

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

« ____ » _____ 20__ р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення
плити 2ЛС-1.10.001 верстата свердлильного 2ЛС-1 шляхом
структурно-параметричної оптимізації
поздовжньо-фрезерної операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

І. С. Нестеренко

Керівник

С. С. Некрасов

Консультант з охорони праці
та безпеки у надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі	14
1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт	18
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	20
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	24
1.6 Висновок	30
Розділ 2 Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	31
2.1 Розробка раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі	31
2.2 Вибір способу отримання заготовки та розробка технічних вимог до неї.....	34
2.3 Визначення припусків на обробку поверхні обертання аналітичним способом	40
2.4 Обґрунтування вибору схеми базування та закріплення заготовки	43
2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування.....	49
2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки	51
2.7 Визначення режимів різання.....	54
2.8 Технічне нормування операцій.....	64
2.9 Проектування верстатного пристрою	68
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	75
2.11 Висновок	85

Розділ 3 Структурно-параметрична оптимізація поздовжньо-фрезерної операції.....	86
3.1 Структурно-параметрична оптимізація технологічного процесу.....	86
3.2 Статичний аналіз конструкції верстатного пристрою	88
3.3 Динамічний аналіз конструкції верстатного пристрою	98
3.4 Висновок	101
Висновки	103
Список джерел посилань	104
Додаток А Робоче кренлення деталі «плита 2ЛС-1.10.001».....	106
Додаток Б Визначення типу та форми організації виробництва	108
Додаток В Порівняльна характеристика типів виробництва	109
Додаток Г Визначення припусків на обробку поверхні обертання аналітичним методом.....	110
Додаток Д Пристрій верстатний спеціальний. Специфікація	111
Додаток Е Пристрій для контролю відхилення від площинності. Специфікація.....	113
Додаток Ж Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	115

ВСТУП

Актуальність теми. Верстат настільний свердлильний моделі 2ЛС-1 набув широкого поширення серед виробництв, працюючих в умовах одиничного та дрібносерійного виробництв, в побуті, та використовується для оброблення отворів від 0,25 до 12 мм в дрібних виробках. Сьогодні в Україні суб'єкти малого бізнесу складають суттєвий сектор економіки, тому вдосконалення технології виготовлення верстата 2ЛС-1 можна вважати актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічної обробки (тема НДР «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (0116U000933)).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення «плити 2ЛС-1.10.001» шляхом вдосконалення конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на поздовжньо-фрезерній операції.

Для розв'язання зазначеної мети в роботі були поставлені такі **задачі**:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на поздовжньо-фрезерній операції;
- 4) спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій для контролю відхилення від площинності робочої поверхні деталі;
- 5) виконати дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою, як структурного елемента замкненої технологічної оброблювальної системи, методами статичного та динамічного аналізу. Сформулювати

рекомендацій щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою та поздовжньо-фрезерної операції в цілому.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «плити 2ЛС-1.10.001», операція поздовжньо-фрезерна.

Предмет дослідження – верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на поздовжньо-фрезерній операції.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Твердотільну модель конструкції верстатного пристрою розроблено у пакеті Компас-3D. Статичний та динамічний аналіз конструкції верстатного пристрою виконано у пакеті ANSYS Workbench (модулі Static Structural та Modal).

Наукова новизна: в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний та динамічний аналіз запропонованої конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки «плити» на поздовжньо-фрезерній операції, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації поздовжньо-фрезерної операції в цілому.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки «плити» на поздовжньо-фрезерній операції з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації поздовжньо-фрезерної операції в цілому.

Апробація роботи. Немає.

Публікації. Тези доповідей за результатами досліджень подано до редакції Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (СумДУ, м. Суми) та будуть опубліковані у квітні 2021 р.

Особистий внесок автора. Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі. Запропоновані нововведення, спрямовані на вдосконалення існуючої технології. Спроектовано конструкції верстатного та контрольно-вимірювальних пристроїв. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції спроектованого верстатного пристрою та поздовжньо-фрезерної операції в цілому.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 13 найменувань, 105 сторінок основного тексту, 24 рисунків та 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі

Загальні відомості. Призначення та сфера застосування виробу. Верстат побутовий настільно-свердлильний моделі 2ЛС-1 призначений для свердління отворів діаметром до 9 мм у виробах з чорних, кольорових металів і неметалічних матеріалів.

Характерною особливістю вертикально-свердлильних верстатів є вертикальне розташування шпинделя. Однією з різновидів вертикально-свердлильних верстатів є настільні верстати.

Настільні вертикально-свердлильні верстати застосовують в одиничному і дрібносерійного виробництвах – в механічних, інструментальних та інших цехах металообробних підприємств для свердління в дрібних виробах отворів діаметром від 0,25 до 12 мм. У нашому випадку, для верстата 2ЛС-1, максимальний діаметр свердління становить 9 мм. Зазвичай верстати встановлюють на верстаку і кріплять до нього болтами. Майже у всіх верстатів шпинделю обертання передається від електродвигуна клинопасовою передачею. Ріжучий інструмент в осьовому напрямку переміщається не механічно, а вручну, рукояткою осьової подачі шпинделя.

Будова верстата. Загальний вигляд верстата з позначенням складових частин зображений на рисунку 1.1.

Перелік складових частин верстата наведений в таблиці 1.1.

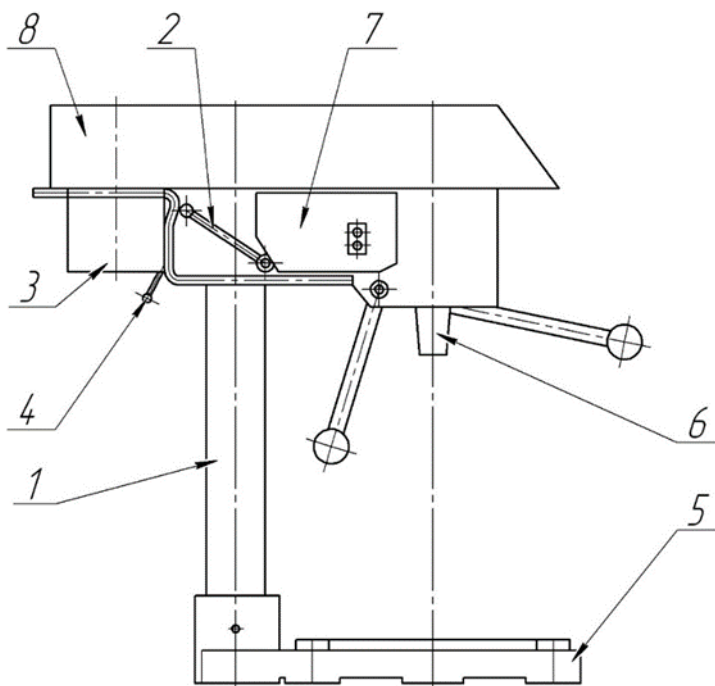


Рисунок 1.1 – Загальний вид верстата 2ЛС-1

Таблиця 1.1 – Складові частини верстата 2ЛС-1

Поз.	Найменування	Позначення
1	Колона	2ЛС-1.10.002
2	Затискний пристрій шпиндельної бабки	-
3	Електродвигун	АИР 3УТ71А4 УХЛ4
4	Механізм підйому шпиндельної бабки	-
5	Плита	2ЛС-1.10.001
6	Шпиндель	2ЛС-1.20.010
7	Шпиндельна бабка	2ЛС-1.20.001
8	Кожух	2ЛС-1.20.300

Верстат виготовляється відповідно до вимог безпеки по ГОСТ 12.2.009-80.

Верстат встановлюють на дерев'яному або металевому верстаку, кріплять до нього болтами М10, для чого на плиті верстата передбачено 4 отвори діаметром 11 мм.

Верстат повинен бути надійно заземлений за допомогою спеціального болта, розташованого на плиті верстата.

Для закріплення пристосувань або оброблюваних деталей на плиті верстата передбачені отвори з різьбленням М8 під кріпильні болти.

Умови роботи.

Верстат повинен розміщуватися в приміщеннях, в яких відсутні прямі впливи атмосферних опадів, вітер, а також пісок і пил зовнішнього повітря.

Основні технічні дані і характеристики.

Технічну характеристику (основні параметри і розміри) надано згідно з технічними умовами ТУ 2.024-165-90 та наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики та умови виробу

Модель верстата	2ЛС-1
Найбільший умовний діаметр свердління, мм	9
Розмір робочої поверхні плити, мм	
довжина	250±2
ширина	250±2
Конус кінця шпинделя зовнішній за ГОСТ 9953-82	Морзе 2а АТ6
Найбільша відстань від торця шпинделя до плити, мм, не більше	333
Найбільший хід шпинделя, мм, не більше	70
Найбільше переміщення шпиндельної бабки по колоні, мм, не більше	200
Кількість швидкостей шпинделя	3
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	600, 1200, 2500
Потужність електродвигуна, кВт	0,37
Габаритні розміри, мм, не більше	
довжина	585
ширина	270
висота	655
Маса верстата, кг, не більше	55

«Плита 2ЛС-1.10.001» верстата є його базовим елементом. Її виготовляють з чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85. Заводська технологія виготовлення передбачає отримання заготовки литтям, що збільшує технологічний процес на операцію отримання півфабрикату.

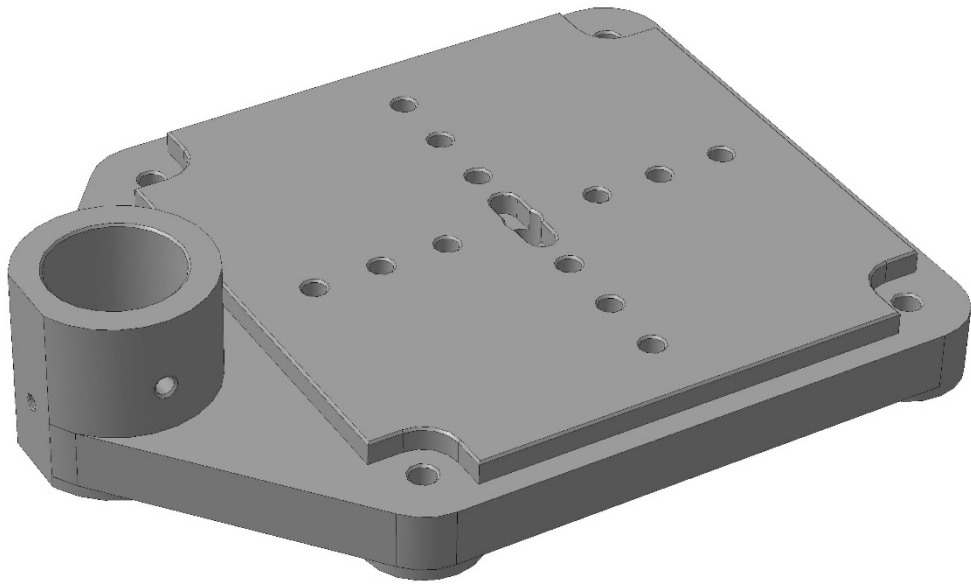


Рисунок 1.2 – Загальний вид плити 2ЛС-1.10.001

«Плиту» сконструйовано таким чином, щоб забезпечити закріплення заготовки з потрібним зусиллям. В процесі оброблення заготовок «плита» забезпечує стійкість верстата.

Загалом, деталь є досить технологічною, допускає застосування високопродуктивних режимів оброблення, має гарні базові поверхні, придатні для початкових операцій і є досить простою в конструктивному плані.

«Плита» є основою настільно-свердлильного верстата 2ЛС-1. Опис конструктивних особливостей деталі виконаємо з урахуванням нумерації поверхонь, зазначеної на рисунку 1.3.

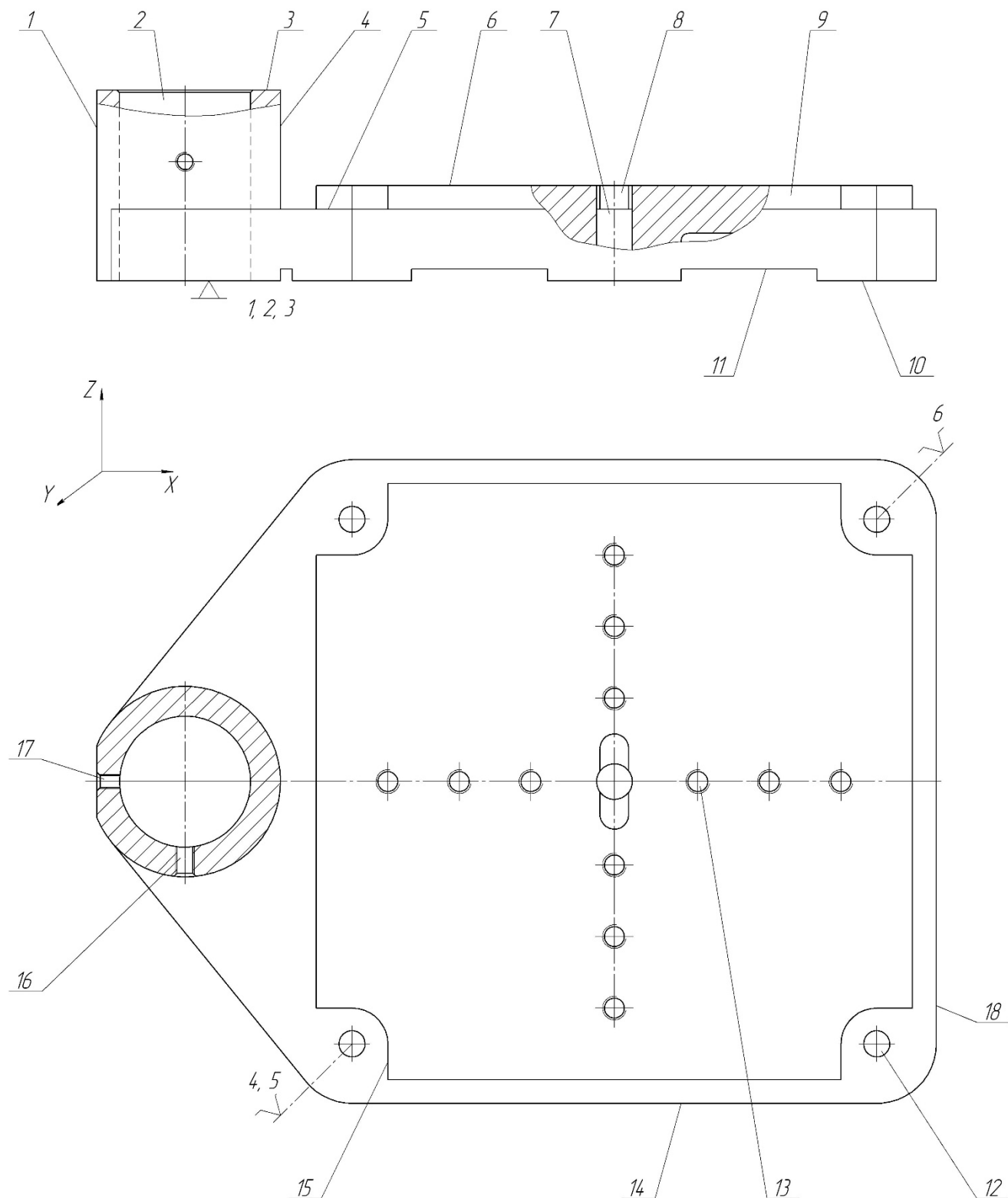


Рисунок 1.3 – Нумерація поверхонь деталі

Поверхня 10 (сукупність поверхонь) відноситься до основних конструкторських баз, тому що призначена для установки плити на робочому столі

