ЧПК та стандартні інструменти та пристрої.

2.3. Короткий аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність конструкції — це сукупність властивостей конструкції виробу, які проявляються у можливості оптимальних (найвигідніших техніко-економічних) витрат праці, коштів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті виробу.

Дану деталь можна вважати технологічною.

2.4. Визначення виду та способу виготовлення заготовки.

Чавунні заготівлі важелів отримують зазвичай литтям у металеві форми, відформовані за механічними моделями. При середньосерійному виробництві також доцільно використовувати даний спосіб отримання заготовки. Допуски на розміри та припуски на обробку виливків за моделями важелів, що виплавляються, не повинні перевищувати зазначених у ГОСТ 26645-85[11]. Отвори по кресленню діаметром менше 25 мм у заготовках литтям у металеві форми та штампуванням зазвичай не отримують.

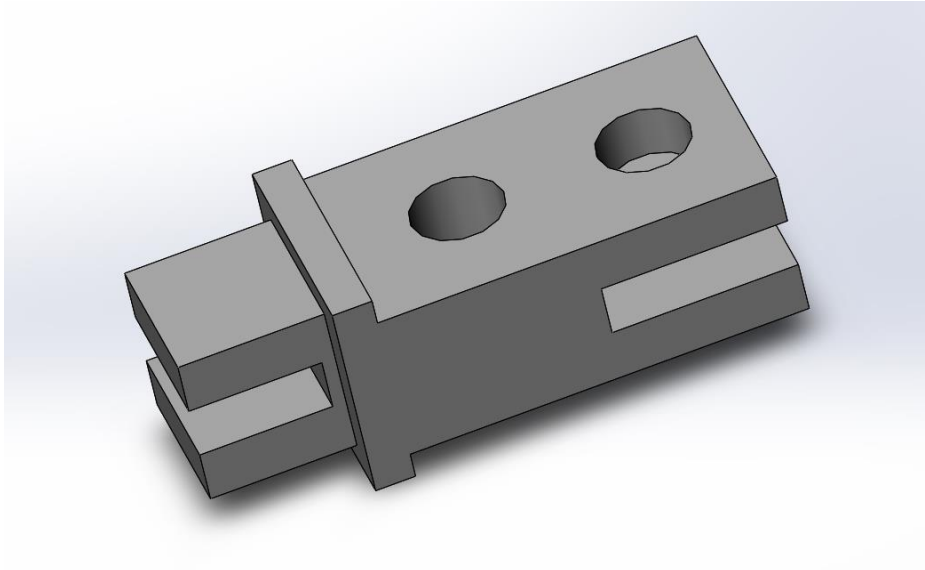


Рисунок 2.4.1 Заготовка

2.5. Обґрунтування вибору баз для технологічного процесу виготовлення деталі

Алгоритм обґрунтування вибору технологічних баз передбачає послідовне виконання наступних етапів:

- обґрунтування вибору загальних технологічних баз;
- обґрунтування вибору технологічних баз для перших операцій.

2.5.1. Обґрунтування вибору загальних технологічних баз.

Вихідними даними для вибору загальних технологічних баз є робочий креслений деталі та, за наявності, кресленик вузла, якому вона належить.

Спершу необхідно виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням. Конструкцію будь-якої деталі можна уявити сукупністю таких поверхонь:

- основні конструкторські бази – визначають положення деталі у вузлі;
- допоміжні конструкторські бази – визначають положення інших деталей відносно даної;
- кріпильні поверхні – забезпечують фіксацію положення деталей, що приєднуються.;
- вільні поверхні – додаткові поверхні деталі, які створюють її єдиний геометричний образ.

З аналізу робочого креслення деталі випливає, що усі оброблювані поверхні відносяться до двох видів.

Більш детальна класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням наведена на рис. 5.1.

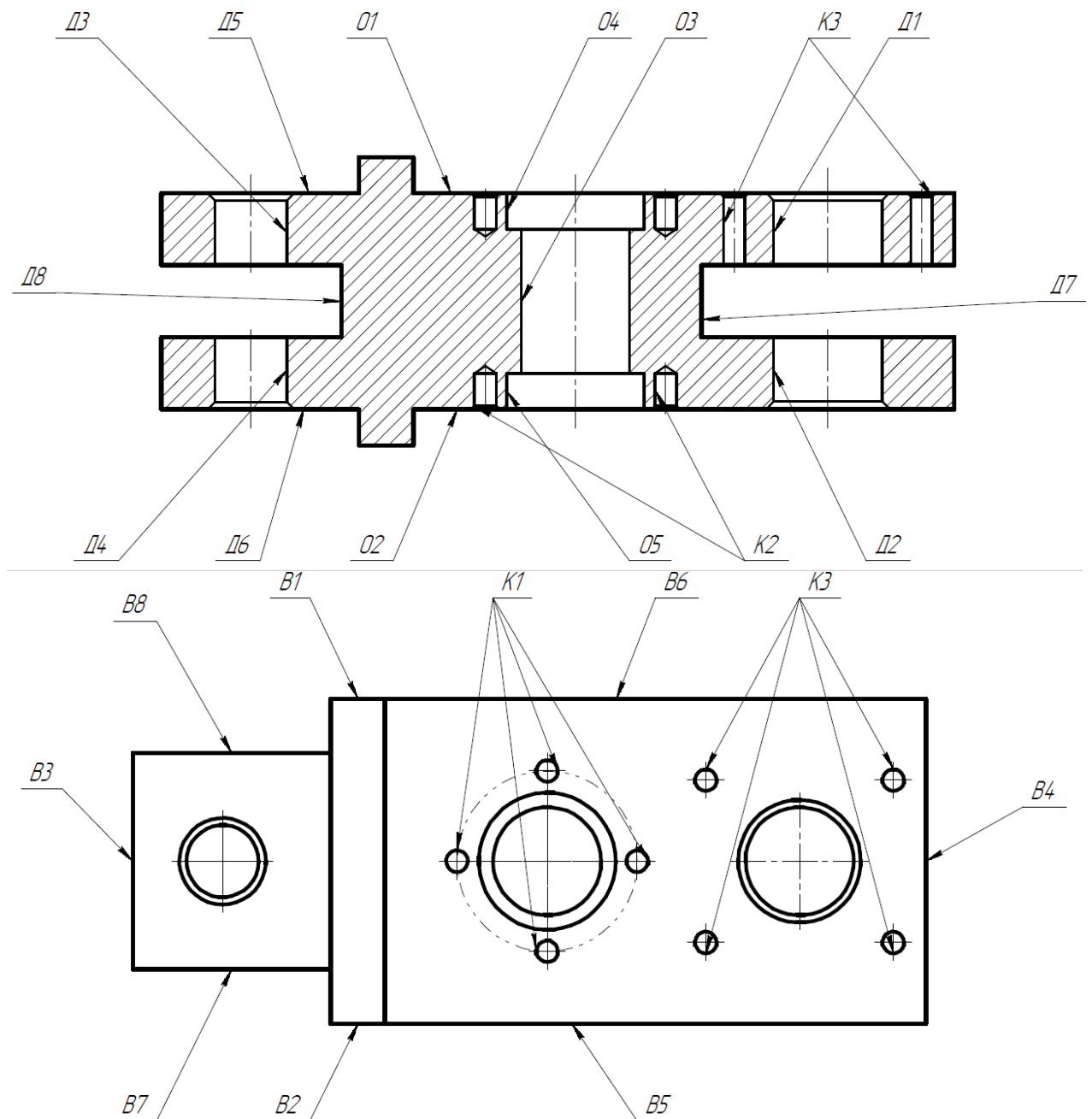


Рис. 2.5.1. Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням

2.5.2. Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій.

Важелі в процесі роботи здійснюють коливальні або обертальні рухи і передають необхідні сили, моменти і забезпечують необхідні закони руху спряженим з ними деталям.

За конструктивними ознаками найчастіше в якості ОКБ таких деталей застосовуються протяжні отвори, які забезпечують базування деталей в механізмах по подвійній напрямній базі. Орієнтування в осьовому напрямку важелів найчастіше повністю не визначене і забезпечується однією із прилеглих торцевих поверхонь до базового отвору.

Враховуючи невизначеність схеми базування, високі вимоги до просторового розташування таких поверхонь пред'являються до обох прилеглих торців, а саме до паралельності між собою та перпендикулярності до вісі головних отворів.

На перших операціях технологічні бази повинні витримувати допуски розташування, для даної деталі – допуск перпендикулярності.

Дана деталь буде базуватись за допомогою торців, які будуть затиснені в лещатах. Так виникає можливість за меншу кількість операцій зробити більше механічної обробки.

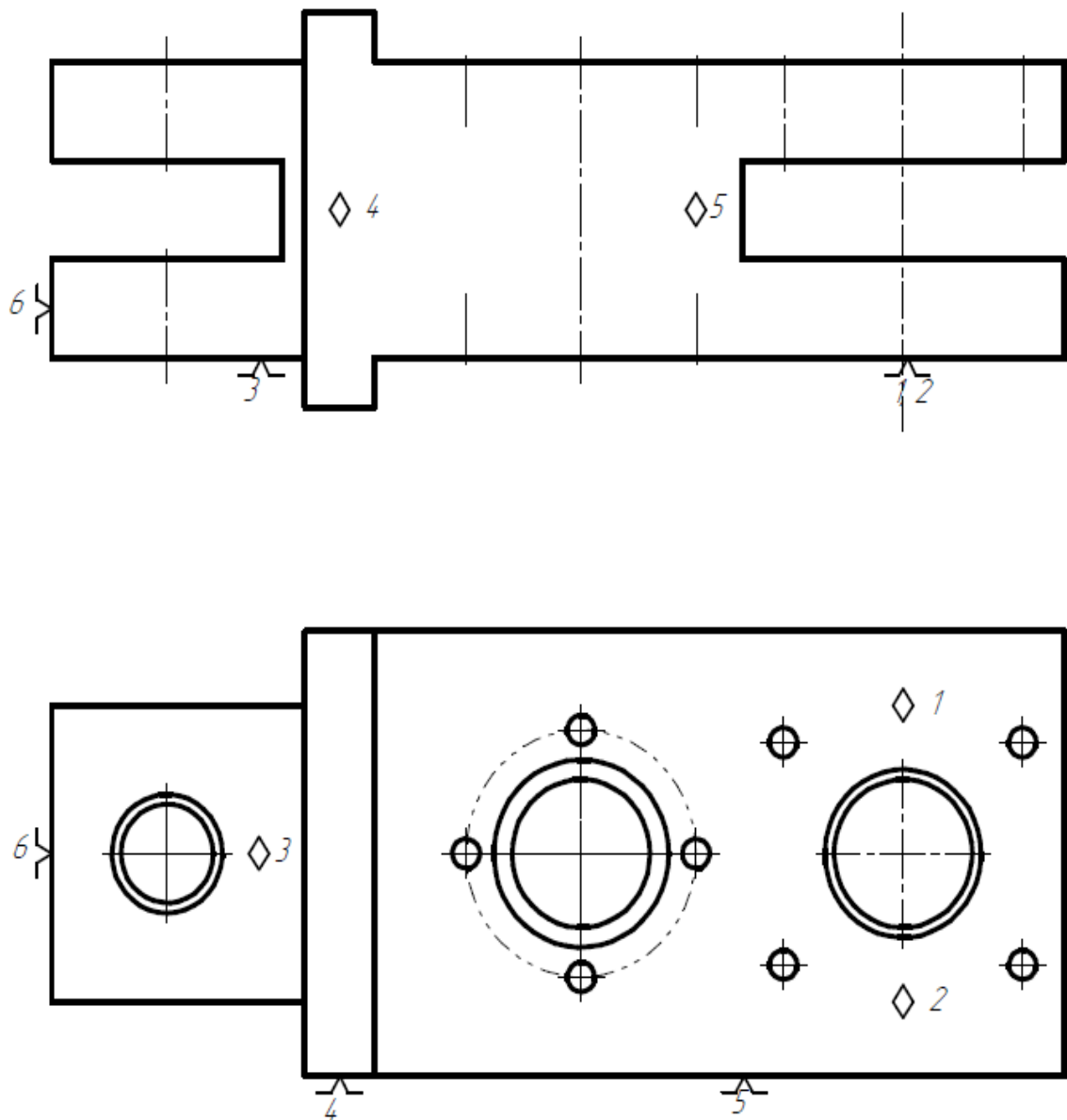


Рисунок 1.5.1 Загальна технологічна база

2.6. Проектування першої технологічної операції.

Важливим є визначення послідовності оброблення поверхонь деталі. За допомогою робочого кресленика деталі ми можемо проаналізувати даний етап. При цьому необхідно керуватися класифікацією поверхонь деталі за службовим призначенням. Даний етап є базою для проектування технологічних операцій оброблення, бо зміст кожної операції буде в значній мірі визначатися обраними маршрутами оброблення поверхонь деталі та технологічними можливостями верстатів.

При проектуванні операційного технологічного процесу виготовлення деталі "Важеля відкривного" враховано всі вимоги наведеного алгоритму.

Таблиця 2.6.1. Технологічна послідовність оброблення поверхонь заготовки

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення	Характеристики якості поверхні після оброблення	
	Точн. розмірів ІТ / клас точн. різьби	Параметр шорсткості Ra, мкм		Точн. розмірів ІТ / клас точн. різьби	Параметр шорсткості Ra, мкм
1	2	3	4	5	6
О1, О2	14	10	Фрезерування одноразове	14...11	20...1,25
О3	14	10	Розточування одноразове	12	10...2,5
О4, О5	8	10	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове Фрезерування чистове	8...7	1,25...0,32
Д1, Д2	7	10	Зенкерування	8...7	1,25...0,32
Д3, Д4	7	1,25	Свердління і двократне розвертання	8...7	2,5...0,32
Д5, Д6	14	5	Фрезерування одноразове	14...11	20...1,25
Д7, Д8	12	5	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове	14...11 12...11	20...1,25 5...1,25
Д9	12	10	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове.	14...11 12...11	20...1,25 5...1,25
Д10	10	10	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове Фрезерування чистове	14...11 12...11 10	20...1,25 5...1,25 2,5...0,63
К1	7	12.5	Свердління Нарізання мітчиком.	12 7	12.5 10...2.5
К2	7	12.5	Свердління Нарізання мітчиком	12 7	12.5 10...2.5
К3	7	2.5	Свердління Нарізання мітчиком	12 7	12.5 10...2.5

2.7. **Проектування операційного технологічного процесу виготовлення деталі "Важіль відкривний"**

002 Ливарна

003 Зачисна

005 Вертикально-фрезерна

А. Установити, закріпити, зняти.

005.01 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 1, 4, 6.

005.02 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 2, 5, 3.

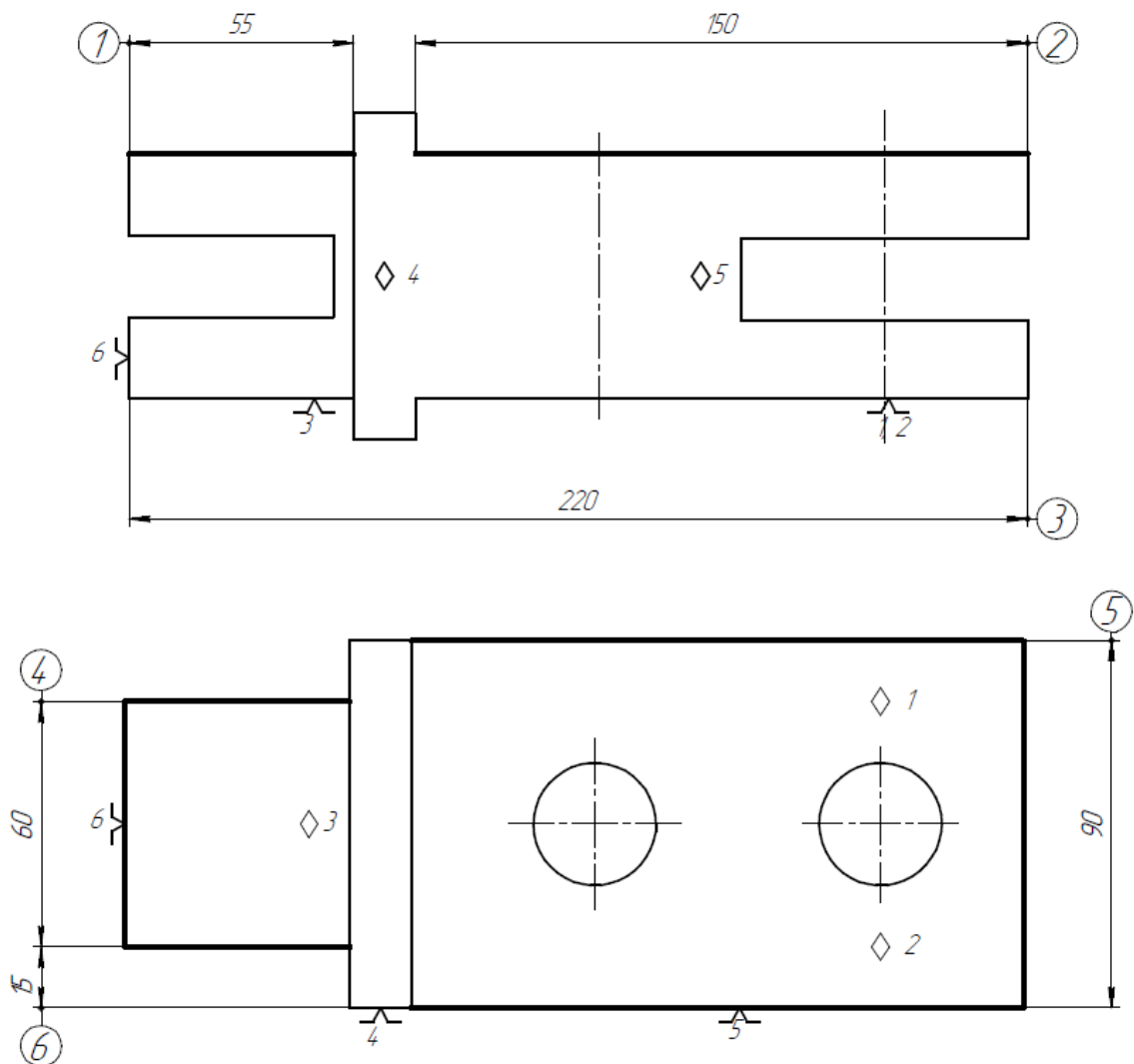


Рис. 2.7.1 Ескіз операції 005. Установ А.

Б. Установити, закріпити, зняти.

005.03 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 1, 4, 6.

005.04 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 2, 5, 3.

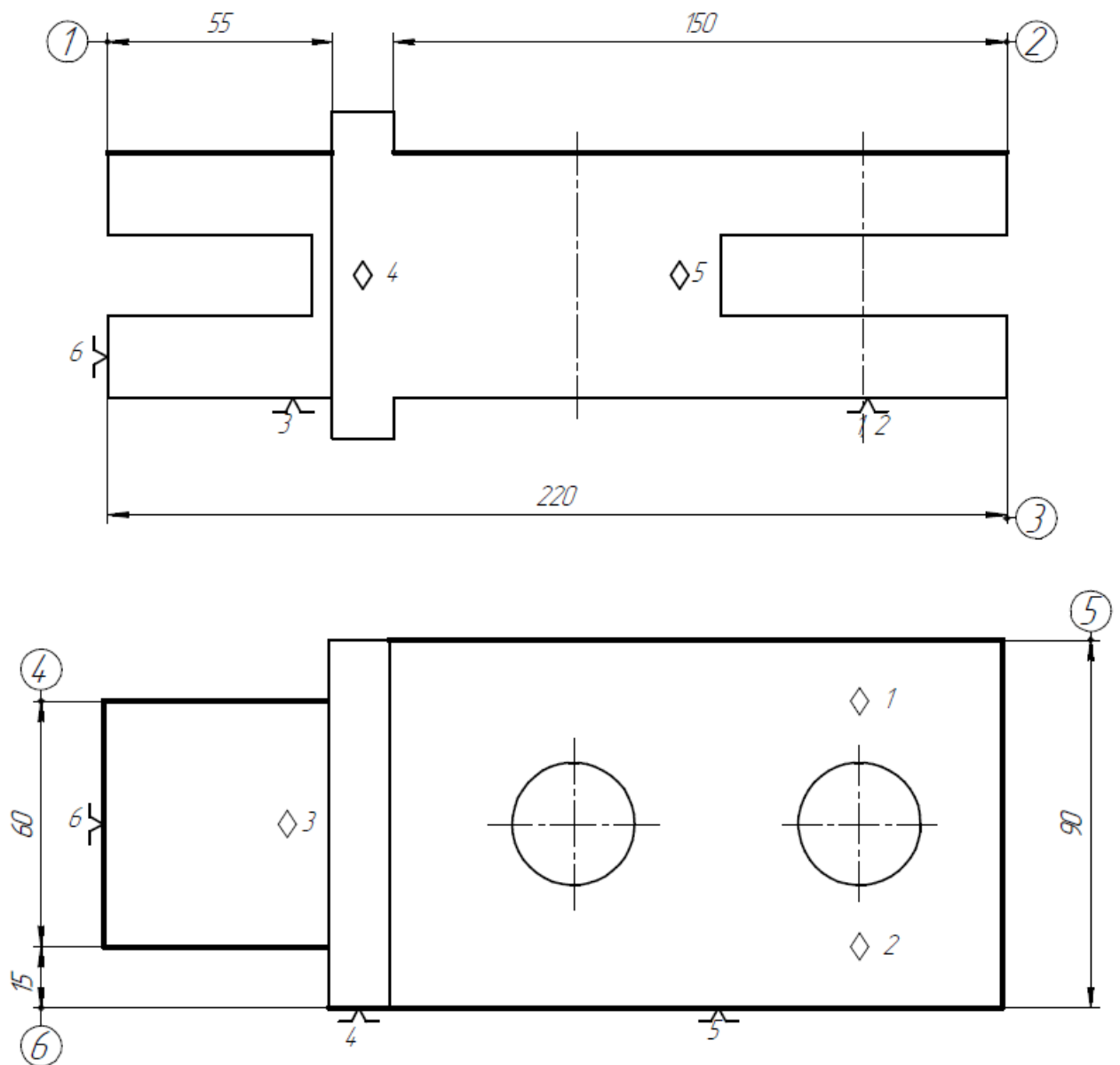


Рис. 2.7.2 Ескіз операції 005. Установ Б.

010 Вертикально-фрезерна

А. Установити, закріпити, зняти.

010.01 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 1, 3, 4, 7, 6.

010.02 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 2, 5, 8.

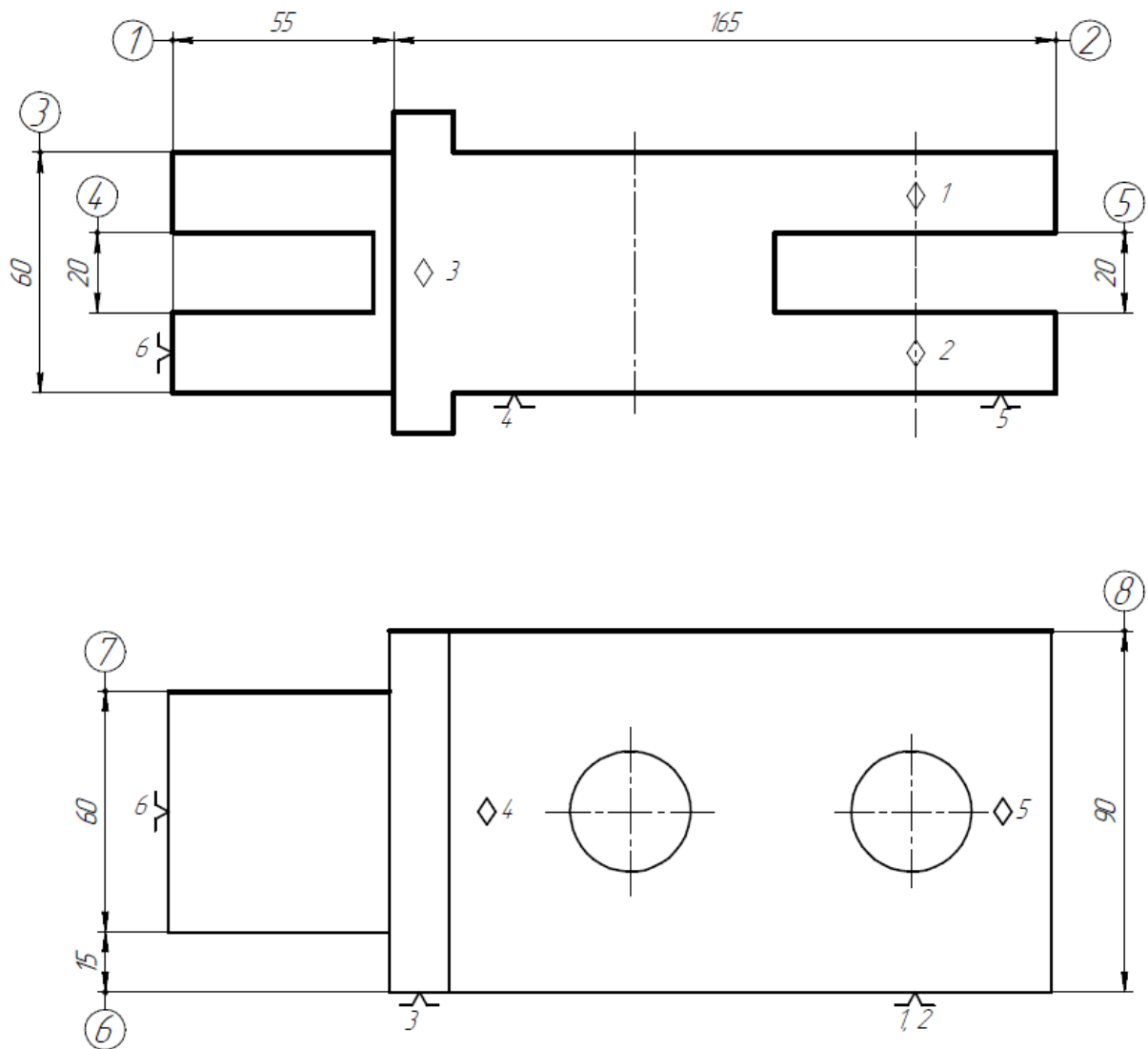


Рис. 2.7.3 Ескіз операції 010. Установ А.

Б. Установити, закріпити, зняти.