верстака. При базуванні плити на робочому столі реалізується установча база, що позбавляє деталь 3-х ступенів свободи: поздовжнього переміщення уздовж осі Z і обертань навколо осі X і Y (див. рисунок 1.3). Також до основних конструкторських баз слід віднести два з чотирьох отворів 12 (вибирається пара отворів, розташованих за діагоналлю, на більшій відстані), призначених для установки і закріплення плити на робочому столі верстака. Базування плити по одному з отворів 12 позбавляє деталь 2-х ступенів свободи: поступальних переміщень уздовж осі X і осі Y. базування плити по іншому з обраної пари отворів 12 позбавляє деталь 1-го ступеня свободи: обертання навколо осі Z. Таким чином, плита, при установці на робочому столі верстака, позбавляється всіх 6-ти ступенів свободи (див. таблиці 1.3, 1.4).

Таблиця 1.3 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступінь вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	Установча
4, 5	I, II	Подвійна опорна
6	VI	Опорна

Таблиця 1.4 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
L	0	0	1	Установча
α	1	1	0	
L	1	1	0	Подвійна опорна
α	0	0	0	
L	0	0	0	Опорна
α	0	0	1	
	2	2	2	$\Sigma = 6$

Деталь має комплекс поверхонь, що забезпечують необхідне взаємне розташування заготовки та інших деталей (робочих органів) верстата. Перш за все, це поверхні 6 (поверхня плити, на яку встановлюється заготовка або оснастка), а також поверхня отвору 2 (призначена для установки колони 1, див. рисунок 1.1). Поверхня отвору 2 є допоміжною конструкторською базою, тому що визначає положення колони відносно плити, як базової деталі виробу. Поверхню 6 можна віднести до виконавчих, тому що розміщення заготовки на плиті є однією з основних функцій даної деталі.

До допоміжних конструкторських баз також можна віднести наскрізний отвір 7 діаметром 15Н7 і паз 8, які призначені для установки центруючого пальця, використовуваного при базуванні заготовки або елементів оснастки.

Для закріплення заготовки (верстатного пристрою) передбачені отвори 13 М8-7Н (12 отворів).

Для закріплення колони 1 (див. рисунок 1.1) в отворі 2 (див. рисунок 1.3) передбачені отвори 16 і 17 з різьбленням М8-7Н і М6-7Н відповідно.

Таким чином, можна встановити таку класифікацію поверхонь за призначенням (див.

- виконавчі: 6;
- основні конструкторські бази (ОКБ): 10, 12;
- допоміжні конструкторські бази (ДКБ): 2, 3, 7, 8, 13, 16, 17;

Усі інші поверхні можна віднести до «вільних».

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

«Плиту 2ЛС-1.10.001» відносять до деталей типу «плита» з габаритами 352×270×40 мм з циліндричним виступом діаметром і висотою 80 мм. Конструкція деталі є достатньо жорсткою й масивною.

Матеріал деталі – сірий чавун СЧ 20 ГОСТ 1412-85 (див. таблицю 1.5).

Таблиця 1.5 – Властивості й хімічний склад СЧ20 ГОСТ 1412-85

Найменування характеристики	Величина	Одиниці вимірювання
Модуль пружності нормальний	80000	МПа
Модуль пружності нормальний при зсуві крученням	42000	МПа
Щільність	7100	кг/куб.м
Відносне звуження (розтягування)	1	%
Відносне подовження після розриву (розтягування)	1	%
Межа міцності при розтягуванні (стискання)	700	МПа
Межа міцності при розтягуванні (вигин)	300	МПа
Межа міцності при розтягуванні (кручення)	300	МПа
Межа міцності при розтягуванні (розтягування)	98	МПа
Межа текучості (стискання)	80	МПа
Межа текучості (вигин)	65	МПа
Межа текучості (кручення)	70	МПа
Межа текучості (розтягування)	60	МПа
НВ	205	НВ
Вміст вуглецю (С)	3,3..3,5	%
Вміст кремнію (Si)	1,4..2,4	%
Вміст марганцю (Mn)	0,7..1,0	%
Вміст сірки (S)	0..0,15	%
Вміст фосфору (P)	0..0,2	%
Усадка при литті	1,2	%
Зварюваність: не використовується для зварних конструкцій		
Застосування: станини, корпуси, кронштейни, опори, плити, кришки, траверси, колосники		

Виконаємо аналіз технічних вимог, що пред'являють до виконавчих і базових поверхонь.

Однією з найбільш точних є поверхня наскрізного отвору 2 (див. рисунок 1.3) діаметром 55Н7, призначеного для установки колони 1. Шорсткість поверхні за

критерієм $R_a = 1,6$ мкм, що цілком відповідає заданій розмірної точності. До поверхні отвору висувають вимоги щодо відхилення від циліндричної, відхилення профілю поздовжнього перерізу – не більше 0,016 мм. Крім того до поверхні отвору пред'являється допуск на відхилення від перпендикулярності – не більше 0,01 мм щодо бази «В» (робоча поверхня плити 6). Зазначені допуски відповідають (7 ... 6) ступеню точності згідно з ГОСТ 24643-81 [1] і задані цілком виправдано, тому що дозволяють забезпечити установку колони щодо плити та її робочої поверхні з необхідною точністю і жорсткістю, що в свою чергу визначає точність оброблення поверхонь в процесі експлуатації верстата. Зокрема, заданий допуск відхилення від перпендикулярності буде визначальним при забезпеченні перпендикулярності оброблюваних отворів щодо базових поверхонь заготовок.

До поверхні 3 (див. рисунок 1.3) пред'являється допуск 0,02 мм з відхилення від паралельності щодо робочої поверхні плити 6 (база «В»). Ця вимога дозволяє забезпечити щільне прилягання буртика колони до поверхні 3, що підвищує жорсткість конструкції, знижує концентрацію напружень в районі буртика (при переході від плоскої торцевої поверхні до циліндричної поверхні). Зазначений допуск відповідає 7-му ступеню точності за розмірної точності, що відповідає 14 квалітету і шорсткості поверхні 1,6 мкм за критерієм R_a .

До робочої (установчої) поверхні плити 6 за розмірної точності по 14 квалітету і шорсткості 1,6 мкм R_a пред'являється допуск з відхилення від площинності в розмірі 0,05 мм. Допуск заданий відповідно до 9-ої ступеня точності. Допуск з відхилення від площинності дозволяє забезпечити необхідну точність при установці заготовки і заданий цілком виправдано.

Для базування установчого (центруючого) пальця використовується отвір діаметром 15H7 (розмірна точність за IT7, шорсткість – $R_a = 1,6$ мкм). Розмірна точність і шорсткість поверхні задані правильно і дозволяють забезпечити мінімальний гарантований зазор при установці пальця за посадкою H7/g6, що в свою чергу дозволяє забезпечити високу точність під час установки заготовки або пристрою за центральним отвором.

Інші поверхні деталі є вільними і не відрізняються підвищеною точністю або чистотою поверхні.

Технічні вимоги представлені на полі креслення у вигляді умовних позначень і текстовою частиною над основним надписом. Велика частина вимог стосується точності елементів виливка, як вихідної заготовки:

1. Виливок другого класу групи «а» згідно з ОСТ 2 МТ 21-2-83. Категорія поверхонь: зовнішніх – 2, внутрішніх – 3.

2. Піддати старінню згідно з РТМ 2 МТ 20-3-76. Ця вимога встановлює режим термічного оброблення (штучне старіння).

3. Незазначені ливарні радіуси 3 – 5 мм.

4. Ливарні ухили 3 – 5 градусів.

Всі ці вимоги обумовлені функціональним призначенням плити і відповідають рекомендаціям ГОСТ 26645-85.

Також на робочому кресленні 2ЛС-1.10.001 встановлені вимоги на механічне оброблення:

1. Незазначені граничні відхилення розмірів отворів Н14, валів h14, лінійних розмірів $\pm t/2$. Ця вимога встановлює розмірну точність для вільних поверхонь деталей.

2. На оброблюваних поверхнях допускаються дефекти виду раковин, вм'ятин, тріщин тощо глибиною до 2 мм й площею не більше 3% від розглянутої площі (окрім дзеркала столу).

3. На робочій поверхні плити випуклість не допускається. Ця вимога дублює вимогу з допустимого відхилення від площинності, що є необов'язковим.

4. Покриття не оброблюваних механічно поверхонь: зовнішніх – емаль НЦ-132 сіро-зелена ГОСТ 6631-74; внутрішніх – емаль НЦ-132 кремова ГОСТ 6631-74.

5. Над отв. М6-7Н гравіювати знак заземлення за ГОСТ 12.1.030-81. Допускається знак заземлення виконати механічно ударним способом. Залити фарбою емаль НЦ-132 чорна ГОСТ 6631-74.

6. Допускається покриття механічно не оброблюваних зовнішніх поверхонь емаллю НЦ-256 сіро-зелена ГОСТ 25515-82, внутрішніх – НЦ-256 кремова ГОСТ25515-82.

Проведений аналіз показав, що зазначені на кресленні «плита 2ЛС-1.10.001» технічні вимоги задані в повному обсязі, відповідно до діючих стандартів, відповідають сучасному рівню виробництва, і достатні для надійної і якісної експлуатації деталі.

1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт

Проектування раціонального технологічного процесу механічного оброблення заготовки не можливе без урахування типу виробництва, в умовах якого здійснюється виготовлення виробу. За ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з,о}$, який показує відношення усіх різних операцій, виконуваних підрозділом впродовж місяця, до кількості робочих місць. Розрахунок $K_{з,о}$ виконаємо на ЕОМ з урахуванням базових норм штучно-калькуляційного часу за операціями механічного оброблення «плити». Усі розрахунки проводимо відповідно до методики, викладеної в [2] та за допомогою прикладної програми «Тип виробництва», розробленої співробітниками кафедри ТМВІ СумДУ. Результати розрахунку $K_{з,о}$ наведені в додатку Б.

Так, розрахункова величина коефіцієнта закріплення операцій для річного обсягу випуску виробів 400 шт. становить 26,89, що відповідає дрібносерійному типу виробництва [3], розмір партії запуску – 48 шт.

Як відомо, в умовах дрібносерійного виробництва вироби виготовляють невеликими партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією й типорозмірами виробів, що запускають у виробництво одночасно. Для даного типу виробництва характерним є різноманітне технологічне устаткування та оснастка. Кваліфікація робочих є високою для тих, хто працює з устаткуванням, не оснащеним засобами автоматизації, та середньою – для операторів верстатів з ЧПК та обробних центрів з ЧПК. Інші характеристики дрібносерійного типу виробництва у порівнянні з одиничним та масовим виробництвами наведені в додатку В цієї роботи [4].

Серійне виробництво є економічнішим, ніж одиничне, так як завдяки великим партіям оброблюваних виробів та можливості використання спеціалізованого та спеціального устаткування та оснастки є можливість зменшити собівартість продукції.

Як форму організації робіт в умовах дрібносерійного виробництва беремо групову. Групова форма організації робіт, як відомо, передбачає формування

предметно-замкнутої ділянки для виготовлення подібних за конструкторськими та технологічними ознаками деталей.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Для оцінки технологічності конструкції деталі звернемося до її креслення.

Одним з основних факторів, що визначають технологічність деталі, є її матеріал. Плита виготовляється з чавуну сірого марки СЧ 20 ГОСТ 1412-85. Чавун СЧ 20 є досить поширеним і недорогим матеріалом з гарною оброблюваністю. Таким чином, щодо використовуваного матеріалу деталей можна вважати технологічною.

При масі 16,8 кг деталь в процесі виготовлення можна встановлювати знімати з верстата без застосування додаткових технічних (механізованих) засобів. Габарити деталі 352×220×80 мм говорять про її компактність, заготовка вільно розміщується на столах більшості верстатів легкої серії.

За конструктивними ознаками деталь в цілому також є технологічною. Мінімальна товщина стінок деталі 15 мм, наявність ребер жорсткості роблять конструкцію деталі досить жорсткою, що в свою чергу дозволяє застосовувати високопродуктивні режими різання в процесі механічної обробки заготовки.

Деталь виконана в формі плити. Всі поверхні, як внутрішні, так і зовнішні, доступні для обробки ріжучим інструментом, і можуть бути виконані із заданою точністю.