010.03 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 1, 3, 4, 7, 6.

010.04 Фрезерувати поверхню заготовки, витримуючи розміри 2, 5, 8.

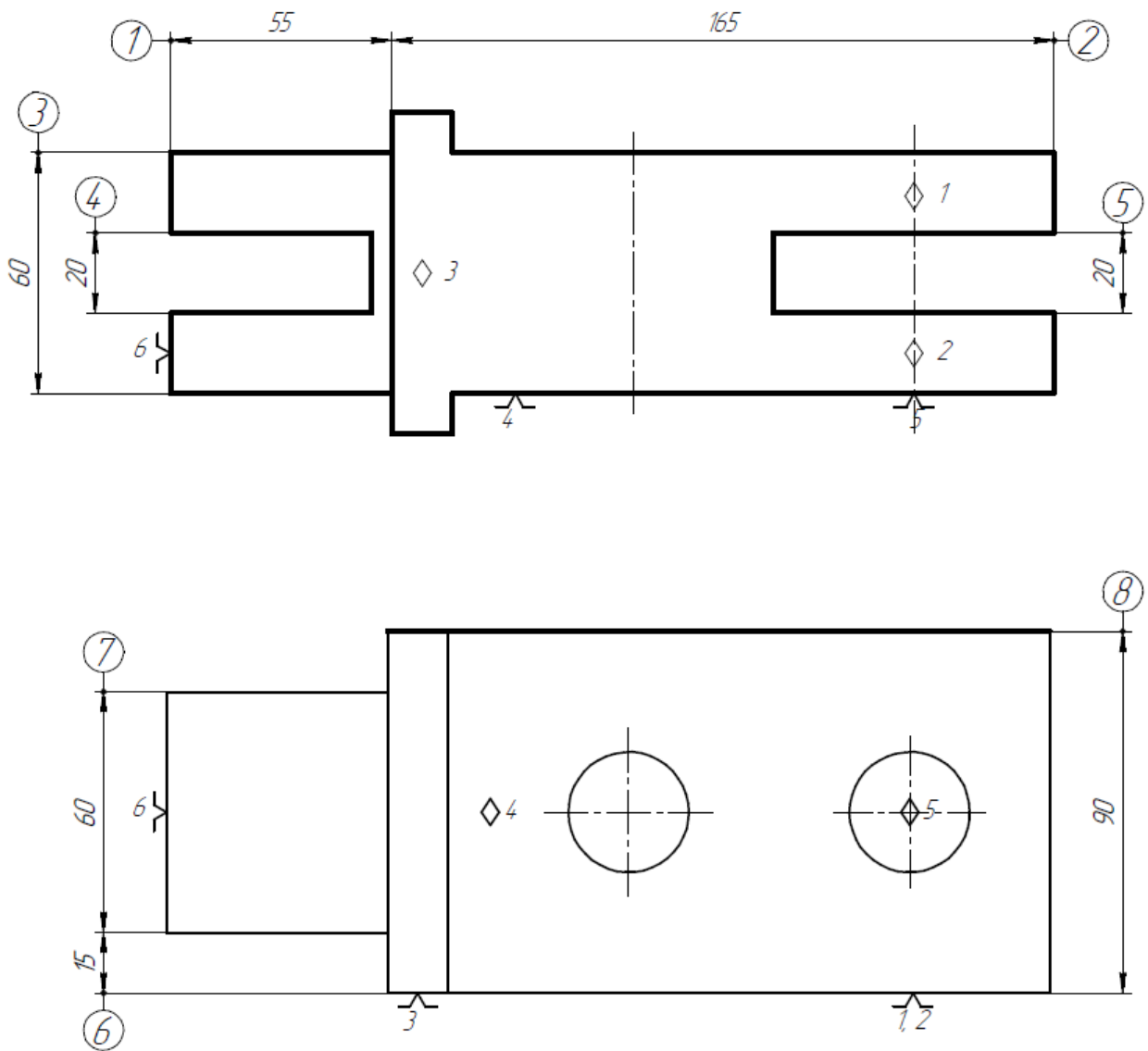


Рис. 2.7.4 Ескіз операції 010. Установ Б.

015 Вертикально-фрезерна

А. Установити, закріпити, зняти.

015.01 Фрезерувати попередню поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,3,5,6.

015.02 Фрезерувати начисто поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,3,5,6.

015.03 Фрезерувати попередню поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,4,5,6.

015.04 Фрезерувати начисто поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,4,5,6.

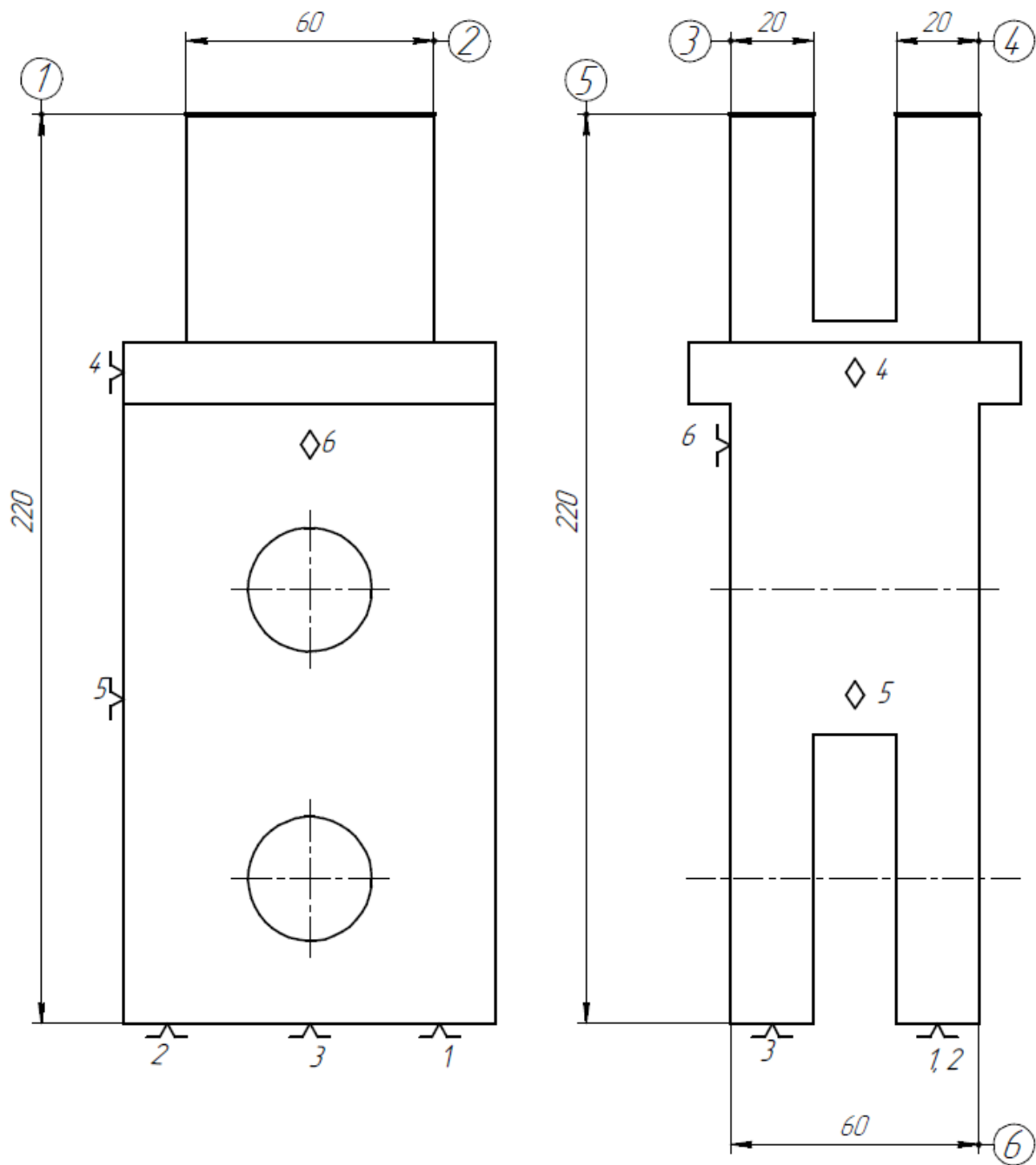


Рис. 2.7.5 Ескіз операції 015.

020 Вертикально-фрезерна

А. Установити, закріпити, зняти.

020.01 Фрезерувати попередню поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,3,5,6.

020.02 Фрезерувати начисто поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,3,5,6.

020.03 Фрезерувати попередньо поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,4,5,6.

020.04 Фрезерувати начисто поверхню заготовки, витримуючи розміри 2,1,4,5,6.

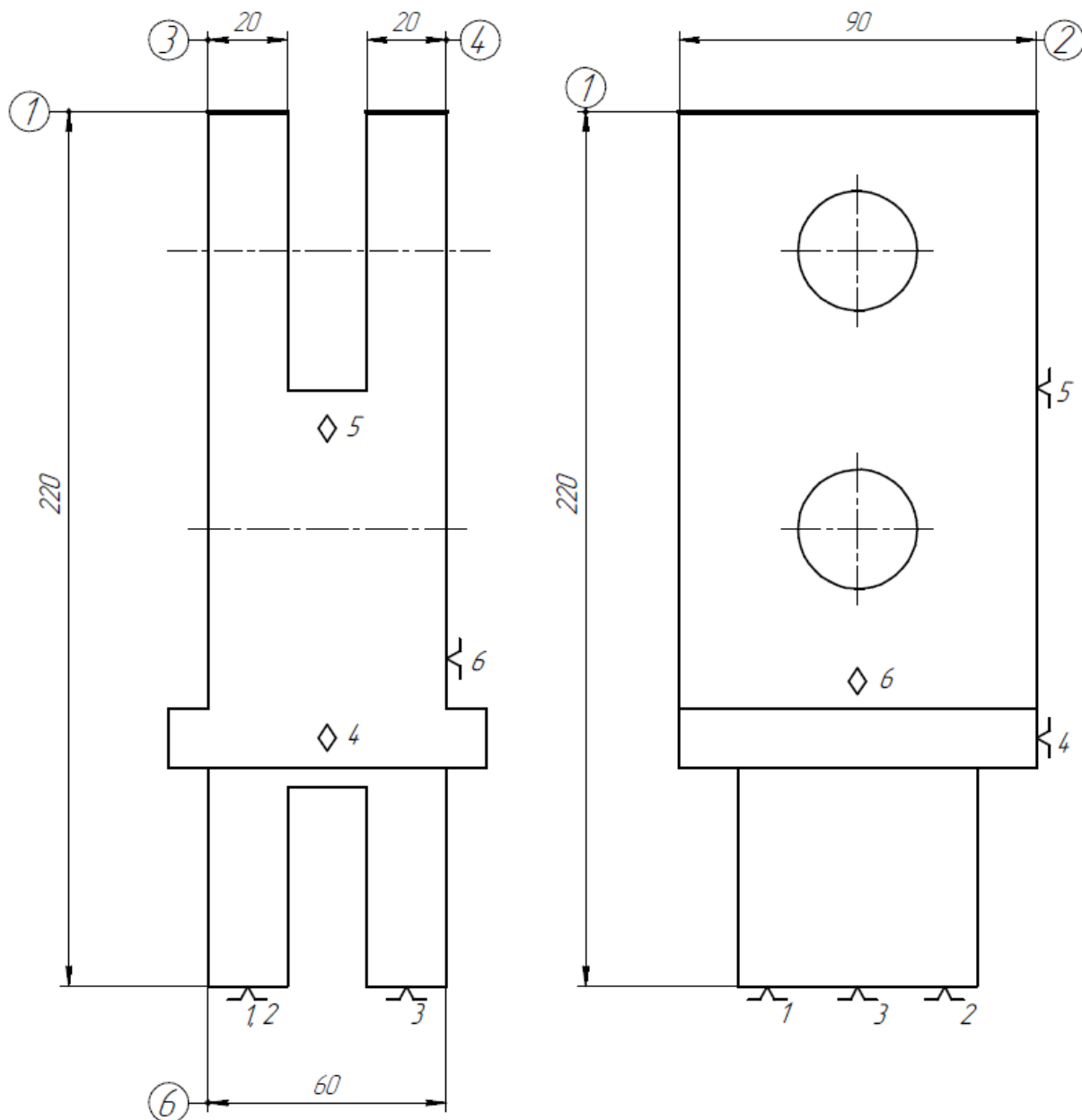


Рис. 2.7.6 Ескіз операції 020

025 Вертикально-фрезерна

А. Установити, закріпити, зняти.

025.01 Фрезерувати попередньо паз заготовки, витримуючи розміри 1, 2, 5, 7, 9, 10.

025.02 Фрезерувати начисто паз заготовки, витримуючи розміри 1, 2, 5, 7, 9, 10.

025.03 Фрезерувати попередньо паз заготовки, витримуючи розміри 3, 4, 6, 7, 8.

025.04 Фрезерувати начисто паз заготовки, витримуючи розміри 3, 4, 6, 7, 8.