Всі оброблювані поверхні деталі є простими за формою: плоскі, циліндричні, різьбові. Використання спеціального ріжучого інструменту для обробки таких поверхонь практично не потрібно, що знижує собівартість виготовлення виробу.

Деталь має розвинені базові поверхні, що спрощує її установку на верстаті. Форми деталі, схема проставляння розмірів на кресленні дозволяють вимірювати безпосередньо задані на кресленні розміри.

Деталь має кілька поверхонь підвищеної точності.

Це поверхня циліндричного отвору діаметром 55H7 ($R_a = 1,6$ мкм). До поверхні отвору висуваються вимоги щодо відхилення від циліндричності, відхилення профілю поздовжнього перерізу – не більше 0,016 мм, відхилення від

перпендикулярності – не більше 0,01 мм щодо бази «В» (робоча поверхня плити 6, див. рисунок 1.3).

До робочої поверхні плити 6, див. рисунок 1.3, пред'являється допуск з відхилення від площинності в розмірі 0,05 мм.

Отвір діаметром 15H7 ($R_a = 1,6$ мкм).

Виконання підвищених вимог розмірної точності, чистоти поверхні, допусків форми і розташування поверхонь підвищує собівартість деталі, тому що вимагає введення додаткових (чистових, фінішних) етапів механічної обробки.

При всій простоті конструкції деталь все ж має кілька нетехнологічних елементів. Циліндричний прилив висотою 50 мм і діаметром 80 мм є нетехнологічним, тому що виступає за межі основної форми деталі, що ускладнює виготовлення заготовки литтям та її подальшу механічну обробку. Отвір для гвинта М8-7Н розташований на циліндричній поверхні припливу, що потребують при його механічній обробці попереднього центрування, інакше осьової інструмент буде відводити у бік від оброблюваної позиції.

Отже, в цілому, за якісними показниками, деталь можна вважати технологічною.

Виконаємо кількісний аналіз технологічності деталі.

Визначення коефіцієнта використання матеріалу виконаємо за формулою:

$$K_{BM} = \frac{M_D}{M_3},$$

де M_D – маса готової деталі, $M_D = 16,8$ кг;

M_3 – маса заготовки, $M_3 = 19,8$ кг.

$$K_{BM} = \frac{16,8}{19,8} = 0,84.$$

Коефіцієнт використання матеріалу є досить високим, що є позитивним фактором.

Визначимо коефіцієнт точності обробки поверхонь за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T \cdot n_i},$$

де $\sum n_i$ – кількість розмірів відповідного квалітету точності;

T – квалітет точності обробки.

$$\sum n_i = 4 + 2 + 17 = 23,$$

$$\sum T \cdot n_i = 7 \cdot 4 + 9 \cdot 2 + 14 \cdot 17 = 284,$$

$$K_T = 1 - \frac{23}{284} = 0,92.$$

Коефіцієнт точності також є достатньо високим.

Визначимо коефіцієнт шорсткості

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}} = \frac{\sum n_{im}}{\sum Ш \cdot n_{im}},$$

де $\sum n_{im}$ – кількість поверхонь відповідного рівня шорсткості;

$Ш$ – рівень шорсткості поверхонь.

$$\sum n_{im} = 4 + 4 + 4 = 12,$$

$$\sum Ш \cdot n_{im} = 1,6 \cdot 4 + 3,2 \cdot 4 + 6,3 \cdot 4 = 44,4,$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{12}{44,4} = 0,73.$$

Коефіцієнт шорсткості також є досить високим, що є технологічним фактором.

Так, високі коефіцієнти точності, шорсткості, використання матеріалу говорять про високу технологічність деталі в цілому.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Для зручності виконання аналізу складемо таблицю 1.6 з коротким описом базового технологічного процесу виготовлення деталі.

Таблиця 1.6 – Опис базового технологічного процесу виготовлення деталі

№ оп.	Найменування операції	Короткий опис	Базування, верстатний пристрій	Устаткування
005	Заготівельна	Лиття в кокіль	-	Машина для лиття
015	Термічна	Термічна обробка виливка	-	Піч
025	Поздовжньо-фрезерна	Установ А: фрезерувати нижню (опорну) поверхню 10. Установ Б: фрезерувати верхню (робочу) поверхню 6, фрезерувати торець 3 бонки	Установ А: за поверхнею 6. Установ Б: за поверхнею 10 (на плиті)	Поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6606
035	Поздовжньо-фрезерна	Установ А: фрезерувати нижню (опорну) поверхню 10. Установ Б: фрезерувати верхню (робочу) поверхню 6, фрезерувати торець 3 бонки	Установ А: за поверхнею 6. Установ Б: за поверхнею 10 (на плиті)	Поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6606
045	Розмічування	Розмічування під обробку бокових поверхонь 1, 14, 18	-	Стіл
050	Поздовжньо-фрезерна	Фрезерувати торці 14	За поверхнею 10 (на плиті)	Поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6606
060	Поздовжньо-фрезерна	Фрезерувати торці 1, 18	За поверхнею 10 (на плиті)	Поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6606
070	Розмічування	Розмічування під розточування поверхні 2	-	Стіл

Продовження таблиці 1.6

№ оп.	Найменування операції	Короткий опис	Базування, верстатний пристрій	Устаткування
075	Горизонтально-розточувальна	Розточити отвір 2	За поверхнею 10 (на плиті)	Горизонтально-розточувальний верстат моделі 2620ВФ1
085	Плоско-шліфувальна	Шліфувати поверхню 6	За поверхнею 10 (на магнітній плиті)	Плоско-шліфувальний верстат моделі 3Л722А
095	Радіально-свердлильна	Свердлити, зенкувати отвори під нарізання різі 16, 17, нарізання різі М6-7Н, М8-7Н	За поверхнею 10 (на плиті з кондуктором)	Радіально-свердлильний верстат моделі 2Н55
105	Координатно-розточувальна	Розвернути поверхню 2, свердлити, зенкерувати, розвернути поверхню 7, фрезерувати паз 8	За поверхнею 10 (на плиті)	Координатно-розточувальний верстат моделі 2Е450
115	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Свердлити, зенкувати, нарізати різь М10-7Н (12 отв.), свердлити чотири отвори 12	За поверхнею 10 (на плиті)	2Р135Ф2-1
125	Слюсарна	Зняття задирків, калібрування різі М6-7Н, М8-7Н, М10-7Н (12 отв.)	-	Верстак
135	Фарбувальна	Фарбування неробочих поверхонь деталі	-	-
115	Технічний контроль	Підсумковий контроль розмірної точності, чистоти поверхонь, допусків форми и взаємного розташування поверхонь, якості фарбування тощо згідно з кресленням деталі	-	Стіл ОТК

В таблиці 1.6 не наведені операції проміжного контролю: 010, 020, 030, 040, 055, 065, 080, 090, 100, 110, 120, 130.

Виконаємо аналіз технологічного процесу по операціях.

005 Заготівельна. Заготовку для виготовлення плити отримують литтям в кочіль, що є досить точним і продуктивним методом для прийнятих умов виробництва.

015 Термічна. На термічній операції здійснюється теплова обробка вилівка у вигляді відпалу або старіння, що дозволяє знизити залишкові напруження, що мають місце при нерівномірному охолодженні заготовки.

025 Поздовжньо-фрезерна. На операції проводиться чорнове фрезерування нижньої площини плити, переустанов і фрезерування верхньої площини і торця бонки. Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовується фреза зі вставними пластинами з твердого сплаву, що дозволяє застосовувати прогресивні режими різання.

035 Поздовжньо-фрезерна. На операції проводиться півчистове фрезерування нижньої площини плити, переустанов і фрезерування верхньої площини і торця бонки. Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовується фреза зі вставними пластинами з твердого сплаву, що дозволяє застосовувати прогресивні режими різання.

045 Розмічування. У зв'язку з відсутністю спеціальних пристосувань на фрезерній операції, включення в технологічний процес розмічувальної операції є обґрунтованим. Але при використанні спеціальних пристосувань необхідність в ній відпадає.

050 Поздовжньо-фрезерна. На операції проводиться одноразове фрезерування бокових торців 14 заготовки (установи А і Б). Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовується фреза зі вставними пластинами з твердого сплаву, що дозволить застосовувати прогресивні режими різання.

060 Поздовжньо-фрезерна. На операції проводиться одноразове фрезерування бічних торців 1, 18 заготовки (встановити А і Б). Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовується фреза зі вставними

пластинами з твердого сплаву, що дозволяє застосовувати прогресивні режими різання.

070 Розмічування. У зв'язку з відсутністю спеціальних пристосувань на горизонтально-розточувальній операції, включення в технологічний процес розмічувальної операції є обґрунтованим. Але при використанні спеціальних пристосувань необхідність в ній відпадає.

075 Горизонтально-розточувальна. На операції проводиться попереднє розточування отвору $\varnothing 55H7$. Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовуються розточувальний різець з вставними пластинами з твердого сплаву, що дозволяє застосовувати прогресивні режими різання.

085 Плоскошліфувальна. На цій операції проводиться чистова обробка верхньої (робочої) поверхні 6 плити шліфуванням. Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовуються абразивні круги.

095 Радіально-свердлильна. На операції проводиться свердління, зенкування і нарізування різьби двох отворів М6-7Н і М8-7Н. Верстат обраний раціонально. Як верстатний пристрій використовується кондуктор. Як ріжучий інструмент використовуються свердла, зенківки, мітчики.

105 Координатно-розточувальна. На цій операції проводиться розвертання отвори $\varnothing 55H7$, свердління, зенкування, розвертання отвору $\varnothing 15H7$ і фрезерування паза. Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовуються різець розточувальний з вставними пластинами з твердого сплаву, розвертки, свердла, зенкер, зенківки.

115 Вертикально-свердлильний з ЧПК. На операції проводиться свердління 12 отворів під різь М10-7Н, зенкування, нарізання різі, а також свердління 4 отворів $\varnothing 11$. Верстат обраний раціонально. Як ріжучий інструмент використовуються свердла зі швидкорізальної сталі. Для установки і закріплення заготовки використовується спеціальний верстатний пристрій, що дозволяє скоротити час на установку і зняття деталі.

Аналіз поданого технологічного процесу виготовлення плити 2ЛС-1.10.001 дозволяє говорити, що маршрут обробки в цілому раціональний. Виконуються принципи сталості та суміщення баз. Для обробки точних поверхонь (7 квалітет розмірної точності) використовується обробка в три етапи, що є обґрунтованим.

Використовується металообробне обладнання застарілих моделей, що не дозволяє гарантувати забезпечення якісних показників деталі, збільшує час, що витрачається на досягнення необхідної точності і чистоти поверхонь, а отже і собівартість деталі. За нинішніх умов і конкуренції на ринку потрібно за можливості використовувати більш сучасні верстати, які дозволяли б обробляти деталь з використанням високопродуктивних режимів різання, забезпечували зменшення часу на допоміжні переходи і давали б потрібну точність.

Координатно-розточувальну і свердлильну з ЧПК операції бажано об'єднати з використанням багатоцільового верстата з ЧПК, що дозволить скоротити кількість використовуваного обладнання, знизити витрати на час допоміжних переходів, стабілізувати якісні показники оброблюваних поверхонь.

У технологічній документації використовується маршрутно-операційний опис технологічного процесу з довільною формою опису переходів (без дотримання правил заповнення технологічної документації) й операційних ескізів, без вказівки режимів різання і моделей металорізального обладнання. До того ж, оформлення маршрутних карт не відповідає встановленим стандартам, що знижує рівень технологічного забезпечення механічної обробки заготовки, а значить і якість виробництва зазначених деталей. Найменування устаткування вказується без урахування найменувань застосовуваного металорізального обладнання. У технологічному процесі не вказуються міжопераційні розміри заготовки, не вказуються величини операційних та міжопераційних припусків, глибина різання, немає допусків на оброблювані розміри, не вказуються особливості базування і технологічна оснастка.

На більшості операцій базового технологічного процесу використовується універсальне устаткування і технологічна оснастка без застосування засобів механізації та автоматизації. В умовах дрібносерійного виробництва бажаним є

застосування часткової механізації або автоматизації, що можна реалізувати через використання верстатів з ЧПК та верстатних пристроїв з механізованими приводами затискання заготовок. Це дозволило б знизити кваліфікацію робітників і підняти продуктивність обробки, повністю усунути ручну працю (операції розмічування) та, як результат, зменшити собівартість механічної обробки заготовки.

У заводському технологічному процесі як ріжучий інструмент застосовується нормалізовані, універсальні фрези, оснащені пластинками твердого сплаву ВК, свердла, зенківки, мітчики й кінцеві фрези зі швидкорізальної сталі Р6М5, шліфувальні круги.

Як вимірювальний інструмент застосовується, в основному, універсальний шкальний інструмент у вигляді штангенциркулів, нутромірів, індикаторів та лінійок, зразків шорсткості, а для замірів точності розмірів за ІТ7 застосовуються також і граничні калібри, що, однак, небажано для умов дрібносерійного виробництва. Все це, в цілому, дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь деталі, як за точністю розмірів, так і за точністю їх форми і взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості.

1.6 Висновок

Аналіз службового призначення деталі «Плита 2ЛС-1.10.001» показав що вона виконує функції базового елемента настільного вертикального свердлильного верстату. Точність взаємного розташування поверхонь «плити» багато в чому визначає точність оброблюваних на верстаті виробів. Виробництво «плити» здійснюється в умовах дрібносерійного виробництва. Конструкція деталі в цілому є технологічною.

Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі дозволив виявити такі його недоліки:

- 1) використання фізично та морально застарілих моделей металорізальних верстатів. Верстати з ЧПК практично не використовуються;
- 2) використовуються верстатні пристрої з ручними приводами затискання заготовок;
- 3) використання операцій розмічування, що характеризуються низькою продуктивністю (робота виконується вручну) та потребують робітників високої кваліфікації;
- 4) технологічну документацію з описом маршрутно-операційної технології виготовлення деталі оформлено з порушеннями діючих стандартів, інформацію наведено в неповному обсязі.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Розробка раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі

В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі, виявлених недоліків існуючої технології (див. п. 1.5, 1.6 цієї роботи) пропонується такий маршрут технологічного процесу механічного оброблення заготовки «плити», див. таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис пропонованого маршруту технологічного процесу виготовлення деталі

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції (див. рисунок 1.3)	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Лиття металів та сплавів	Лиття в кокіль	Машина для лиття	-
010	Термічна	Відпалювання, старіння виливка	Термічна піч	-
015	Поздовжньо-фрезерна	Попередня (чорнова) обробка поверхні 10 (установ А), робочої поверхні 6 й поверхні бонки 3 (установ Б)	Поздовжньо-фрезерний верстат 6606	Установ А – по поверхні 5 з упором в поверхню 14 й 18 (в спеціальному верстатному пристрої), Установ Б – по поверхні 10 з упором в поверхню 14 й 18
020	Поздовжньо-фрезерна	Чистова обробка опорної поверхні 10 (установ А), робочої поверхні 6 й поверхні бонки 3 (установ Б)	Поздовжньо-фрезерний верстат 6606	Установ А – по поверхні 6 з упором в поверхню 14 й 18 (в спеціальному верстатному пристрої), Установ Б – по поверхні 10 з упором в поверхню 14 й 18
025	Комплексна на ОЦ з ЧПК	Обробка 2 отв. 12 напрохід в розмір $\varnothing 11H12$, 2 отв. $\varnothing 11H7$ (підготовка баз для подальшої обробки)	Вертикальний обробний центр з ЧПК V-650	Базування по поверхні 10, отвору 2 з упором в поверхню 14 (в спеціальному верстатному пристрої)

Продовження таблиці 2.1

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції (див. рисунок 1.3)	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
030	Комплексна на ОЦ з ЧПК	Чорнове й півчистове розточування 2 в бонці	Вертикальний обробний центр з ЧПК V-650	По поверхні 10 й базовим отворам 12 Ø11Н7 (в спеціальному верстатному пристрої)
035	Плоскошліфувальна	Чистове шліфування робочої поверхні плити 6 й торцевої поверхні 3 бонки	Плоскошліфувальний верстат з ЧПК моделі 3E721ВФ3-1	По поверхні 10 й базовим отворам 12 Ø11Н7 (в спеціальному верстатному пристрої)
040	Комплексна на ОЦ з ЧПК	Фрезерування лиски 1, свердління отвору й зенкування фаски під подальше нарізання різі 17 (установ А), свердління отвору, зенкування фаски й нарізання різі 16 (установ Б)	Вертикальний обробний центр з ЧПК V-650	По поверхні 10 й базовим отворам 12 Ø11Н7 (в спеціальному верстатному пристрої)
045	Комплексна на ОЦ з ЧПК	Свердління отвору 7 під подальше розвертання, свердління 12 отворів 13 під подальше нарізання різі, фрезерування паза 8, чорнове й чистове розвертання отвору 2, чорнове й чистове розвертання отвору 7, нарізання різі в 12 отворах 13	Вертикальний обробний центр з ЧПК V-650	По поверхні 10 й базовим отворам 12 Ø11Н7 (в спеціальному верстатному пристрої)
050	Слюсарна	Зняття задирок, нарізання різі 17, калібрування різьбових отворів	Верстак	-
055	Технічний контроль	Підсумковий контроль точності розмірів основних поверхонь, чистоти поверхонь, допусків форми й взаємного розташування	Стіл ВТК	-

Як видно з таблиці 2.1 в удосконаленому варіанті маршруту технологічного процесу механічної обробки заготовки «плити» зменшено кількість механічних операцій, що пояснюється використанням принципу концентрації операцій, що є доцільним в умовах дрібносерійного виробництва. Етапність обробки циліндричних отворів і торцевих поверхонь на комплексних з ЧПК операціях реалізується за рахунок використання переходів з відповідними методами обробки (свердління, зенкерування, розвертання тощо), режимами різання і ріжучим інструментом з відповідним матеріалом ріжучої частини. Для опорної і робочої поверхонь «плити» етапність обробки реалізується за рахунок застосування чорнового, чистового фрезерування і чистового шліфування, як фінішної операції.

На всіх операціях технологічного процесу при базуванні заготовки реалізується принцип суміщення і постійності баз. На другій поздовжньо-фрезерній операції реалізується базування по раніше використаним чорновим базам, що суперечить прийнятим правилам, однак цей захід слід вважати вимушеним. По-перше у заготовки-виливки до моменту реалізації операції немає достатньо точних і розвинених базових поверхонь, по-друге дворазове використання чорнових баз в даному випадку не впливає на розмірну точність поверхонь. На операції 025 обробляються 2 отвори $\varnothing 11H7$, які на всіх подальших операціях в сукупності з опорною поверхнею «плити» виступатимуть в якості технологічних баз, що на нашу думку повинно підвищити або як мінімум стабілізувати точність обробки поверхонь, тому що в даному випадку буде реалізований принцип постійності баз, при цьому зазначені базові поверхні матимуть достатню розмірну точність і чистоту.

У новому технологічному процесі передбачається повсюдне застосування верстатів з ЧПК, що дозволить усунути малопродуктивні методи ручного розмічування. При цьому скорочується і основний час на операцію, а значить і собівартість обробки заготовки. Для підвищення ефективності використання верстатів з ЧПК та обробних центрів з ЧПК планується використовувати верстатні пристрої для базування та закріплення заготовки, оснащені механізованими

приводами її закріплення. Остаточно питання про вибір устаткування вирішимо після відповідного обґрунтування в подальших пунктах цієї роботи.

2.2 Вибір способу отримання заготовки та розробка технічних вимог до неї

У заводському технологічному процесі заготовку «плити» отримують литтям в кокіль (багаторазові форми). Для умов дрібносерійного виробництва вказаний метод отримання заготовки є цілком прийнятним. Альтернативним способом отримання заготовки може служити лиття в піщано-глинисті форми. Лиття в піщано-глинисті форми є найбільш універсальним методом, однак, виготовлення форм вимагає великих витрат часу. Так, набивка 1 м³ формувальної суміші вручну займає 1,5 – 2 години. Застосування піскомета скорочує час набивання до 6 хвилин. Струшувальні машини прискорюють набивання порівняно з ручним в 15 разів, а пресування – в 20 разів. Трудомісткість отримання такої заготовки є порівняно невеликою, спостерігаються досить високі коефіцієнти використання матеріалу. При масі готової деталі $M_{дет} = 16,8$ кг і вилівка, одержуваного литтям у кокіль $M_{заг1} = 19,8$ кг маємо коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{в.м1} = M_{д} / M_{заг1} = 16,8 / 19,8 = 0,85,$$

при масі вилівка литтям в піщано-глинисті форми $M_{заг2} = 22,4$ кг маємо

$$K_{в.м2} = M_{д} / M_{заг2} = 16,8 / 22,4 = 0,75.$$

І в першому, і в другому випадку коефіцієнт використання матеріалу є досить високим, однак отримання заготовки в багаторазові форми може виявитися досить дорогим способом. Для обґрунтування оптимального способу отримання заготовки слід зробити відповідні техніко-економічні розрахунки, визначивши собівартість отримання заготовки за базовим та альтернативним варіантами.

Собівартість заготовок, одержуваних литтям, можна визначити за формулою [2]:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_e \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \left(\frac{S_{\text{вдх}}}{1000} \right),$$

- де C_i – базова вартість 1 т заготовок, грн;
 k_T – коефіцієнт, що залежить від класу точності виливка;
 k_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності виливка;
 k_b – коефіцієнт, що залежить від маси виливка;
 k_m – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу виливка;
 k_n – коефіцієнт, що залежить від обсягу виробництва заготовок;
 Q – маса виливка, кг;
 q – маса готової деталі, кг;
 $S_{\text{вдх}}$ – вартість 1 т відходів, грн.

Для лиття в кокіль вищевказані коефіцієнти мають такі значення:

- $k_T = 1,03$ – для 2-го класу точності виливка;
 $k_c = 1,0$ – для 3-ї групи складності виливка з чавуну;
 $k_b = 0,84$ – для чавунних виливок масою 10...20 кг;
 $k_m = 1,0$ – для виливок з чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85;
 $k_n = 1,0$ – для 3-ї групи серійності за річного обсягу випуску 400 штук.

Вартість 1 т чавунного лиття в кокіль дорівнює $C_1 = 26200$ грн, маса заготовки $Q_1 = 19,8$ кг. Вартість відходів з сірого чавуну дорівнює $S_{\text{вдх}} = 2800$ грн. В результаті отримаємо собівартість виливка в кокіль:

$$S_{\text{заг1}} = \frac{26200}{1000} \cdot 19,8 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 0,84 \cdot 1,0 \cdot 1,0 - (19,8 - 16,8) \cdot \frac{2800}{1000} = 440,43 \text{ грн.}$$

Для лиття в піщано-глинисті форми з ручним формуванням вище перераховані коефіцієнти мають такі значення:

$k_T = 1,03$ – для 2-го класу точності виливка;

$k_C = 1,0$ – для 3-ї групи складності виливка з чавуну;

$k_B = 0,8$ – для чавунних виливок масою 20...50 кг;

$k_M = 1,0$ – для виливок з сірого чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85;

$k_{II} = 1,0$ – для 3-ї групи серійності за річного обсягу випуску 400 штук.

Вартість 1 т чавунного лиття в піщано-глинисті форми дорівнює $C_2 = 6000$ грн, вартість відходів з сірого чавуну дорівнює $S_{вдх} = 2800$ грн, маса заготовки $Q_2 = 22,4$ кг, маса готової деталі $q = 16,8$ кг. У цьому випадку собівартість отримання заготовки в піщано-глинисті форми дорівнюватиме:

$$S_{заг2} = \frac{24800}{1000} \cdot 22,4 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 - (22,4 - 16,8) \cdot \frac{2800}{1000} = 388,94 \text{ грн.}$$

Вартість лиття в піщано-глинисті форми є меншою за вартість лиття в багаторазові форми. Однак виливок в піщано-глинисті форми має завищені порівняно з литтям в кокіль припуски і напуски, в зв'язку з чим вимагає додаткового механічного оброблення. За попередніми розрахунками собівартість додаткового механічного оброблення такого виливка складатиме $C_{до} = 88,44$ грн. У підсумку, отримання заготовки литтям в кокіль з економічної точки зору є вигіднішим.

Так, в перспективному технологічному процесі виготовлення «плити» приймаємо спосіб отримання заготовки – лиття в кокіль (як і в базовому технологічному процесі).

Зробимо розрахунок припусків і допусків заготовки відповідно до ГОСТ 26645-85.

Встановлюємо спосіб лиття – лиття в кокіль.

Встановлюємо бази першої операції механічної обробки заготовки – пласка поверхня 5 (див. рисунок 1.3).

Положення виливка у формі за лінією площини роз'єму – горизонтальне.

Встановлюємо клас розмірної точності – 7 ... 11, беремо 11 (для розмірів виливка, утворених однією частиною форми або одним стрижнем беремо клас розмірної точності – 10).

Встановлюємо ступінь викривлення елементів виливка – 5 ... 8, беремо 8.

Встановлюємо ступінь точності поверхонь виливка – 7 ... 12, беремо 12.

Визначаємо шорсткість поверхонь виливка за критерієм $R_a = 25$ мкм.

Встановлюємо клас точності мас залежно від способу отримання виливки – 5 ... 12, беремо 12.

Встановлюємо допуск зміщення виливка за площиною роз'єму виливка, який дорівнює допуску розмірної точності найбільш тонкої стінки виливка, що виходить на роз'єм – 2,8 мм.

Визначаємо ряд припусків на обробку виливків – 4 ... 7, беремо 6. Для верхньої поверхні виливка 10 (див. рисунок 1.3) беремо ряд припусків – 8.

Позначивши оброблювані поверхні виливка відповідно до малюнка 1.3 складемо таблицю 2.2 для визначення розмірів заготовки.

Таблиця 2.2 – Визначення розмірів заготовки, у міліметрах

№ поверхні (див. рисунок 1.3)	Номинальний розмір елемента деталі	Основний допуск на розмір елемента випівка	Допуск форми, розташування елементів випівка	Загальний допуск на розмір елемента випівка	Вид механічного оброблення	Половина загального допуску	Ряд припусків	Величина припуску	Розмір елемента випівка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площина – площина									
5	29,74	2,2	2,0	3,6	Не оброб.	1,8	-	-	34±1,8
10			2,0		Чистове		8	3,1	
6	39,69	2,2	1,2	3,6	Тонке	1,8	6	2,8	47±1,8
10			2,0		Чистове		8	3,1	
3	79,63	2,8	0,64	4,0	Чистове	2,0	6	2,8	87±2,0
10			2,0		Чистове		8	3,4	
14	269,35	3,6	1,2	4,4	Чорнове	2,2	8	2,4	275±2,2
14'			1,2		Чорнове		8	2,4	
Площина – отвір									
1	37	3,6	0,64	4,0	Чистове	2,0	8	3,4	41±2,0
2			0,64		Тонке		8	3,6	
Циліндричний отвір									
2	55,015	2,4	0,64	2,4	Тонке	1,2	8	2,7	49±1,2

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 2.2 оформлюємо ескіз (див. рисунок 2.1) та креслення випівка.

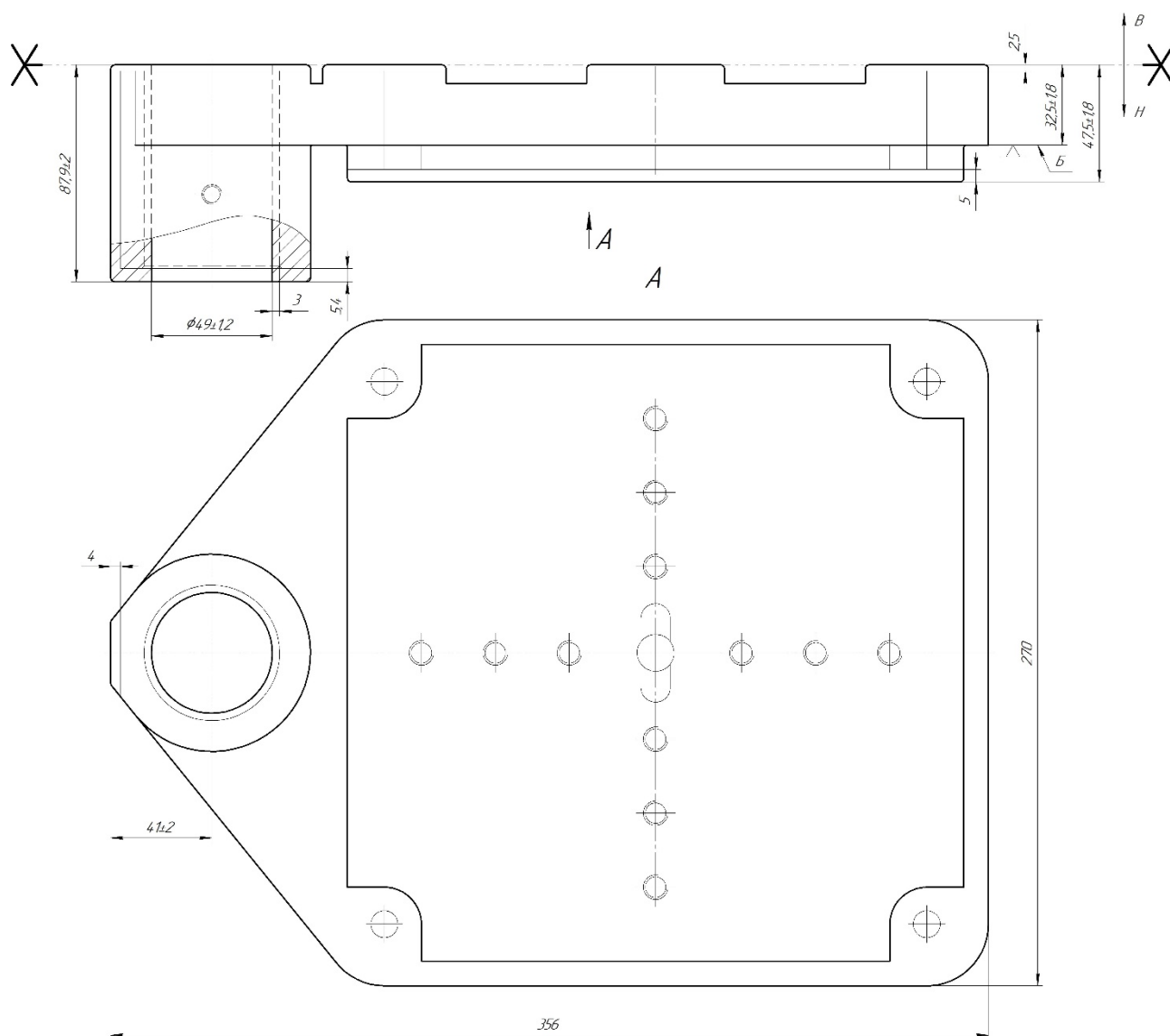


Рисунок 2.1 – Ескіз виливка

2.3 Визначення припусків на обробку поверхні обертання аналітичним способом

Відповідно до завдання на проектування виконаємо розрахунок операційних припусків і розмірів на обробку циліндричного отвору D55H7. Розрахунок припусків виконаємо згідно з методикою проф. Кована В. М. [2] на ЕОМ. При підготовці вихідних даних до розрахунку слід враховувати маршрут обробки поверхні D55H7 мм, який включає 5 операцій з урахуванням лиття, а також елементи мінімального припуску, величину якого можна визначити за формулою:

$$2Z_{\min} = 2\left(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + E y_i^2}\right),$$

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні, отримувана на попередньому переході;

T_{i-1} – величина дефектного шару, отримувана на попередньому переході;

ρ_{i-1} – величина просторових відхилень, отримувана на попередньому переході;

$E y_i$ – похибка установки заготовки на даному переході.

Технологічний процес обробки поверхні визначимо з урахуванням пропозицій, наведених у п. 2.1 цієї роботи (див. таблицю 2.1):

- 1) лиття в кокіль ($Rz = 200$ мкм, $H = 300$ мкм);
- 2) розточування чорнове (H12, $Rz = 50$ мкм, $H = 50$ мкм);
- 3) розточування чистове (H10, $Rz = 20$ мкм, $H = 30$ мкм);
- 4) розвертання чорнове (H8, $Rz = 10$ мкм, $H = 10$ мкм);
- 5) розвертання чистове (H7, $Ra = 1,6$ мкм).

Величина просторових відхилень для поверхонь вилівка, отриманого литтям в кокіль включатиме похибку зміщення положення стрижня (отвору) в розмірі 1,2 мм, і викривлення (короблення) поверхні отвору в розмірі 0,16 мм на довжині поверхні отвору. Тоді сумарне відхилення складатиме

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} = \sqrt{1,2^2 + 0,16^2} = 1,211 \text{ мм (1211 мкм)}.$$

Для чорнового розточування величина залишкових просторових відхилень складатиме $1211 \cdot 0,06 = 73$ мкм, для чистового розточування – $1211 \cdot 0,04 = 49$ мкм, чорнового розвертання – $1211 \cdot 0,01 = 12$ мкм (0,06, 0,04, 0,01 – коефіцієнти уточнення [2]).

Похибку базування заготовки на розточувальних операціях беремо рівною нулю, тому що заготовка встановлюється на трикулачній конічній плаваючій оправці.

Похибку закріплення заготовки беремо рівною нулю, тому що передбачається, що сили закріплення при установці заготовки будуть діяти уздовж осі оброблюваного отвору.

Результати розрахунку припусків на механічну обробку отвору D55H7 представлені в додатку Г, схема розташування полів припусків і допусків представлена на рисунку 2.2.

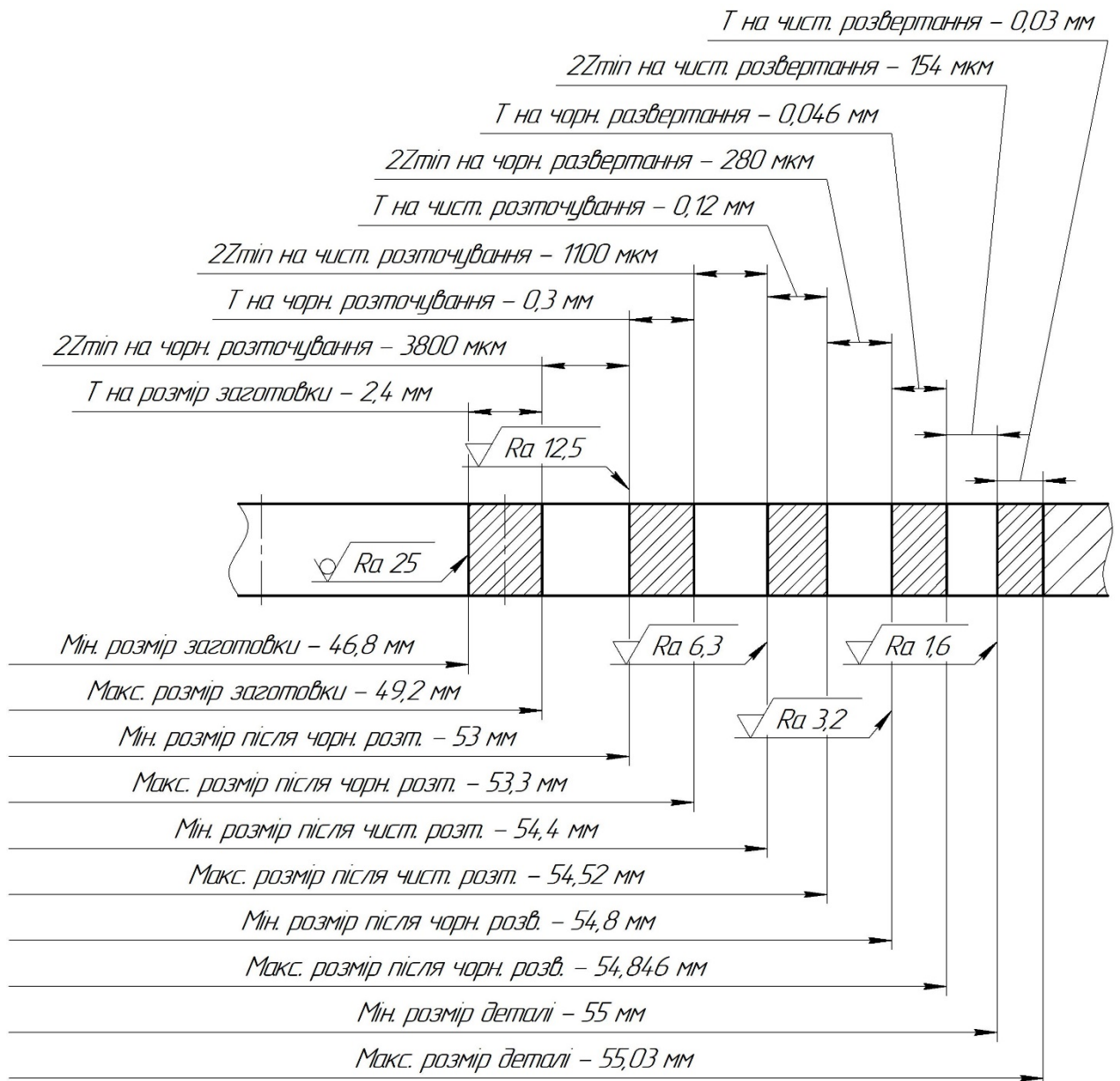


Рисунок 2.2 – Схема розташування полів припусків й допусків на обробку отвору діаметром 55H7

2.4 Обґрунтування вибору схеми базування та закріплення заготовки

Операція 015 поздовжньо-фрезерна. На даній операції здійснюється чорнове фрезерування опорної і робочої поверхонь «плити». На дану операцію заготовка потрапляє після лиття в кокіль і ще не має достатньо розвинених і точних поверхонь. У той же час, опорна і робоча поверхні «плити», які будуть піддаватися механічному обробленню мають досить велику площу і можуть претендувати на роль базових. У технічних вимогах на виливок регламентується допуск на відхилення від площинності для необроблюваної поверхні 5 (див. рисунок 1.3). Дана поверхня може використовуватися як чорнова база, на першому установі першої механічної операції. Базування по даній поверхні позбавить заготовку 3-х ступенів свободи (установча база): поступальне переміщення уздовж осі Z, обертання навколо X і Y (див. рисунок 2.3).

В якості інших чорнових баз можна використовувати бокові поверхні 14 й 18 «плити», які мають достатню протяжність, а наявність викривлення або інших дефектів на зазначених поверхнях в даному випадку не матиме впливу на розмірну точність оброблюваних поверхонь, що визначається в перпендикулярній площині. Базування по поверхні 14 реалізує напрямну базу і позбавляє заготовку поступального переміщення уздовж осі Y і обертання навколо осі Z. Упор по поверхні 18 позбавляє заготовку переміщення уздовж осі X. Таким чином заготовка позбавляється всіх 6-ти ступенів свободи. При цьому згідно з поданим операційного ескізу при обраній схемі базування реалізується принцип суміщення баз, що сприяє досягненню високої розмірної точності при обробці поверхонь.

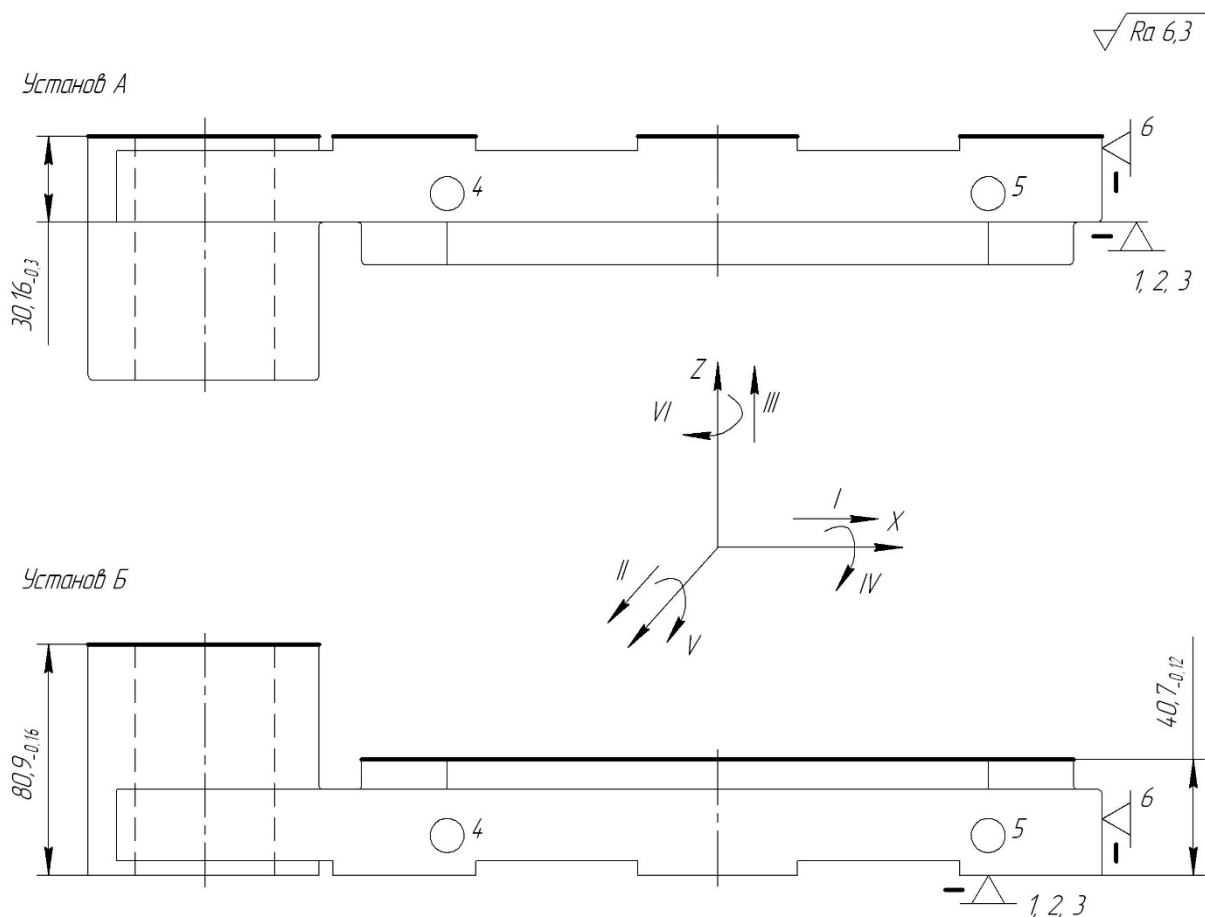


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки на операції 015

Операція 025 комплексна на ОЦ з ЧПК. На даній операції здійснюється обробка 4-х отворів. Два з чотирьох отворів (по діагоналі) обробляються відповідно до вимог креслення деталі по 12 квалітету розмірної точності. Два інших отвори обробляють з підвищеною точністю, по 7 квалітету розмірної точності, і в подальшому будуть використовуватися як технологічні бази. Найбільш розвиненою і точної поверхнею до цього етапу технологічного процесу є опорна поверхня 10 «плити» (оброблена остаточно відповідно до вимог креслення деталі). Базування по даній поверхні позбавить заготовку 3-х ступенів свободи (установча база): поступальне переміщення уздовж осі Z, обертання навколо X і Y (див. рисунок 2.4).