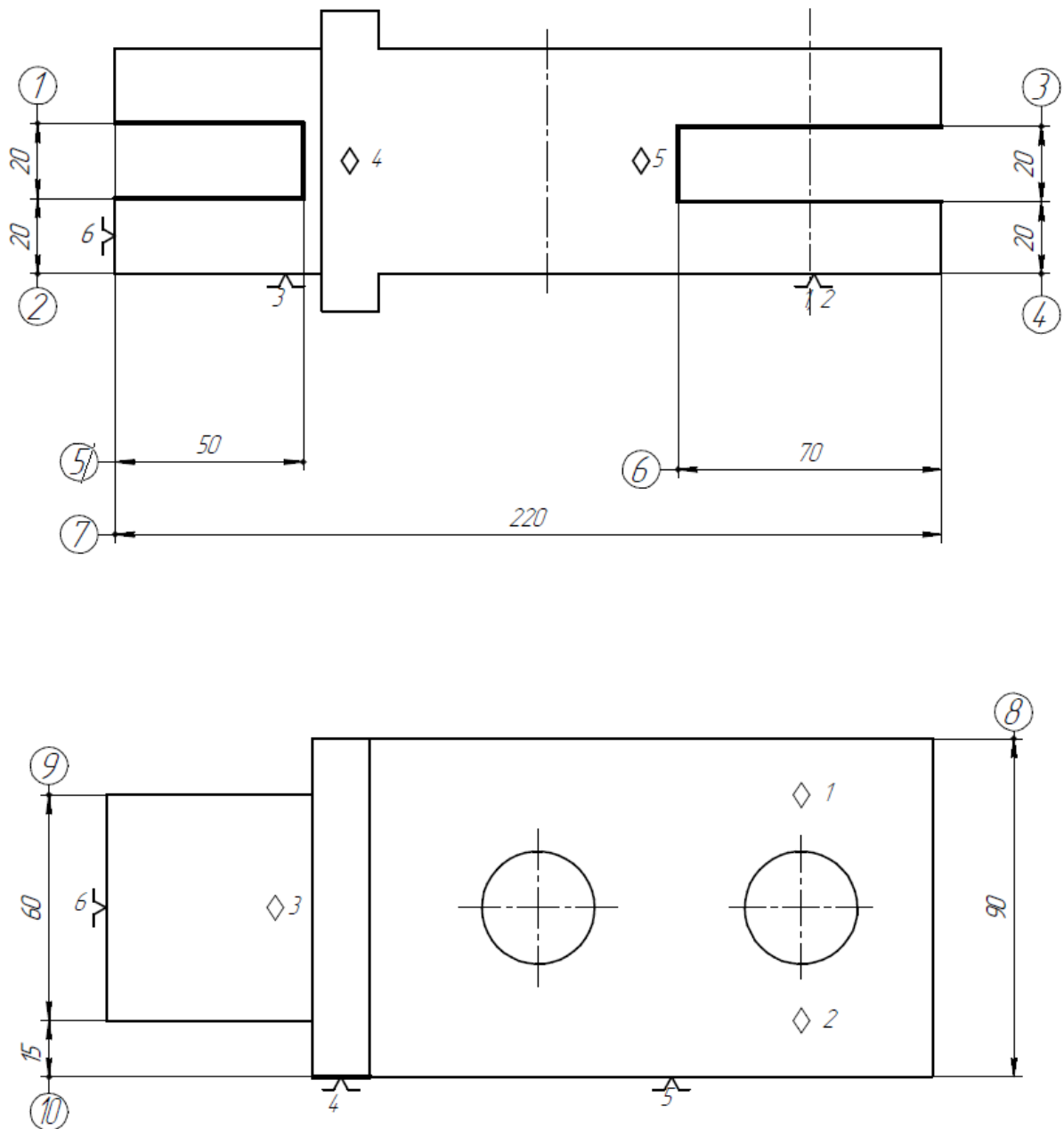


Рис. 2.7.7 Ескіз операції 025

030 Багатоцільова

А. Установити, закріпити, зняти.

030.01 Фрезерувати попередньо отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 8, 7, 10.

030.02 Фрезерувати напівчисто отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 8, 7, 10.

030.03 Фрезерувати начисто отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 8, 7, 10.

030.04 Фрезерувати тонко отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 8, 7, 10.

030.05 Свердлити отвір $\varnothing 20$ мм, витримуючи розміри 3, 5, 9, 8, 7, 10.

030.06 Свердлити отвір $\varnothing 30$ мм, витримуючи розміри 4, 6, 7, 10, 14.

030.07 Свердлити отвори під різьбу М6, витримуючи розміри 13, 14, 15.

030.08 Нарізати різьбу М6, витримуючи розміри 13, 14, 15.

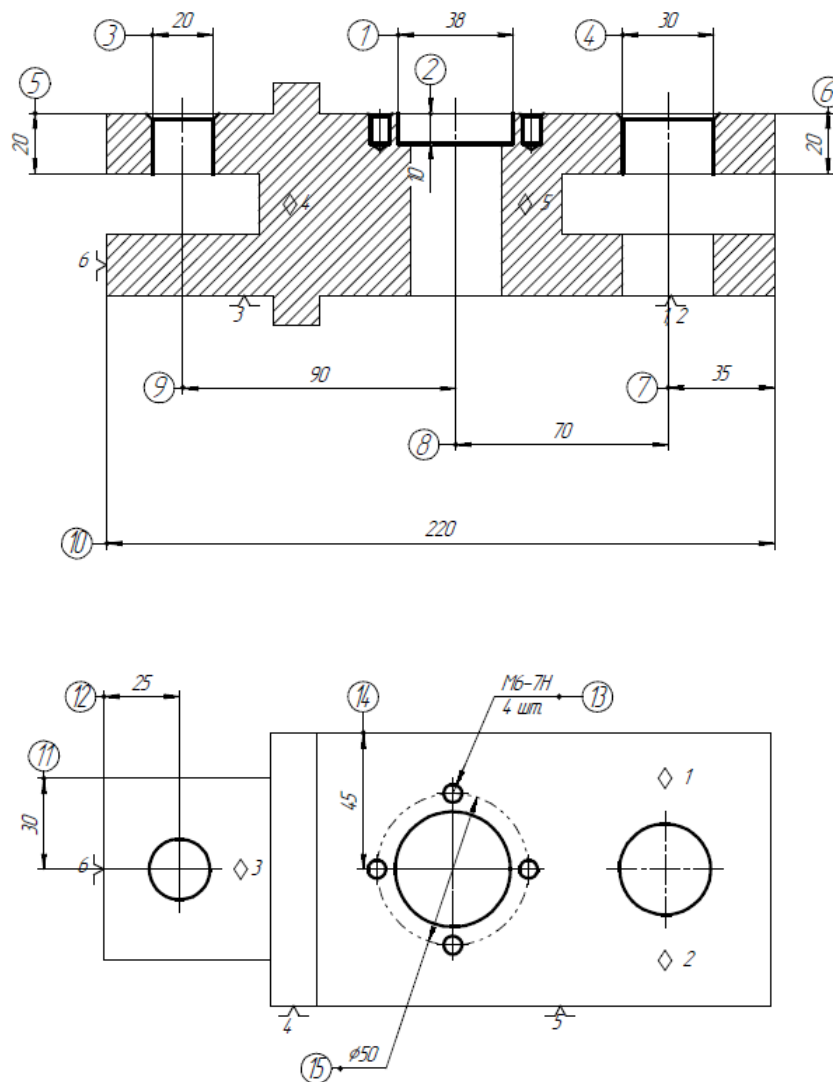


Рис. 2.7.8 Ескіз операції 030

035 Багатоцільова

А. Установити, закріпити, зняти.

035.01 Фрезерувати попередньо отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 9, 10, 11.

035.02 Фрезерувати напівчисто отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 9, 10, 11.

035.03 Фрезерувати начисто отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 9, 10, 11.

035.04 Фрезерувати тонко отвір $\varnothing 38$ мм, витримуючи розміри 1, 2, 9, 10, 11.

035.05 Свердлити отвір $\varnothing 30$ мм, витримуючи розміри 4, 2, 9, 10, 11.

035.06 Свердлити отвір $\varnothing 20$ мм, витримуючи розміри 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13

035.07 Свердлити отвір $\varnothing 30$ мм, витримуючи розміри 5, 7, 10, 11, 15.

035.07 Свердлити отвори під різьбу М6, витримуючи розміри 14, 15, 16.

035.08 Нарізати різьбу М6, витримуючи розміри 14, 15, 16.

035.09 Свердлити отвори під різьбу М6, витримуючи розміри 17, 18, 19, 20.

035.10 Нарізати різьбу М6, витримуючи розміри 17, 18, 19, 20.

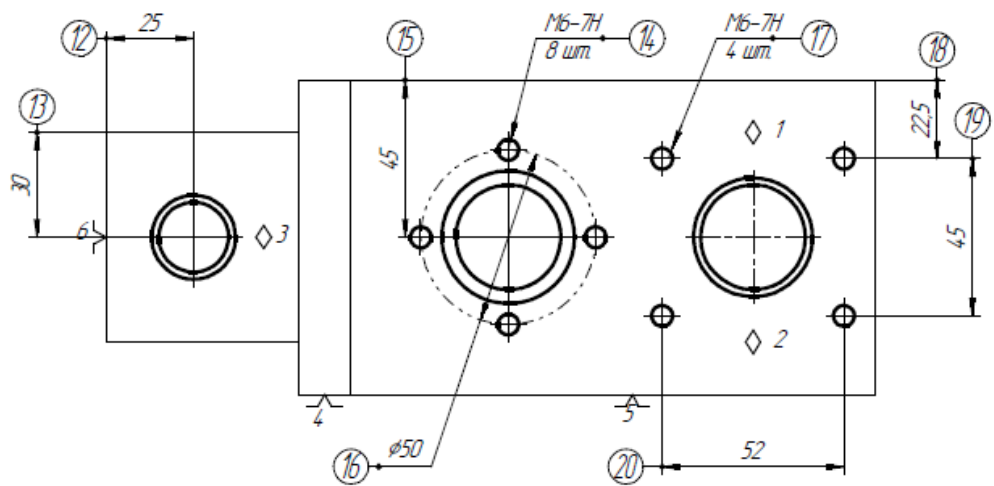
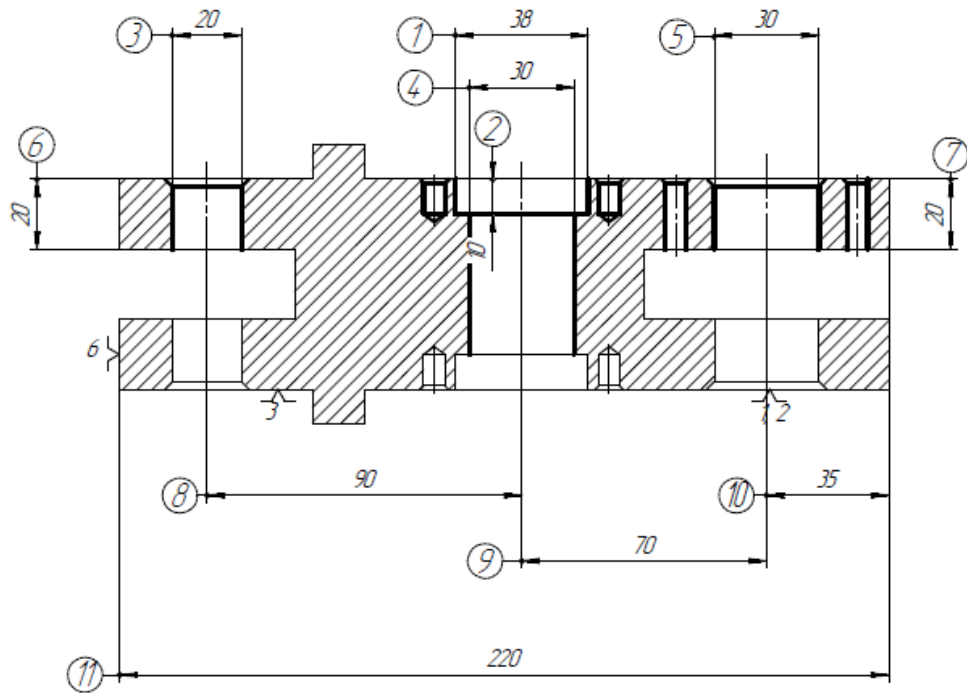


Рис. 2.7.9 Ескіз операції 035

040 Миюча

045 Слюсарна

050 Маркувальна

055 Контрольна

2.8. Вибір верстатів для оброблення деталі



Рис 2.8.1 Фрезерний верстат VF2[12]

Максимальна потужність:	22.4 кВт
Максимальна частота обертання шпинделя	8100 об/хв
Максимальний крутний момент	122 Нм при 2000 об/хв
Розміри стола:	
- довжина	914 мм
- ширина	356 мм
Ходи:	
- по осі X	762 мм
- по осі Y	406 мм
- по осі Z	508 мм
Максимальне зусилля:	
- вздовж осі X	11343 Н
- вздовж осі Y	11343 Н
- вздовж осі Z	18683 Н
Інструментальна карусель: 20-позиційна	
Максимальна маса на столі	1361 кг
Об'єм ЗОР	208 л
Маса	3539 кг

2.9. Визначення припусків для технологічних переходів оброблення поверхонь заготовки.

Визначення величини припусків для обробних поверхонь заготовки вирішує завдання перевірки їх достатності при реалізації запроєктованого технологічного процесу та обґрунтованості їх призначення при проектуванні заготовки. Встановлення граничних, проміжних та номінальних розмірів обробних поверхонь в процесі послідовної реалізації технологічного процесу оброблення необхідно для конструювання верстатних пристроїв, проектування спеціальних різальних та вимірювальних інструментів, штампів, прес-форм, моделей, налагодження металорізальних інструментів та інших технологічних обробляючих систем, а також для розрахунку режимів різання та норм часу на виконання технологічних операцій.