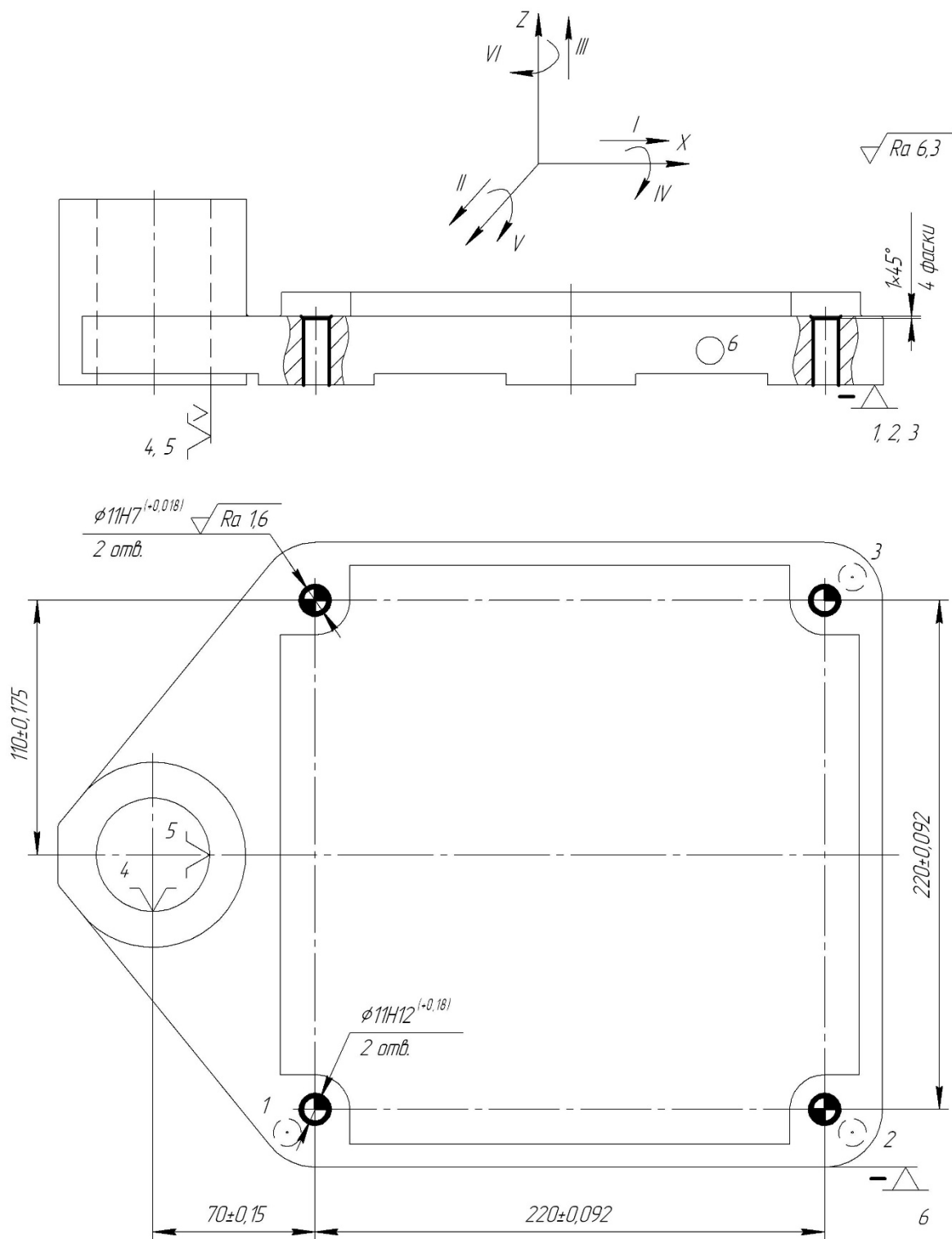


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції 025

Щоб позбавити заготовку поступальних переміщень уздовж осей X і Y, а також обертання навколо осі Z, необхідний реалізувати упори по бокових

поверхнях 14, 18 заготовки або виконати прив'язку за наскрізним отвором 2 в бонці з упором в поверхню 14. Всі зазначені поверхні є необробленими. У той же час, для забезпечення рівномірного розподілу припуску по отвору 2 бажана прив'язка за отвором, наприклад, з використанням конічного пальця. Тоді базування по конічному пальцю і отвору позбавить заготовку 2-х ступенів свободи (подвійна опорна база): заготовка позбавляється поступальних переміщень уздовж осі X і осі Y. Упор по поверхні 14 реалізує опорну базу і позбавляє заготовку обертання навколо осі Z.

При цьому згідно з поданим операційним ескізом при обраній схемі базування реалізується принцип суміщення баз, що сприяє досягненню високої розмірної точності при обробці поверхонь.

Операція 045 комплексна на ОЦ з ЧПК. На даній операції здійснюється свердління отвору 7 (див. рисунок 2.5) $\varnothing 14,5H12$ під подальше розвертання, свердління 12 отворів 13 $\varnothing 8,5H12$ під подальше нарізання різьби, фрезерування паза 8 шириною $12H12$, чорнове і чистове розвертання отвору 2 $\varnothing 55H7$, чорнове і чистове розвертання отвору 7 $\varnothing 15H7$, нарізання різі M10-7H в 12 отворах 13. Для реалізації принципу сталості баз на даній операції пропонується базувати заготовку по опорній поверхні 10 «плити» (установча база), що позбавить заготовку 3-х ступенів свободи: заготовка позбавляється поступальних переміщень уздовж осі X і осі Y (див. рисунок 2.4).

Центрування заготовки по циліндричному пальцю і попередньо обробленому з підвищеною точністю отвору $\varnothing 11H7$ реалізує подвійну опорну базу (заготовка позбавляється поступальних переміщень уздовж осей X і Y). Базування по зрізаному пальцю і другому отвору $\varnothing 11H7$ (по діагоналі) реалізує опорну базу і позбавляє заготовку обертання навколо осі Z (навколо циліндричного пальця).

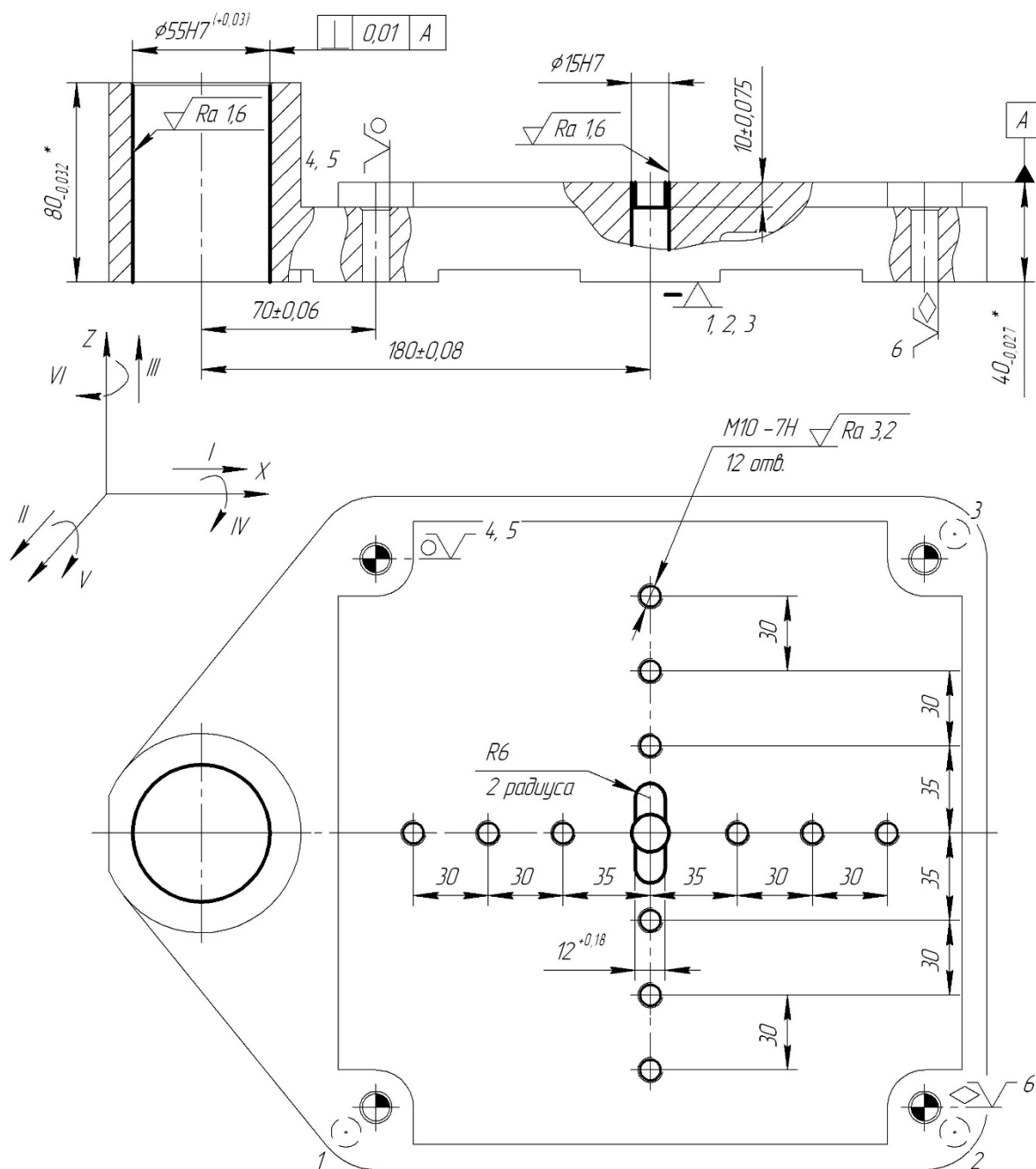


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки на операції 045

Установка заготовки по отвору і циліндричному пальцю з зазором дає похибку базування, яку можна розрахувати за формулою [5]:

$$\varepsilon_0 = \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta,$$

де δ_1 – допуск на діаметр отвору (0,018 мм);

δ_2 – допуск на діаметр пальця (0,011 мм);

Δ – мінімальний радіальний зазор між отвором заготовки та пальцем (0,006 мм).

$$\varepsilon_o = 0,018 + 0,011 + 2 \cdot 0,006 = 0,041 \text{ мм.}$$

Таким чином, при обробці заготовки за вказаною схемою базування має місце похибка базування, яка, зокрема, не перевищує допуск на розмір $70 \pm 0,06$ мм ($T_{70} = 0,12$ мм). Таким чином, вибрана схема базування дозволяє забезпечити дотримання вимог креслення.

2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

Операція 015 поздовжньо-фрезерна. У базовому варіанті технологічного процесу під час обробки отворів використовують поздовжньо-фрезерний верстат моделі 6606 (див. таблицю 2.3). Використовуваний метод обробки (торцеве фрезерування), співвідношення габаритів заготовки й робочого простору верстата, його потужність відповідають прийнятим умовам виробництва. До недоліків цієї моделі можна віднести моральну застарілість та відсутність засобів автоматизації. З іншого боку, операція поздовжньо-фрезерна 015 реалізується в умовах дрібносерійного виробництва, є досить простою за структурою та не передбачає складних траєкторій руху ріжучого інструменту. Таким чином, базову модель верстата можна вважати раціональною і такою, що не вимагає заміни.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика поздовжньо-фрезерного верстата 6606

Найменування характеристики	Од. вим.	Величина
Клас точності		Н
Розміри робочої поверхні столу	мм	630×2000
Кількість шпиндельних бабок:		
- горизонтальних		2
- вертикальних		1
Частота обертання шпинделя	об/хв	25...2500
Межі подач столу	мм/хв	6...2500
Межі подач шпиндельних бабок	мм/хв	5...2000
Швидкість швидкого переміщення столу	мм/хв	8000
Потужність ЕД головного руху	кВт	15
Габарити верстата	Мм	
- довжина		6200
- ширина		3770
- висота		3600
Вага верстата	кг	21950

Операція 025, 045 комплексна на ОЦ з ЧПК. У базовому варіанті технологічного процесу під час обробки отворів і пазів використовують радіально-свердлильний, координатно-розточувальний і фрезерний верстати. Обробка поверхонь ведеться з використанням попередньої операції ручного розмічування. Пропонується, як технологічне устаткування використовувати вертикальний обробний центр з ЧПК, що дозволить застосувати обробку свердлінням, зенкуванням, розвертанням за один установ заготовки, усунути малопродуктивне ручне розмічування. Використання системи ЧПК дозволить стабілізувати точність обробки поверхонь заготовки, покращить умови праці робітника. Наявність системи автоматичної заміни ріжучого інструменту, інструментального магазину дозволить підвищити продуктивність обробки за рахунок скорочення допоміжного часу на зміну інструменту.