Припуск – це шар матеріалу, який усувають з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні[13].

2.9.1. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом (для оброблення двох відмінних поверхонь заготовки)[19,23]

Визначення обґрунтованої величини припусків для оброблення є важливим техніко-економічним завданням. Встановлення надмірно великих припусків обумовлює непродуктивне використання конструкційного матеріалу, зростання трудомісткості механічного оброблення, підвищення витрат на різальний інструмент, зростання енергетичних витрат, збільшення витрат на оплату праці робітників. Встановлення недостатніх розмірів припусків може не забезпечувати повного видалення дефектних шарів поверхневого шару матеріалу.

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків виконують за ustalеним алгоритмом. За робочим креслеником деталі та технологічною послідовністю механічного оброблення заданої поверхні, необхідно записати в спеціальну розрахункову карту оброблення поверхні заготовки, технологічні переходи в порядку їх реалізації при обробленні та для кожного з них визначити та записати наступні характеристики якості поверхні[19]:

- величину висотного параметру шорсткості поверхні після попереднього оброблення - R_{zi} ;
- глибину дефектного поверхневого шару поверхні після попереднього оброблення - h_i ;
- сумарну похибку просторового розташування поверхні заготовки після попереднього оброблення - $\Delta\Sigma_i$ (ця похибка включає відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності), а також відхилення форми-викривлення поверхні та жолоблення;
- похибку установки заготовки для технологічного переходу, що здійснюється - ε_{yi} ;
- допуск на виконання розміру поверхні, яка оброблюється - Td ;
- визначити мінімальні розрахункові значення припусків для оброблення на кожному технологічному переході.

2.9.1.1. Розрахунок міжопераційних припусків і допусків на обробку отвору Ø30H8

Поверхню одержуємо литвом по моделям що виплавляються на заготівельній операції.

Маршрут обробки містить у собі: розточування чорнове по Н11, розточування чистове по Н9, шліфування по Н7.

Розрахунок виконуємо відповідно до рекомендацій [14].

1. Формула для розрахунку припусків.

Розрахунок мінімальних значень припусків проводимо по формулі:

$$2z_{\min i} = 2\left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2}\right)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – висота нерівностей профілю на попередньому переході,

h_{i-1} – глибина поверхневого дефектного шару на попередньому переході,

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$ – сумарне відхилення розташування поверхні на попередньому переході,

ε_i – похибка установки заготовки.

2. Мінімальні розрахункові припуски:

– чорнове фрезерування:

$$2z_{\min 1} = 2\left(R_{z0} + h_0 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 0}^2 + \varepsilon_1^2}\right),$$

$$2z_{\min 1} = 2\left(200 + 300 + \sqrt{1000^2 + 40^2}\right) = 3002 \text{ мкм},$$

де $R_{z0} = 200$ мкм,

$h_0 = 300$ мкм (т. 7, стор.182[15]),

$\Delta_{\Sigma 0} = 1 \cdot 1000 = 1000$ мкм (т. 8, стор.183[15]),

похибка установки при установці у винтових лещатах $\varepsilon_{y0} = 100$

– $100 \cdot 0,4 = 40$ мкм (т. 15, с. 42[15]);

– напівчистове фрезерування:

$$2z_{\min 1} = 2\left(R_{z1} + h_1 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 1}^2 + \varepsilon_1^2}\right),$$

$$2z_{\min 1} = 2\left(25 + 125 + \sqrt{60^2}\right) = 420 \text{ мкм},$$

де $R_{z1} = 25$ мкм,

$h_1 = 125$ мкм (т. 10, стор.185[15]),

$$\Delta_{\Sigma 1} = \Delta_{\Sigma 0} \cdot K_y$$

$K_y = 0,06$ (т.29, стор.190[15]),

$\Delta_{\Sigma 1} = 1000 \cdot 0,06 = 60$ мкм (т. 8, стор.183[15]),

$\varepsilon_{y1} = 0$, (без переустановки);

– чистове фрезерування:

$$2z_{\min 2} = 2\left(R_{z2} + h_2 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 2}^2 + \varepsilon_2^2}\right),$$

$$2z_{\min 2} = 2(20 + 20 + 3) = 86 \text{ мкм},$$

де $R_{z2} = 20$ мкм, $h_2 = 20$ мкм (т. 10, стор.185[15]),

$$\Delta_{\Sigma 2} = \Delta_{\Sigma 1} \cdot K_y,$$

$K_y = 0,05$ (т.29, стор.190[1]),

$\Delta_{\Sigma 2} = 60 \cdot 0,05 = 3$ мкм,

$\varepsilon_{y2} = 0$, (без переустановки);

– тонке фрезерування:

$$2z_{\min 1} = 2 \left(R_{z0} + h_0 + \sqrt{\Delta_{\Sigma 0}^2 + \varepsilon_1^2} \right),$$

$$2z_{\min 1} = 2(5 + 5 + 0,12) = 20,24 \text{ мкм},$$

де $Rz_3 = 5 \text{ мкм}$, $h_3 = 5 \text{ мкм}$ (т. 10, стор.185[15]),

$$\Delta_{\Sigma 3} = \Delta_{\Sigma 2} \cdot K_y,$$

$$K_y = 0,04 \text{ (т.29, стор.190[15])},$$

$$\Delta_{\Sigma 3} = 3 \cdot 0,04 = 0,12 \text{ мкм},$$

$\varepsilon_{y3} = 0$, (без переустановки);

3. Технологічні допуски:

$$T_{\text{заг}} = 0,62 \text{ мм (по кресленню заготовки)},$$

$$T_{\text{чорн}} = 0,39 \text{ мм (13 квал.)},$$

$$T_{\text{півчист}} = 0,25 \text{ мм (12 квал.)},$$

$$T_{\text{чист}} = 0,1 \text{ мм (10 квал.)},$$

$$T_{\text{тонк}} = 0,039 \text{ мм (8 квал.)}.$$

4. Найбільші граничні розміри :

$$D_{\text{мах тонк}} = D_{\text{ном}} + ES = 30 + 0,039 = 30,039 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах чист}} = D_{\text{мах тонк}} - 2z_{\min \text{ тонк}} = 30,035 - 0,024 = 30,011 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах півчист}} = D_{\text{мах чист}} - 2z_{\min \text{ чист}} = 30,011 - 0,086 = 29,925 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах чорн}} = D_{\text{мах півчист}} - 2z_{\min \text{ півчист}} = 29,925 - 0,42 = 29,505 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах заг}} = D_{\text{мах чорн}} - 2z_{\min \text{ чорн}} = 29,505 - 3,002 = 26,503 \text{ мм}.$$

5. Округлені значення розмірів:

$$D_{\text{мах тонк}} = 30,04 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах чист}} = 30,01 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах півчист}} = 29,93 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах чорн}} = 29,51 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мах заг}} = 26,5 \text{ мм}.$$

6. Найменші значення міжопераційних розмірів:

$$D_{\text{мин тонк}} = D_{\text{мах тонк}} - T_{\text{тонк}} = 30,04 - 0,039 = 30,001 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мин чист}} = D_{\text{мак чист}} - T_{\text{чист}} = 30,01 - 0,1 = 29,91 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мин півчист}} = D_{\text{мак півчист}} - T_{\text{півчист}} = 29,93 - 0,25 = 29,68 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мин чорн}} = D_{\text{мак чорн}} - T_{\text{чорн}} = 29,51 - 0,39 = 29,12 \text{ мм},$$

$$D_{\text{мин заг}} = D_{\text{мак заг}} - T_{\text{заг}} = 26,5 - 0,62 = 25,88 \text{ мм}.$$

7. Максимальні розміри припусків:

$$2z_{\text{мак чорн}} = D_{\text{мин чорн}} - D_{\text{мин заг}} = 29,12 - 25,88 = 3,24 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мак півчист}} = D_{\text{мин півчист}} - D_{\text{мин чорн}} = 29,68 - 29,12 = 0,56 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мак чист}} = D_{\text{мин чист}} - D_{\text{мин чорн}} = 29,91 - 29,68 = 0,23 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мак тонк}} = D_{\text{мин тонк}} - D_{\text{мин тонк}} = 30,001 - 29,91 = 0,091 \text{ мм}.$$

8. Мінімальні розміри припусків:

$$2z_{\text{мін чорн}} = D_{\text{мак чорн}} - D_{\text{мак заг}} = 29,51 - 26,5 = 3,01 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мін півчист}} = D_{\text{мак півчист}} - D_{\text{мак чорн}} = 29,93 - 29,51 = 0,42 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мін чист}} = D_{\text{мак чист}} - D_{\text{мак чорн}} = 30,01 - 29,93 = 0,08 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мін шліф}} = D_{\text{мак шліф}} - D_{\text{мак чист}} = 30,04 - 30,01 = 0,03 \text{ мм}.$$

9. Сумарні розміри припусків:

$$2z_{\text{мін } \Sigma} = 3,01 + 0,42 + 0,08 + 0,03 = 3,54 \text{ мм},$$

$$2z_{\text{мак } \Sigma} = 3,24 + 0,56 + 0,23 + 0,091 = 4,121 \text{ мм}.$$

Результати розрахунку подані в таблиці 2.9.1

оброблення для забезпечення заданої якості деталі		Чистова	Чистова.	Чистова	Чистова.	Чистова	
Загальний припуск на сторону, мм	2.9	4.8	5.0	5.0	5.0	5.6	3.4

продовження табл. 2.9.2

Параметри	50	70	55	90	220
Допуск на розмір вилівка, мм	4.0 (± 2.0)	4.4 (± 2.2)	4.0 (± 2.0)	5.0 (± 2.5)	5.6 (± 2.8)
Вид механічного оброблення для забезпечення точності розмірів деталі	Однораз.	Однораз.	Однораз.	Однораз.	Однораз.
Вид механічного оброблення для забезпечення заданої шорсткості поверхні	Однораз.	Однораз.	Однораз.	Однораз.	Однораз.
Остаточне оброблення для забезпечення заданої якості деталі	Однораз.	Однораз.	Однораз.	Однораз.	Однораз.
Загальний припуск на сторону, мм	3.0	3.4	3.0	3.6	4.3

2.10. Визначення режимів різання.

2.10.1. Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом.

2.10.1.1. Вхідні дані

Таблиця 2.10.1. Вхідні дані до розрахунку режимів різання

Метод отримання заготовки	ЛИТВО
Матеріал заготовки	СЧ25
Припуски на оброблення поверхонь по переходах, мм:	
- чорнове	3.24
- напівчистове	0.56
- чистове	0.23
- тонке	0.091
Інструмент	кінцева фреза
Матеріал інструмента	P6M5 (аналог)
Діаметр d, мм	11
Геометричні параметри різальної частини різця:	
- кут нахилу головної різальної кромки ω	10°

Чорнове фрезерування

1. Вибір ширини фрезерування.

Оптимальне емпіричне значення ширини фрезерування при обробленні кінцевою фрезою – п'ята частина діаметра фрези. Приймаємо: $B = 2$ мм.

2. Розрахунок сили різання.

2.1. Сила різання $[P_z]_{\text{мп}}$, що допускається механізмом подач верстата:

$$[P_z]_{\text{мп}} = 2 * [P_{\text{axial}}]_z = 2 * 18683 = 37366 \text{ Н}$$

де $[P_{\text{axial}}]_z$ – максимальне зусилля вздовж осі Z (див. табл. 1.8.1).

2.2. Сила різання $[P_z]_{\text{ін}}$, що допускається інструментом:

$$[P_z]_{\text{ін}} = \frac{10 * C_p * t^x * S_z^y * B^u * z}{d^q * n_{\text{ш}}^v} * K_{\text{мп}}$$

де $C_p = 54,5$; $x = 0.5$; $y = 0.2$; $u = 0.3$; $q = 0.7$; $v = -0.3$ – параметри для оброблення кінцевою фрезою з швидкорізальної сталі [15];

$z = 4$ – число зубів фрези;

$n_{\text{ш}} = 4470$ об/хв – попередньо прийнята частота обертання шпинделя;

$S_z = 0.07$ мм – подача на зуб, визначена за каталогом SandvikCoromant для оброблення сірого чавуну кінцевою фрезою з швидкорізальної сталі;

$K_{\text{мп}} = 1.3$ для сірого чавуну.

$$[P_z]_{\text{ін}} = \frac{10 * 72 * 3.24^{0.5} * 0.07^{0.2} * 2^{0.3} * 4}{11^{0.7} * 4470^{-0.3}} = 6050 \text{ Н}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$P_z = 6050 \text{ Н}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання

Швидкість різання при фрезеруванні визначається за формулою [15]:

$$V = \frac{C_v d^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p}$$

де $C_v = 72$; $m = 0.25$; $p = 0.3$ – параметри для оброблення кінцевою фрезою з швидкорізальної сталі [17];

$T = 80$ хв – нормативний період стійкості фрези.

$$K_v = K_{Tv} * K_{Mv} * K_{iv} * K_{Пv}$$

де $K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB}\right)^{n_v} = \left(\frac{190}{250}\right)^1 = 0.76$ (табл. 2.1 [16]);

$K_{Tv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента;
(табл. 2.7 [17]);

$K_{Пv} = 0.8$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки сплаву
(табл. 2.5 [17]);

$K_{iv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу (швидкорізальна сталь) на швидкість різання (табл. 2.6 [15]).

$$K_v = 1 * 0.76 * 1 * 0.8 = 0.61$$

$$V = \frac{72 * 11^{0.7}}{80^{0.25} * 3.24^{0.5} * 0.07^{0.2} * 2^{0.3} * 4^{0.3}} = 65 \text{ м/хв}$$

Швидкість різання за класичною формулою:

$$V = \frac{\pi * d * n}{1000} = \frac{3.14 * 11 * 4470}{1000} = 154 \text{ м/хв}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$V = 65 \text{ м/хв}$$

В силу того, що чорнове оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час чорнового оброблення становить:

$$T_0 = \frac{L}{S * z * n} = \frac{577}{0,07 * 4 * 4470} = 0.46 \text{ хв} = 46 \text{ с}$$

де $L = 577$ мм – довжина робочої траєкторії фрези

Напівчистове фрезерування

1. Вибір ширини фрезерування.

Оскільки інструмент не змінився, то $B = 2$ мм.

2. Розрахунок сили різання.

2.1. Сила різання $[P_z]_{ін}$, що допускається інструментом:

$$[P_z]_{ін} = \frac{10 * 72 * 0.56^{0.5} * 0.06^{0.2} * 2^{0.3} * 4}{11^{0.7} * 4470^{-0.3}} = 3511 \text{ Н}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$P_z = 3511 \text{ Н}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання

Швидкість різання при фрезеруванні визначається за формулою [15]:

$$V = \frac{72 * 11^{0.7}}{80^{0.25} * 0.56^{0.5} * 0.06^{0.2} * 2^{0.3} * 4^{0.3}} = 810 \text{ м/хв}$$

Швидкість різання за класичною формулою:

$$V = \frac{\pi * d * n}{1000} = \frac{3.14 * 11 * 4470}{1000} = 154 \text{ м/хв}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$V = 154 \text{ м/хв}$$

В силу того, що чистова оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час напівчистового оброблення становить:

$$T_0 = \frac{L}{S * z * n} = \frac{577}{0,06 * 4 * 4470} = 0.54 \text{ хв} = 54 \text{ с}$$

Чистове фрезерування

1. Вибір ширини фрезерування.

Оскільки інструмент не змінився, то $B = 2 \text{ мм}$.

2. Розрахунок сили різання.

2.1. Сила різання $[P_z]_{\text{ін}}$, що допускається інструментом:

$$[P_z]_{\text{ін}} = \frac{10 * 72 * 0.23^{0.5} * 0.15^{0.2} * 2^{0.3} * 4}{11^{0.7} * 8100^{-0.3}} = 3231 \text{ Н}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$P_z = 3231 \text{ Н}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання

Швидкість різання при фрезеруванні визначається за формулою [15]:

$$V = \frac{72 * 11^{0.7}}{80^{0.25} * 0.23^{0.5} * 0.15^{0.2} * 2^{0.3} * 4^{0.3}} = 1053 \text{ м/хв}$$

Швидкість різання за класичною формулою:

$$V = \frac{\pi * d * n}{1000} = \frac{3.14 * 11 * 8100}{1000} = 280 \text{ м/хв}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$V = 280 \text{ м/хв}$$

В силу того, що чистова оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час чистового оброблення становить:

$$T_o = \frac{L}{S * z * n} = \frac{577}{0.15 * 4 * 8100} = 0.12 \text{ хв} = 12 \text{ с}$$

Тонке фрезерування

1. Вибір ширини фрезерування.

Оскільки інструмент не змінився, то $B = 2 \text{ мм}$.

2. Розрахунок сили різання.

2.1. Сила різання $[P_z]_{\text{ін}}$, що допускається інструментом:

$$[P_z]_{\text{ін}} = \frac{10 * 72 * 0.091^{0.5} * 0.15^{0.2} * 2^{0.3} * 4}{11^{0.7} * 8100^{-0.3}} = 2032 \text{ Н}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$P_z = 2032 \text{ Н}$$

3. Розрахунок допустимої швидкості різання

Швидкість різання при фрезеруванні визначається за формулою [15]:

$$V = \frac{72 * 11^{0.7}}{80^{0.25} * 0.091^{0.5} * 0.15^{0.2} * 2^{0.3} * 4^{0.3}} = 1674 \text{ м/хв}$$

Швидкість різання за класичною формулою:

$$V = \frac{\pi * d * n}{1000} = \frac{3.14 * 11 * 8100}{1000} = 280 \text{ м/хв}$$

З двох знайдених значень обирається найменше. Остаточо маємо:

$$V = 280 \text{ м/хв}$$

В силу того, що чистова оброблення здійснюється за один робочий хід, основний час тонкого оброблення становить:

$$T_o = \frac{L}{S * z * n} = \frac{577}{0.15 * 4 * 8100} = 0.12 \text{ хв} = 12 \text{ с}$$

2.10.2. Визначення режимів різання аналоговими методами.

При визначенні режимів різання аналоговим методом керуватимемося калькулятором Sandvik Coromant[18]. Отримані дані зведемо в таблиці.

Таблиця 10.2.1. Параметри режимів різання на операції 005. Установ А

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування торця одноразове	Торцева фреза 345-063Q22-13НХ з пластинами 345R-1305M-КМ 3220	244	3	0.297	1110	0:09
2	Фрезерування торця одноразове		244	3	0.297	1110	0:06

Таблиця 10.2.2. Параметри режимів різання на операції 005. Установ Б

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування торця одноразове	Торцева фреза 345-063Q22-13НХ з пластинами 345R-1305M-КМ 3220	244	3	0.297	1110	0:09
2	Фрезерування торця одноразове		244	3	0.297	1110	0:06

Таблиця 10.2.3. Параметри режимів різання на операції 010. Установ А

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування торця одноразове	Торцева фреза R365-063C6-S15M з пластинами R365-1505ZNE-KL K20D	245	5.6	0.221	1190	0:18
2	Фрезерування торця одноразове	Торцева фреза 345-063Q22-13Н з пластинами 345R-1305M-КН 3220	278	5.6	0.411	1110	0:06

Таблиця 10.2.4. Параметри режимів різання на операції 010. Установ Б

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування торця одноразове	Торцева фреза R365-063C6-S15M з пластинами R365-1505ZNE-KL K20D	245	5.6	0.221	1190	0:18
2	Фрезерування торця одноразове	Торцева фреза 345-063Q22-13H з пластинами 345R-1305M-KH 3220	278	5.6	0.411	1110	0:06

Таблиця 10.2.5. Параметри режимів різання на операції 015

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування торця чорнове	Торцева фреза R300-32EH25-12M з пластинами R300-1240E-KM 3330	265	4.6	0.185	2660	0:02
2	Фрезерування торця чистове		259	0.4	0.329	3400	0:02
3	Фрезерування торця чорнове		265	4.6	0.185	2660	0:02
4	Фрезерування торця чистове		259	0.4	0.329	3400	0:02

Таблиця 10.2.6. Параметри режимів різання на операції 020

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування торця чорнове	Торцева фреза R300-32EH25-12M з пластинами R300-1240E-KM 3330	265	4.6	0.185	2660	0:03
2	Фрезерування торця чистове		259	0.4	0.329	3400	0:03
3	Фрезерування торця чорнове		265	4.6	0.185	2660	0:03
4	Фрезерування торця чистове		259	0.4	0.329	3400	0:03

Таблиця 10.2.7. Параметри режимів різання на операції 025

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування паза чорнове	Дискова фреза N331.32С-125S40LM з пластинами N331.1А-115008Е-М30 3040	280	3.1	0.386	1110	0:11
2	Фрезерування паза напівчистове		281	0.3	0.796	2280	0:10
3	Фрезерування паза чорнове		280	3.1	0.386	1110	0:10
4	Фрезерування паза напівчистове		281	0.3	0.796	2280	0:06

Таблиця 10.2.8. Параметри режимів різання на операції 030

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування отвору чорнове	Кінцева фреза 2S342-1111-038-РА	156	3.1	0.07	4470	0:05
2	Фрезерування отвору напівчистове		161	0.3	0.06	4610	0:05
3	Фрезерування отвору чистове		343	3.1	0.147	8100	0:04
4	Фрезерування отвору тонке		343	0.3	0.15	8100	0:04
5	Свердління отвору	Свердло 870-2000-20LX1-3 з пластиною 870-2000-20-КМ 3334	130	20	0.385	2070	0:02
6	Свердління отвору	Свердло 870-3000-30LX125-8 з пластиною 870-3000-30-GR 4334	117	4.8	0.348	955	0:04
7	Свердління отворів х4	Свердло 860.1-0600-016A1-GM X1BM	111	10	0.15	5890	0:04
8	Нарізання різьби х4	Мітчик Т100-КМ106АА-М6 D210	56.8	-	1	3010	0:06

Таблиця 10.2.9. Параметри режимів різання на операції 035

№	Оброблення	Інструмент	V, м/хв	h, мм	S, мм/об	n, об/хв	T, хв
1	Фрезерування отвору чорнове	Кінцева фреза 2S342-1111-038-PA	156	3.1	0.07	4470	0:05
2	Фрезерування отвору напівчистове		161	0.3	0.06	4610	0:05
3	Фрезерування отвору чистове		343	3.1	0.147	8100	0:04
4	Фрезерування отвору тонке		343	0.3	0.15	8100	0:04
5	Свердління отвору	Свердло BR20D-36CC06F-C3L з пластиною CCMT 06 02 08-KR 3210	144	1.5	0.38	1530	0:07
6	Свердління отвору	Свердло 870-2000-20LX1-3 з пластиною 870-2000-20-КМ 3334	130	20	0.385	2070	0:02
7	Свердління отвору	Свердло 870-3000-30LX125-8 з пластиною 870-3000-30-GP 4334	117	4.8	0.348	955	0:04
8	Свердління отворів х4	Свердло 860.1-0600-016A1-GM X1BM	111	10	0.15	5890	0:04
9	Нарізання різьби х4	Мітчик T100-КМ106АА-М6 D210	56.8	-	1	3010	0:06
10	Свердління отворів х4	Свердло 860.1-0600-031A1-GM X1BM	111	20	0.15	5890	0:06
11	Нарізання різьби х4	Мітчик T100-КМ102АА-М6 D210	35	-	1	1860	0:10

2.11. Керуюча програма ЧПК для операції 030.

Розробка G-коду та симуляція траєкторії руху інструментів розроблялись за допомогою програмного забезпечення CIMCO Edit 8.10.07 та змодельовані в КОМПАС-3D v18.

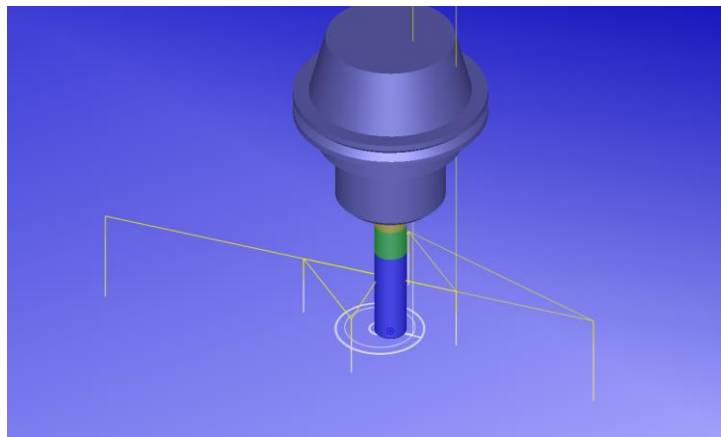
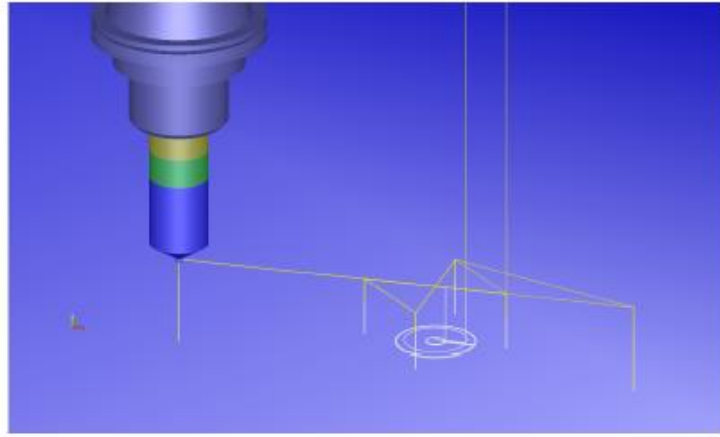


Рисунок 2.11.1. Симуляція траєкторії руху в SIMCO Edit 8.10.07

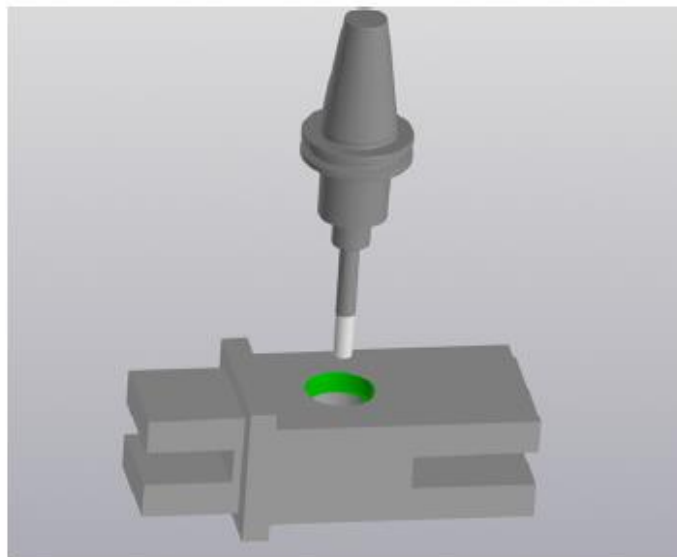


Рисунок 2.11.2. Модель операцій: 030.01 Фрезерування чорнове; 030.02 Фрезерування напівчистове; 030.03 Фрезерування чистове; 030.04 Фрезерування тонке. КОМПАС-3D v18.