Аналіз конфігурації заготовки, її габаритів, властивостей матеріалу, дані про масу заготовки, використовувані методи обробки, дозволяють запропонувати в якості металорізального устаткування вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК моделі V-650, див. таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики верстата моделі V-650

Найменування характеристики	Величина
Система ЧПК	Fanuc
Тип направляючих	кочення
Область обробки	
За віссю X, мм	650
За віссю Y, мм	410
За віссю Z, мм	400
Відстань від торця шпинделя до столу, мм	125 – 625
Стіл	
Розміри столу, мм×мм	770×400
Максимальне навантаження на стіл, кг	300
T-подібні пази, мм	3×18T-125
Шпиндель	
Частота обертання, об/хв	10000
Конус шпинделя	#40
Потужність шпинделя, кВт	7,5/11

Продовження таблиці 2.4

Найменування характеристики	Величина
Подача	
Швидкість прискореного руху за віссю X, м/хв	24
Швидкість прискореного руху за віссю Y, м/хв	24
Швидкість прискореного руху за віссю Z, м/хв	20
Швидкість різання за віссю XYZ, м/хв	5
Точність	
Повторюваність, мм	0,007
Позиціонування, мм	±0,005
Автоматична зміна інструменту	
Кількість інструментів	16(24)
Час зміни від інструменту до інструменту, сек	8
Час зміни від різку до різку, сек	14
Різне	
Площа, мм×мм	2850×1900
Вага верстата, кг	4200
Споживання енергії, кВт×А	20

2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки

Операція 015 поздовжньо-фрезерна. У базовому технологічному процесі для установки і закріплення заготовки використовують гвинтові прихвати. Для скорочення часу на установку і закріплення заготовки планується застосування спеціального верстатного пристрою з механізованим, наприклад, пневматичним, приводом.

При виборі ріжучого та вимірювального інструмента перевагу віддаємо стандартному інструменту, що для умов дрібносерійного виробництва є цілком прийнятним.

Як ріжучий інструмент для фрезерування поверхонь заготовки вибираємо фрезу торцеву діаметром 315 мм, позначення – фреза 2214-0313 BK8 ГОСТ 9473-80. Допоміжний інструмент для закріплення фрези – оправка 6222-0106 ГОСТ 26541-85.

Вимірювальний інструмент для контролю лінійних розмірів – штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89, для контролю шорсткості – зразки шорсткості згідно з ГОСТ 9378-75.

Операція 025 комплексна на ОЦ з ЧПК. У базовому технологічному процесі для установки і закріплення заготовки використовують гвинтові прихвати. Для скорочення часу на установку і закріплення заготовки планується застосування спеціального верстатного пристрою з механізованим, наприклад, пневматичним, приводом.

Відомість ріжучого і допоміжного інструменту представлено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Відомість технологічної оснастки на операцію 025

Вміст переходу	Найменування ріжучого інструменту	Найменування допоміжного інструменту
А.1 Свердлити 2 отв. Ø10,8H12 напрохід згідно з ескізом	Свердло 035-2301-1281 P6M5 ОСТ 2И20-1-80	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.2 Свердлити 2 отв. Ø11H12 напрохід згідно з ескізом	Свердло 035-2301-1283 P6M5 ОСТ 2И20-1-80	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.3 Зенкувати 4 фаски в розмір 1×45° згідно з ескізом	Зенківка 2353-0134 P6M5 ГОСТ 14953-80 (Конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85
А.4 Розвернути 2 отв. Ø11H7 згідно з ескізом	Розвертка 2363-3426 P6M5 ГОСТ 1672-80 (Конус Морзе 1)	Втулка 191831431, Втулка 191831063 ТУ 2-035-978-85

Для контролю отворів Ø11H7 використовуємо калібр-пробку D11H7 ПР-НЕ, чистоту оброблених поверхонь будемо контролювати з використанням зразків шорсткості згідно з ГОСТ 9378-75.

Операція 045 комплексна на ОЦ з ЧПК. У базовому технологічному процесі для установки і закріплення заготовки використовують гвинтові прихвати. Для

скорочення часу на установку і закріплення заготовки планується застосування спеціального верстатного пристрою з механізованим, наприклад, пневматичним, приводом.

Відомість ріжучого і допоміжного інструменту представлено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Відомість технологічної оснастки на операцію 025

Вміст переходу	Найменування ріжучого інструменту	Найменування допоміжного інструменту
А.1 Свердлити отв. Ø14,5Н12 напрохід згідно з ескізом	Свердло 035-2300-1310 Р6М5 ОСТ 2И20-1-80	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.2 Свердлити 12 отв. Ø8,5Н12 напрохід й фаску 1,6×45° згідно з ескізом	Свердло 2310-0372 Р6М5 ОСТ 2И20-7-84	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.3 Фрезерувати паз 12Н12 згідно з ескізом	Фреза 2220-0275 ВК8 ГОСТ 18372-73	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.4 Розвернути отв. Ø54,8Н8 напрохід згідно з ескізом	Розвертка машинна насадна спеціальна D54,8 Р6М5	Оправка регулируемая 191411137 ОСТ 2П14-3-82
А.5 Розвернути отв. Ø55Н7 напрохід згідно з ескізом	Розвертка машинна насадна спеціальна D55 Р6М5	Оправка регулируемая 191411137 ОСТ 2П14-3-82
А.6 Розвернути отв. Ø14,8Н8 напрохід згідно з ескізом	Розвертка машинна спеціальна D14,8 Р6М5	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.7 Розвернути отв. Ø15Н7 напрохід згідно з ескізом	Розвертка машинна спеціальна D15 Р6М5	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85
А.8 Нарізати різь М10-7Н (12 отв.) напрохід згідно з ескізом	Мітчик 035-2620-0523 Р6М5 ОСТ 2И52-1-74	Державка 191112031 ТУ 2-035-763-80, патрон регульований 191221029А ТУ 2-035-975-80

Вимірювальний інструмент: калібр-пробка D55Н7 ПР-НЕ, калібр-пробка D15Н7 ПР-НЕ, калібр-пробка різьбовий М10-7Н ПР-НЕ, зразки шорсткості згідно з ГОСТ 9378-75.

2.7 Визначення режимів різання

Операція 015 поздовжньо-фрезерна. Виконаємо розрахунок режимів різання на фрезерування поверхні в розмір $40,7_{-0,12}$ мм, $Ra = 6,3$ мкм, перехід Б.1 (чорнове фрезерування). Фрезерування виконується на поздовжньо-фрезерному верстаті моделі 6606 фрезою торцевою 2214-0313 ВК8 ГОСТ 9473-80 ($D_{фр} = 315$ мм, $z = 30$) по корці. Матеріал заготовки – чавун сірий СЧ20 ГОСТ 1412-85 (НВ 205).

Розрахунок режимів різання виконаємо за методикою [6].

1. Глибина різання $t = 2,5$ мм (припуск видаляється за 2 проходи).
2. Вибираємо подачу на зуб, при $t = 4,5$ мм, $D_{фр} = 315$ мм – $S_z = 0,16$ мм.
3. Визначаємо швидкість різання за формулою [6]:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_V,$$

де $C_V = 445$ – для торцевих фрез [6];

$D = 315$ мм – діаметр фрези;

$q = 0,2$;

$T = 180$ хв – період стійкості фрези;

$m = 0,32$;

$t = 4,5$ мм – глибина різання;

$x = 0,15$;

$y = 0,35$;

$B = 125$ мм – ширина фрезерування;

$u = 0,2$;

$p = 0$;

$$K_V = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (2.1)$$

де $K_{mv} = (190/HV)^{n_v}$ – поправочний коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу;

$$n_v = 1,25;$$

$$HV = 205;$$

$$K_{mv} = (190/205)^{1,25} = 0,91;$$

$K_{nv} = 0,85$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки: обробка здійснюється по корці;

$K_{iv} = 0,83$ – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу: ВК8;

$$K_v = 0,91 \cdot 0,85 \cdot 0,83 = 0,642.$$

Тепер визначимо швидкість різання:

$$V = \frac{445 \cdot 315^{0,2}}{180^{0,32} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,16^{0,35} \cdot 125^{0,2} \cdot 30^0} \cdot 0,642 = 107,9 \text{ м/хв.}$$

4. Визначимо частоту обертання шпинделя за формулою

$$n = (1000 \cdot V) / (\pi \cdot D) = (1000 \cdot 107,9) / (\pi \cdot 315) = 109 \text{ об/хв.}$$

Встановлюємо частоту обертання шпинделя за паспортом верстата $n_n = 100$ об/хв. Тоді фактична швидкість різання дорівнює:

$$V_\phi = (\pi \cdot D \cdot n_n) / 1000 = (\pi \cdot 315 \cdot 100) / 1000 = 98,96 \text{ м/хв.}$$

5. Визначимо силу різання:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP},$$

де $C_p = 54,5$ – для торцевих фрез;

$$x = 0,9;$$

$$y = 0,74;$$

$$u = 1,0;$$

$$q = 1,0;$$

$$w = 0;$$

$K_{mp} = (HB/190)^{np} = (205/190)^{1,0} = 1,08$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу;

$$P_z = \frac{10 \cdot 54,5 \cdot 2,5^{0,9} \cdot 0,16^{0,74} \cdot 125^1 \cdot 30}{315^{1,0} \cdot 98,96^0} \cdot 1,08 = 4114 \text{ Н.}$$

6. Визначимо крутний момент на шпинделі верстата:

$$M_{кр} = P_z \cdot D / (2 \cdot 100) = 4114 \cdot 315 / 200 = 6480 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

7. Визначимо потужність різання:

$$N_p = (P_z \cdot V) / (60 \cdot 1020) = (4114 \cdot 98,96) / (60 \cdot 1020) = 6,65 \text{ кВт.}$$

$$N_{\delta} = N_{\delta\delta} \cdot \eta = 15 \cdot 0,75 = 11,25 \text{ кВт} > N_p = 6,65 \text{ кВт.}$$

Таким чином, розраховані режими різання можуть бути реалізовані.

8. Визначимо машинний (основний) час обробки на даному переході:

$$T_o = L \cdot i / S_{хв},$$

де $L = l_{\delta} + l + l_{пер},$

L – довжина обробки, мм;

$l_e + l_{nep} = 290$ мм – довжина врізання та перебігу фрези;

$l = 250$ мм – довжина оброблюваної поверхні;

$S_{xв}$ – хвилинна подача фрези;

$i = 4$ – число проходів фрези при обробці поверхні 250×250 мм.

$$S_{xв} = S_z \cdot Z \cdot n = 0,16 \cdot 30 \cdot 100 = 480 \text{ мм/хв};$$

$$L = 250 + 290 = 540 \text{ мм},$$

$$T_o = 540 \cdot 4 / 480 = 5,0 \text{ хв.}$$

Режими різання на інші переходи операції:

А.1 – $t = 2,5$ мм, $i = 2$, $S_{xв} = 480$ мм/хв, $n = 100$ об/хв, $V = 98,96$ м/хв,
 $T_o = 2,5$ хв;

Б.2 – $t = 2,5$ мм, $i = 2$, $S_{xв} = 600$ мм/хв, $n = 125$ об/хв, $V = 123,7$ м/хв, $T_o = 0,57$ хв.

Так, основний час на операцію складає

$$T_o = T_{oA.1} + T_{oB.1} + T_{oB.2} = 2,5 + 5,0 + 0,57 = 8,07 \text{ хв.}$$

Операція 030 комплексна на ОЦ з ЧПК. Виконаємо розрахунок режимів різання на попереднє розточування отвору в розмір $\varnothing 53H12$, $Ra = 12,5$ мкм, перехід А.1 (чорнове розточування). Розточування виконується на вертикальному фрезерно-свердлильно-розточувальному верстаті з ЧПК типу обробний центр моделі V-650 (Leaderway) розточувальною оправкою 191421044 ТУ 2-035-775-80 з різцем 2142-0175 BK8 ГОСТ 9795-73, по корці. Матеріал заготовки – чавун сірий СЧ20 ГОСТ 1412-85 (HB 205).

Розрахунок режимів різання виконаємо за методикою [6].

1. Визначимо глибину різання: $t = (D_d - D_3) / 2 = (53 - 48) / 2 = 2,5$ мм.

2. Визначимо подовжню подачу різця на оборот заготовки [6]:

$S_o = 0,3 \dots 0,5$ мм / об. Приймаємо $S_o = 0,4$ мм / об.

3. Визначимо допустиму умовами обробки швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V,$$

де $C_V = 292$ [6] – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$T = 60$ хв – період стійкості різця;

$x = 0,15$; $y = 0,2$; $m = 0,2$.

Поправочний коефіцієнта на умови обробки визначимо за формулою (2.1):

$$K_V = 0,91 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,73.$$

Крім того, для обробки розточування в порівнянні з зовнішнім поздовжнім гострінням вводиться поправочний коефіцієнт 0,9:

$$V = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,4^{0,4}} \cdot 0,73 \cdot 0,9 = 88,3 \text{ м/хв.}$$

4. В такому разі частота обертання шпинделя дорівнює

$$n = (1000 \cdot V) / (\pi \cdot D) = (1000 \cdot 88,3) / (\pi \cdot 53) = 530 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо частоту обертання шпинделя в розмірі 530 об / хв.