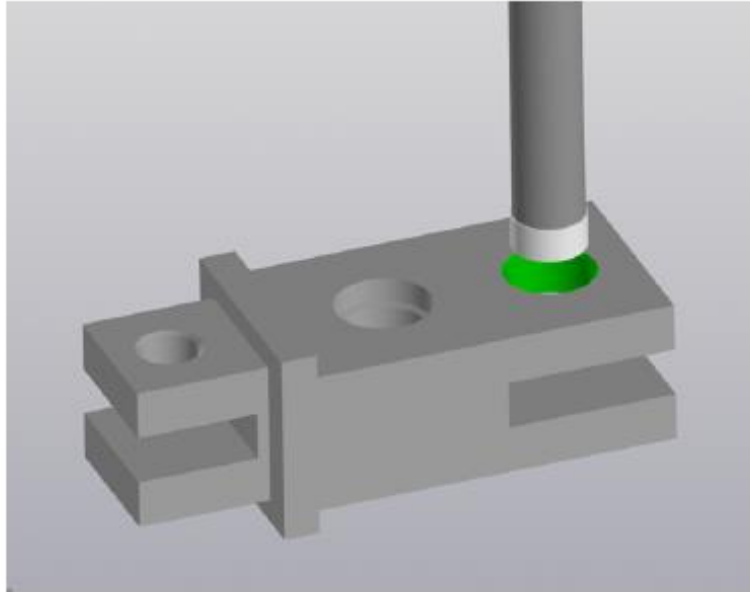


Рисунок 2.11.3. Модель операції 025.05 Свердління отвору

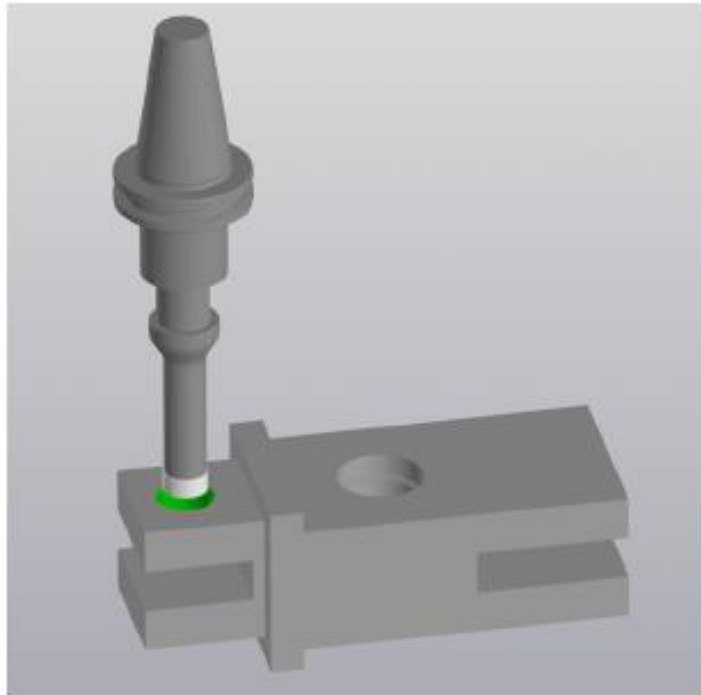


Рисунок 2.11.4. Модель операції 025.06 Свердління отвору

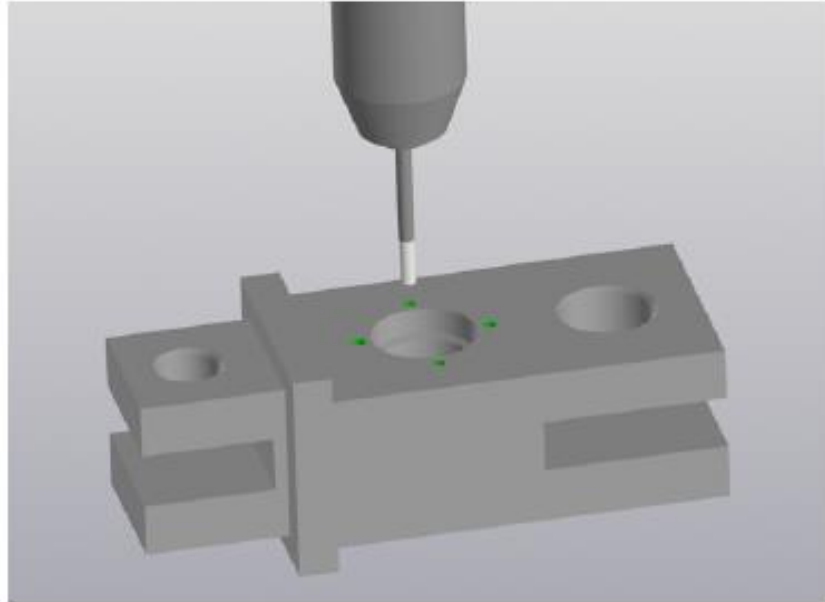


Рисунок 2.11.5. Модель операції 025.07 Свердління отворів

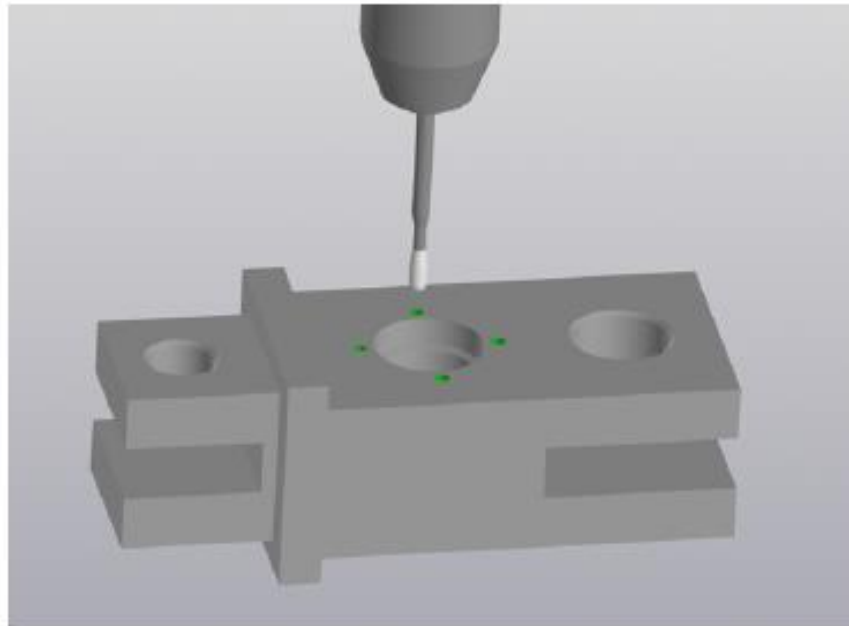


Рисунок 2.11.6. Модель операції 025.08 Нарізання різьб

Код керуючої програми:

```
%  
O00030  
G90 G54  
G17 G21 G94  
G40 G49 G80
```

T01 M06 (030.01 - 030.04)

S6100 M03

G43 H02

G00 X125.82 Y45.

G00 Z10. M08

G01 Z5. F1500.

G01 Z-9.474 F2250.

G02 X125.82 Y45. I-10.8245 J0. F4470.

G01 X115.47 F2250.

G02 X115.47 Y45. I-0.4735 J0. F4470.

G01 X128.4 Z-9.894 F2310.

G02 X128.4 Y45. I-13.4045 J0. F4610.

G01 X118.05 F2250.

G02 X118.05 Y45. I-3.0535 J0. F4610.

G01 X128.74 Z-9.98 F4100.

G02 X128.74 Y45. I-13.7385 J0. F8100.

G01 X118.39 F4100.

G02 X118.39 Y45. I-3.3875 J0. F8100.

G01 X128.8 Z-10 F4100.

G02 X128.8 Y45. I-13.8045 J0. F8100.

G01 X118.45 F4100.

G02 X118.45 Y45. I-3.4535 J0. F8100.

G01 Z10. F750. M09

M05

T02 M06 (030.05)

S6100 M03

G43 H01

G00 Z10. M08

G81 X25. Y45. R2. Z-20. F450.

G80 G00 Z10. M09

M05

T03 M06 (030.06)

S8000 M04

G43 H05

G00 Z10. M08

G81 X185. Y45. R2. Z-20. F150.

G80 G00 Z10.

M05

T04 M06 (030.07)

S8000 M03

G43 H03

G00 Z10. M08

G81 X115. Y70. R2. Z-10. F150.

Y20.

X90. Y45.

X140.

G80 G00 Z10. M09

M05

T05 M06 (030.08)

S8000 M03

G43 H04

G00 Z10. M08

G84 X115. Y70. R2. Z-10. F3000.

Y20.

X90. Y45.

X140.

G80 G00 Z10. M09

M09

G91 G28 Z0.

M05

M30

%

2.12. Нормування технологічних операцій.

2.12.1. Розрахунок поштучного часу для операції 005.

Користуватимемо методиками, викладеними в [19].

Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК при роботі на одному верстатові $T_{шт.к}$ складається з норми підготовчо-заключного часу $T_{пз}$ та норми штучного часу $T_{шт}$:

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}$$

де n – розмір партії деталей, що визначається за формулою:

$$n = \frac{N * t}{F}$$

де $N = 500$ шт – обсяг випуску;

t – кількість днів, на який буде розраховано запас деталей (візьмемо 15 днів);

$F = 250$ – середня кількість робочих днів у році.

$$n = \frac{500 * 15}{250} = 30 \text{ шт}$$

Формула норми штучного часу має вигляд (с. 278 [19]):

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{потр}$$

де T_o – основний час витрачений на оброблення деталі на операції 005, хв. Він являється собою сумарним часом оброблення на даній операції:

$$T_o = \sum T_{oi} = 30 \text{ хв}$$

Норма допоміжного часу T_v є нормою часу на здійснення дій, які дають можливість виконати основну роботу, наприклад: установлення, переустановки, зняття виробу, увімкнення та вимкнення верстата, неробочі рухи інструменту, зміна інструменту на інший або зміна позиції поточного інструменту. На цій операції T_v визначимо за формулою:

$$T_v = T_{mv} + T_{vy}$$

де T_{MB} – допоміжний час, пов'язаний з виконанням холостих і допоміжних ходів і переміщень при обробленні поверхонь, для операції 005
 $T_{MB} = 4.2$ хв.

T_{BY} – час на установлення та зняття заготовки, вмикання-вимикання верстата приймаємо $T_{BY} = 3$ хв..

Маємо:

$$T_B = 4.2 + 3 = 7.2 \text{ хв.}$$

В серійному виробництві час на обслуговування робочого місця сумується з часом на відпочинок і особисті потреби робітника (оператора верстата) та розраховується у відсотках від штучного часу, таким чином формула норми штучного часу остаточно приймає вигляд (с. 278 [19]):

$$T_{шт} = (T_o + T_B) \left(1 + \frac{K}{100}\right)$$

де згідно з [3] приймаємо $K = 5.5$

Маємо:

$$T_{шт} = (30 + 7.2) * \left(1 + \frac{5.5}{100}\right) = 39.246 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час $T_{пз}$ нормується на партію деталей. Його частина, що припадає на одну деталь, включається до норми штучно-калькуляційного часу.

$$T_{пз} = T_{пз.орг} + T_{пз.настр} + T_{пз.обр}$$

де $T_{пз.орг} = 15$ хв. – час на організаційну підготовку;

$T_{пз.настр} = 18$ хв. – час на налагодження програм верстата, ріжучого інструменту, пристроя подачі прутків;

$T_{пз.обр}$ – час на оброблення пробної деталі; прийmemo норму часу в півтора раза більшу:

$$T_{пз} = T_{пз.орг} + T_{пз.настр} + 1.5T_{шт} = 30 + 1.5 * 39.246 = 88.869 \text{ хв.}$$

Остаточно маємо:

$$T_{шт.к} = 39.246 + \frac{88.869}{30} = 48.2 \text{ хв}$$

2.12.2. Нормування технологічних операцій аналоговим методом

Розрахунки для решти операцій проводимо аналоговим методом. Зводимо результати до таблиці 1.11.1.

Таблиця 2.11.1. Нормування операцій

№	T _о	T _в		К	T _{шт}	T _{пз}			T _{шт.к}
		T _{мв}	T _{ву}			T _{пз.орг}	T _{пз.настр}	T _{пз.обр}	
005	30	2,8	3	5,5	39,246	15	18	56,6	40,7
010	48	2,8	3	4	61,152	10	8	83,9	59,3
015	8	2,8	3	4	19,552	10	6	21,5	15,6
020	12	2,0	3	3	24,792	10	4	26,2	18,8
025	38	4,4	3	3	51,912	10	6	70,1	49,6
030	34	8,4	3	4	52	20	8	70,2	50
035	57	8,4	3	4	76,336	20	8	106,7	75,6

3. Проектування верстатних пристроїв.

3.1. Розроблення і розрахунок конструкцій верстатних пристроїв.

3.1.1. Вихідні дані для розроблення конструкцій верстатних пристроїв.

Для забезпечення базування деталі на операції 005 будемо використовувати стандартні лещата станочні.

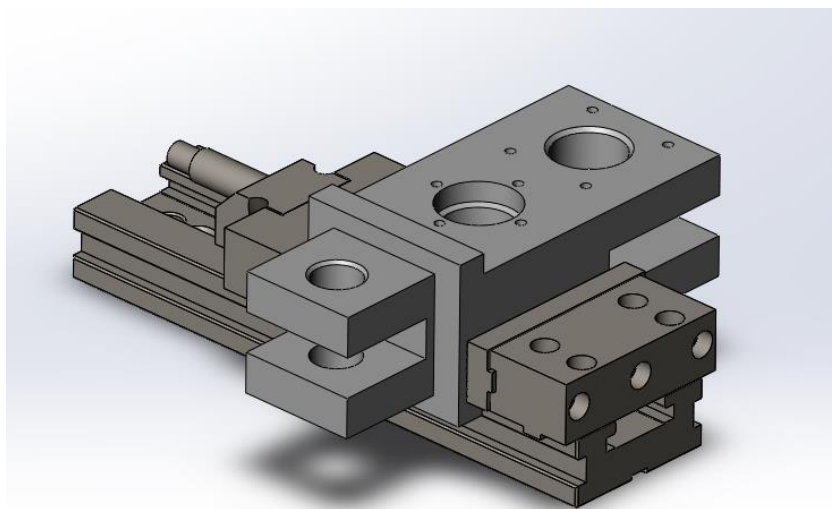


Рисунок 3.1.1. Верстатний пристрій

Сила затиску заготовки повинна бути більша ніж максимальна сила різання

3.1.2. Послідовність розроблення конструкції пристрою.

Для розроблення конструкції пристроїв потрібно проаналізувати можливі варіанти установки заготовки в пристрій і вибрати, який якнайкраще підходить для заданої деталі. Також важливою складовою при розробленні конструкції пристрою є розрахунок сили закріплення, розроблення схеми сил і моментів, які діють на заготовку під час оброблення, розроблення схеми затискного механізму, розроблення ескізу загального виду, а також розрахунок пристрою на точність, на міцність.

3.2. Теоретичні та методологічні основи проектування верстатних пристроїв.

3.2.1. Розрахунок похибок базування.

Похибку базування при установці в лещатах знаходимо згідно [14], том 1, (табл.18) . $\Delta \epsilon_6=0$. Так як співпадають вимірювальна та технологічна бази.

Точність базування забезпечується.

3.3. Розрахунок затискних систем верстатних пристроїв.

3.3.1. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки .

Методика розрахунку наведена в джерелі [14].

Зсуву заготовки під дією сили різання перешкоджають сили тертя, що виникають у місцях контактів заготовки з опорами та затискним механізмом

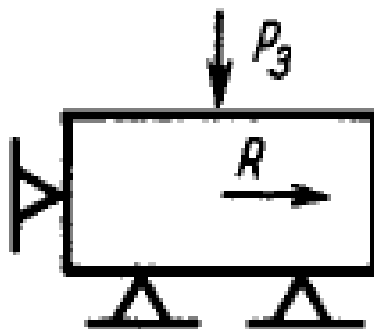


Рис. 3.3.1. Розрахункова схема

Розрахункова формула:

$$P_3 = \frac{KR}{f_1 + f_2},$$

де R – сила різання;

K – коефіцієнт запасу;

f_1, f_2 – коефіцієнти тертя відповідно в місцях контакту заготовки з опорами и з затискним механізмом.

Найбільша сила різання при чорновому точінні торця (операція 010.01)

$$R = 2.32 \text{ кН}$$

$f_1 = 0.16$ $f_2 = 0.16$ – заготовка контактує з опорами та затискним механізмом обробленими поверхнями. (табл.10 [14])

Коефіцієнт запасу K розраховується наступним чином:

$$K = K_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6$$

$K_0 = 1.5$ – коефіцієнт гарантованого запасу.

$K_1 = 1$ – враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на поверхнях, що обробляються при чистовій обробці.

$K_2 = 1.2$ – коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту.

$K_3 = 1.2$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні.

$K_4 = 1.3$ – коефіцієнт, що характеризує постійність закріплення в ЗМ.

$K_5 = 1$ – коефіцієнт, що характеризує ергономіку ручних ЗМ.

$K_6 = 1$ – при установці на штирі.

$$K = 1.5 * 1 * 1.2 * 1.2 * 1.3 * 1 * 1 = 2.8$$

Тоді сила затиску буде дорівнювати:

$$P_3 = \frac{KR}{f_1 + f_2} = \frac{2.8 * 2.32}{0.16 + 0.16} = 20.3 \text{ кН}$$

3.3.2. Розрахунок силових механізмів пристроїв.

На сайтах [20] підбираємо лещата. Лещата QM16160 (NR-C) можуть забезпечити силу затиску 29 кН Для заданої операції необхідна сила затиску $20.3 \text{ кН} < 29 \text{ кН}$.

4. Економічний розділ

4.1. Заготівельні роботи

Таблиця 4.1. Розрахунок вартості заготівельних робіт

Середня вартість литва, €/кг	130
Маса заготовки, кг	6.3
Річний обсяг виробництва, шт	500
Коефіцієнт, що враховує виготовлення металевих форм	1.6
Вартість однієї заготовки, €	1310.4
Всього, €	655200

4.2. Різальний інструмент та верстатний пристрій.

Таблиця 4.2.1. Розрахунок вартості різальних інструментів

Назва	К-ть	Вартість євро	Загальна вартість грн.
Торцева фреза 345-063Q22-13HX	1	628	19468
Пластина 345R-1305M-КМ 3220	7	18	3906
Торцева фреза R365-063C6-S15M	1	565	17515
Пластина R365-1505ZNE-KL K20D	4	21.6	2678.4
Торцева фреза 345-063Q22-13H	1	589	18259
Пластина 345R-1305M-КН 3220	6	18	3348
Торцева фреза R300-32EH25-12M	1	560	17360
Пластина R300-1240E-КМ 3330	4	18	2232
Дискова фреза N331.32C-125S40LM	1	1368	42408
Пластина N331.1A-115008E-M30 3040	8	18	4464
Кінцева фреза 2S342-1111-038-PA	1	131	4061
Свердло BR20D-36CC06F-C3L	1	3422	106082
Пластина CCMT 06 02 08-KR 3210	2	8.44	523.28
Свердло 870-2000-20LX1-3	1	347	10757
Пластина 870-2000-20-КМ 3334	1	107	3317
Свердло 870-3000-30LX125-8	1	741	22971

Пластина 870-2000-20-КМ 3334	1	107	3317
Свердло 860.1-0600-016A1-GM X1BM	1	97.7	3028.7
Мітчик T100-КМ106AA-M6 D210	1	54.5	1689.5
Мітчик T100-КМ102AA-M6 D210	1	40.40	1252.4
Всього		9310.88	288637.28

Таблиця 4.2.2. Розрахунок вартості оснастки

Назва	К-ть	Вартість грн
Лещата QM16160 (NR-C)	1	9688

4.3. Відходи виробництва

Таблиця 4.3. Розрахунок вартості відходів виробництва (стружки)

Середня вартість стружки алюмінієвих сплавів, грн/кг	7.5
Маса заготовки, кг	8.2
Маса деталі, кг	6.3
Маса стружки, кг	1.9
Маса стружки з річного обсягу виробництва, кг	950
Всього, ₴	7125

4.4. Оплата праці персоналу

В Україні за даними сайту govota.ua середня місячна з/п оператора верстата ЧПК становить приблизно 18000 ₴. Для виробництва деталі «Важіль відкривний», буде достатньо одного робітника.

Таблиця 4.4. Розрахунок оплати праці

Робочих годин за місяць	150
Погодинна оплата праці робітника, грн	120
Норма часу на всі операції, год (див. табл. 2.11.1)	5.15
Заробітна плата робітника для виготовлення однієї деталі, грн	618
Всього, ₴	370800

Єдиний соціальний внесок становить 22% від заробітної плати працівників:
 $370800 * 0.22 = 81576$ грн.

4.5. Амортизація та інші розходи

Таблиця 4.5. Розрахунок амортизації та інших розходів

Термін використання верстатів, років	15
Первісна вартість фрезерного HAAS VF-2, грн	1550000
Ліквідаційна вартість фрезерного HAAS VF-2, грн	750000
Річна сума амортизації HAAS ST-35Y, грн	53333
Вартість ЗОР, грн/л	64
Приблизний необхідний річний об'єм загальний, л	400
Всього за рік, грн	25600
Тариф на енергоносії кВт·год/міс, грн	1.68
Потужність верстата HAAS VF-2, кВт	22.4
Річна вартість енергоносіїв, грн	452

4.6. Підсумок

Таблиця 4.6. Підсумок

Стаття витрат	Сума, ₴
Заготівельні роботи	655200
Різальний інструмент	288637
Верстатні пристрої	9688
Оплата праці персоналу	370800
Єдиний соціальний внесок, ЄСВ	81576
Охорона праці, зв'язок	50000
Амортизація верстатів	53333
Змащувально-охолоджуюча рідина, ЗОР	25600
Енергоносії	452

Всього за рік, ₴	1535286
Собівартість однієї деталі, ₴	2558.8

Список використаних джерел

1. Новые возможности аддитивного производства с технологий xBeam 3D Metal Printing (Обзор) / Д.В. Ковальчук, В.И. Мельник, И.В. Мельник, Б.А. Тугай // Автоматическая сварка. — 2017. — № 12 (770). — С. 26-33. — Библиогр.: 16 назв. — рос.
2. Inverse Determination of Johnson–Cook Parameters of Additively Produced Anisotropic Maraging Steel:
https://www.researchgate.net/publication/357232847_Inverse_Determination_of_Johnson-Cook_Parameters_of_Additively_Produced_Anisotropic_Maraging_Steel
3. ADDITIVE MANUFACTURING Reinvent Your Metal Production. DMG MORI:
<https://en.dmgmori.com/resource/blob/71066/afc30f24b49da74edc2f1ac85e648c2f/pl0uk-additive-manufacturing-pdf-data.pdf>
4. Сайт xBeam 3D Metal Printing:
<https://xbeam3d.com/about.html>
5. Стаття Інноваційна металообробка в Україні:
<https://ukrainer.net/innovative-metalworking-in-ukraine/>
6. Maraging Steel M300 Powder for Additive Manufacturing. Data Sheet; Renishaw plc: Wotton-under-Edge, UK, 2017.
7. Johnson, G.R.; Cook, W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain and high temperatures. In Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics, The Hague, The Netherlands, 19–21 April 1983; pp. 541–547.
8. Lachmayer, R.; Lippert, R.B. Additive Manufacturing Quantifiziert; Springer: Berlin, Germany, 2017.
9. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для оливок.
10. Добрянський С.С, Фролов В.К, Малафеев Ю.М. – Технологія машинобудування. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи / Київ: НТУУ "КПІ", 2012.

11. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
12. Вертикально-фрезерный станок Haas VF-2:
<https://www.abamet.ru/catalog/metallorzhushhie/frezernye-chpu/v-obrabatyvajushhie-centry/haas-vf-2/>
13. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Т. 2. Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова, -4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.
15. Безъязычный В.Ф., Аверьянов И.Н., Кордюков А.В. – Расчет режимов резания. Учебное пособие / Рыбинск, 2009.
16. Коваленко В.В., Біланенко В.Г., Кислик А.М. – Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Теорія різання". Розрахунок режимів різання при точінні / Київ: КПІ, 1993.
17. Коваленко В.В., Біланенко В.Г., Кислик А.М. – Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Теорія різання". Розрахунок режимів різання при точінні / Київ: КПІ, 1993.
18. Sandvik Coromant [електронне джерело] Режим доступу до інтернет сторінки:
<https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/toolguide.aspx>
19. Маталин А.А. – Технология машиностроения / Ленинград: Машиностроение, 1985.
20. Лещата QM16160 (NR-C):
<https://cnc.prom.ua/>
21. Прейскурант №25-01. Оптовые цены на отливки, поковки и горячие штамповки / М.: Прейскурантиздат, 1991.
22. ГОСТ 3.1108-74 Единая система технологической документации. Комплектность документов в зависимости от типа и характера производства.

<https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/products/pages/toolguide.aspx>

23. Технологія машинобудування: [Текст]: метод. вказівки до практичних занять та самостійної роботи для бакалаврів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" / Уклад.: С.С.Добрянський, В.К.Фролов, Ю.М.Малафєєв - К.: НТУУ КПІ», 2012. - 67 с. (електронне видання).
24. Медведєв В.В., Павліченко П.О. – Технологічна оснастка. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт / Київ: НТУУ "КПІ", 2020.
25. Горбацевич А.Ф. – Курсовое проектирование по технологии машиностроения / Минск: Вышэйшая школа, 1975.
26. ДСТУ 2391:2010. Система технологічної документації. Терміни та визначення основних понять.