В цьому випадку фактична швидкість різання буде:

$$V = (\pi \cdot D \cdot n) / 1000 = (\pi \cdot 53 \cdot 530) / 1000 = 88,3 \text{ м/хв.}$$

5. Визначимо силу та потужність різання за формулою

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

де $C_p = 92$ – для розточування твердосплавними різцями [6];
 $x = 1,0; y = 0,75; n = 0$.

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p},$$

де $K_{mp} = (HB/190)^{np} = (205/190)^{0,4} = 1,03$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу;

$K_{\varphi p} = 0,89$ – коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані;

$K_{\gamma p} = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута різця;

$K_{\lambda p} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу головної ріжучої кромки різця.

$$K_p = 1,03 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \approx 1,0.$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 88,3^0 \cdot 1,0 = 1167,5 \text{ Н.}$$

6. Визначимо потужність різання

$$N_p = (P_z \cdot V) / (60 \cdot 1020) = (1167,5 \cdot 88,3) / (60 \cdot 1020) \approx 1,68 \text{ кВт.}$$

При ефективній потужності привода головного руху (шпинделя)
 $N_{ef} = 7,5$ кВт маємо

$$N_{ef} = 7,5 \text{ кВт} > N_p = 1,68 \text{ кВт.}$$

Таким чином, визначені режими різання можуть бути реалізовані на верстаті.

7. Визначимо основний час на перехід А.1:

$$T_o = [L_p \cdot i / (S_o \cdot n)], \quad (2.2)$$

де $L_p = (l + l_{ep} + l_{nep})$ – довжина обробки з урахуванням величин врізання та перебігу;

$$l = 80,2 \text{ мм};$$

$$l_{ep} = 1,5 \text{ мм};$$

$$l_{nep} = 1,5 \text{ мм};$$

$i = 1$ – кількість переходів.

$$T_{oA.1} = (80,2 + 1,5 + 1,5) / (0,4 \cdot 530) \approx 0,39 \text{ хв.}$$

Режими різання на перехід А.2 (півчистове розточування отвору в розмір $\varnothing 54,4H10$, $R_a = 6,3$ мкм): $t = 0,7$ мм, $S_o = 0,25$ мм/об, $n = 860$ об/хв, $V = 147$ м/хв, $T_{oA.2} = 0,39$ хв.

Тож сумарний основний час на операцію становитиме

$$T_o = T_{oA.1} + T_{oA.2} = 0,39 + 0,39 = 0,79 \text{ хв.}$$

З урахуванням машинно-допоміжного часу на операцію $T_{м.д} = 0,44$ хв маємо такий час автоматичного циклу

$$T_{a.ц} = 0,79 + 0,44 = 1,23 \text{ хв.}$$

Операція 045 комплексна на ОЦ з ЧПК. Виконаємо розрахунок режимів різання на свердління отвору в розмір $\varnothing 14,5H12$, $R_a = 6,3$ мкм, перехід А.1 (свердління під подальше розвертання). Свердління виконується на вертикальному фрезерно-свердлильно-розточувальному верстаті з ЧПК типу обробний центр моделі V-650 (Leaderway) свердлом 035-2300-1310 P6M5 ОСТ 2И20-1-80. Матеріал заготовки – чавун сірий СЧ20 ГОСТ 1412-85 (НВ 205).

Розрахунок режимів різання виконаємо за методикою [6].

1. Глибина різання. При свердлінні глибина різання дорівнює $t = 0,5 \cdot D$. Для діаметра свердління 14,5 мм глибина різання складатиме $t = 7,25$ мм.

2. Подача. При свердлінні отворів без обмежуючих факторів вибираємо максимально допустиму за міцністю свердла подачу [6]. Для діаметра свердла 14,5 мм і твердості чавуну СЧ20 (НВ 205) беремо значення подачі на оберт $S_o = 0,35$ мм.

3. Швидкість різання. Допустима умовами обробки швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V,$$

де $C_V = 17,1$, $q = 0,25$, $y = 0,4$, $m = 0,125$ – коефіцієнти, показники степенів, що враховують умови обробки;

$T = 30$ хв. – стійкість інструмента;

$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{LV}$ – загальний поправочний коефіцієнт, що враховує оброблювальний, інструментальний матеріали та глибину свердління.

$$K_{MV} = (190/\text{НВ})^{nv} = (190/205)^{1,3} = 0,906.$$

$$K_{IV} = 1,0.$$

$$K_{LV} = 1,0.$$

$$K_V = 0,906 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,906.$$

$$V = \frac{17,1 \cdot 14,5^{0,25}}{30^{0,125} \cdot 0,35^{0,4}} \cdot 0,906 \cdot 0,6 = 18,1 \text{ м/хв},$$

де $0,6$ – коефіцієнт, що враховує форму заточки свердла.

4. Частота обертання шпинделя. Частоту обертання шпинделя визначимо за формулою

$$n = (1000 \cdot V) / (\pi \cdot D) = (1000 \cdot 18,1) / (\pi \cdot 14,5) = 396,1 \text{ об/хв.}$$

Беремо $n = 400$ об/хв. В такому разі фактична величина швидкості різання дорівнюватиме $18,2$ м/хв.

5. Крутний момент й осьова сила свердління.

Крутний момент свердління визначимо за формулою:

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P,$$

де $C_M = 0,021$, $q = 2,0$, $y = 0,8$,

$$K_P = K_{MP} = (HB/190)^{np} = (205/190)^{0,6} = 1,047.$$

$$M = 10 \cdot 0,021 \cdot 14,5^{2,0} \cdot 0,35^{0,8} \cdot 1,047 = 19,953 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Осьову силу свердління визначимо за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p,$$

де $C_p = 42,7$, $q = 1,0$, $y = 0,8$,

$$P_o = 10 \cdot 42,7 \cdot 14,5^{1,0} \cdot 0,35^{0,8} \cdot 1,047 \cdot 1,33 = 3721 \text{ Н.}$$

6. Потужність різання.

Потужність свердління визначимо за формулою:

$$N = \frac{M \cdot n}{9750}$$

Таким чином, $N_p = 0,82$ кВт.

Потужність приводу головного руху верстата з урахуванням ККД складає 7,5 кВт, що більше величини потужності різання $N_p = 0,82$ кВт, визначені режими різання можуть бути виконані на верстаті.

9. Основний час. Визначимо основний час на свердління отвору (перехід А.1) за формулою (2.2), за умов $l = 40$ мм, $l_{ep} = 1$ мм, $l_{nep} = 2$ мм, $i = 1$:

$$T_{oA.1} = [(40+1+2) \cdot 1] / [0,35 \cdot 400] = 0,3 \text{ хв.}$$

Режими різання на інші переходи операції визначені за нормативами [7] і представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Режими різання на операцію 045 комплексну на ОЦ з ЧПК

Номер, вміст переходу	D , мм	L , мм	t , мм	i	S_o , мм/об	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
А.1 Свердлити отв. $\varnothing 14,5H12$ напрохід згідно з ескізом	14,5	42,5	7,25	1	0,35	400	18,21	0,30
А.2 Свердлити 12 отв. $\varnothing 8,5H12$ напрохід й фаску $1,6 \times 45^\circ$ згідно з ескізом	8,5	23	4,25	1	0,25	800	21,35	0,12
А.3 Фрезерувати паз 12H12 згідно з ескізом	12	28	12	1	0,12	500	18,84	0,47
А.4 Розвернути отв. $\varnothing 54,8H8$ напрохід згідно з ескізом	54,8	92	0,2	1	1,6	20	3,44	2,88
А.5 Розвернути отв. 55H7 напрохід згідно з ескізом	55	92	0,1	1	1,2	20	3,45	3,83
А.6 Розвернути отв. 14,8H8 напрохід згідно з ескізом	14,8	48	0,15	1	0,8	300	13,94	0,20

Продовження таблиці 2.7

Номер, вміст переходу	D , мм	L , мм	t , мм	i	S_o , мм/об	n , об/хв	V , м/хв	T_o , хв
А.7 Розвернути отв. 15Н7 напрохід згідно з ескізом	15	48	0,1	1	0,6	400	18,84	0,20
А.8 Нарізати різь М10-7Н (12 отв.) напрохід згідно з ескізом	10	32	-	1	1,5	200	6,28	0,11
Сума:								8,10

З урахуванням машинно-допоміжного часу на операцію $T_{м.д} = 3,42$ хв маємо час автоматичного циклу $T_{а.ц} = 8,10 + 3,42 = 11,52$ хв.

2.8 Технічне нормування операцій

Операція 015 поздовжньо-фрезерна.

Норму штучно-калькуляційного часу на операцію визначимо за формулою [8]:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + t_{н.з} / n, \quad (2.3)$$

де $t_{шт}$ – норма штучного часу, хв.;

$t_{н.з}$ – підготовчо-завершальний час, хв.;

n – кількість деталей в партії, шт.

В свою чергу, штучний час дорівнює:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{обс} + t_{вдн}, \quad (2.4)$$

де t_o – основний час на операцію, хв.;

t_d – допоміжний час на операцію, хв.;

$t_{обс}$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$t_{вдп}$ – час на відпочинок та особисті потреби робочого, хв.

Основний час на операцію – $T_o = 8,07$ хв.

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою:

$$t_{\delta} = t_{уст} + t_{np} + t_{вим}, \quad (2.5)$$

де $t_{уст}$ – час на установку та зняття заготовки з верстата, хв.;

t_{np} – час на керування верстатом, хв.;

$t_{вим}$ – час на контрольні вимірювання, хв.

Маємо:

$$t_{\delta} = 1,64 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначимо за формулою:

$$t_{обс} + t_{вдп} = (t_o + t_{\delta}) \frac{\alpha + \beta}{100}, \quad (2.6)$$

де α, β – відповідно час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого у % від оперативного часу ($t_{оп} = t_o + t_{\delta}$) [8].

$$t_{обс} + t_{вдп} = (8,07 + 1,64) \frac{10}{100} \approx 0,97 \text{ хв.}$$

Тож, штучний час складатиме:

$$t_{шт} = 8,07 + 1,64 + 0,97 \approx 10,68 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час на операцію складає $t_{n.з} = 24$ хв. [8].

Штучно-калькуляційний час дорівнює:

$$t_{шт.к} = 10,68 + 24/48 \approx 11,18 \text{ хв.}$$

Операція 030 комплексна на ОЦ з ЧПК.

Норма часу на виконання операцій на верстатах з ЧПК при роботі на одному верстаті (H_q) складається і з норми підготовчо-завершального часу ($T_{n.з}$) і норми штучного часу ($T_{шт}$) [9]:

$$H_q = T_{шт} + T_{n.з} / n, \quad (2.7)$$

де n – партія запуску.

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_{д} \cdot K_{тд}) \cdot [1 + (a_{тех} + a_{орг} + a_{отд}) / 100], \quad (2.8)$$

де $T_{ца}$ – час циклу автоматичної роботи верстата за програмою.

$$T_{ца} = T_o + T_{мд}, \quad (2.9)$$

де T_o – основний час на обробку деталі;

$T_{мд}$ – машинно-допоміжний ачс за програмою (на підведення деталі або інструмента від початкових точок до зони обробки й відведення, установку інструмента на розмір, заміну інструмента, зміну величини й напрямку подачі, часу технологічних пауз тощо).

$a_{тех}$, $a_{орг}$, $a_{отд}$ – час на технічне й організаційне обслуговування робочого місця, на відпочинок й особисті потреби при одноверстатному обслуговуванні, % от оперативного часу;

$T_{д}$ – допоміжний час:

$$T_{д} = T_{д.у} + T_{д.оп} + T_{д.вим}, \quad (2.11)$$

де $T_{\partial.y}$ – час на установку й зняття деталі вручну або підйомними пристроями, хв;

$T_{\partial.on}$ – допоміжний час, пов'язаний з операцією (такий, що не увійшов до керуючої програми), хв;

$T_{\partial.вим}$ – допоміжний час на вимірювання, що не перекривається основним часом, хв;

K_{td} – поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної роботи залежно від партії оброблюваних деталей.

Час автоматичного циклу на операцію складає (див. п. 2.7 цієї роботи):

$$T_{a.ц} = 1,23 \text{ хв.}$$

$$T_{\partial} = 1,12 \text{ хв.}$$

$$T_{on} = T_{a.ц} + T_{\partial} = 1,23 + 1,12 = 2,34 \text{ хв.}$$

Відповідно до [9] беремо ($a_{mex} + a_{opz} + a_{omd}$) в розмірі 14% від оперативного часу.

Тож маємо

$$T_{um} = 2,34 \cdot (1 + 0,14) \approx 2,67 \text{ хв.}$$

При $T_{nz} = 21,44$ хв [9].

$$H_{ц} = 2,67 + 21,44/48 = 3,11 \text{ хв.}$$

Операція 045 комплексна на ОЦ з ЧПК.

Технічне нормування операції виконаємо за методикою [9]. Час автоматичного циклу роботи на операцію складає (див. п. 2.3 цієї роботи):

$$T_{a.ц} = 11,52 \text{ хв.}$$

$$T_{\partial} = 4,82 \text{ хв.}$$

$$T_{on} = T_{a.ц} + T_{\partial} = 11,52 + 4,82 = 16,34 \text{ хв.}$$

Відповідно до [9] беремо ($a_{mex} + a_{opz} + a_{omd}$) в розмірі 14% від оперативного часу.

Тож маємо

$$T_{um} = 16,34 \cdot (1 + 0,14) \approx 18,63 \text{ хв.}$$

При $T_{nz} = 42,44 \text{ хв.}$

$$H_{\eta} = 18,63 + 42,44/48 = 19,51 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

Завдання на проектування. Відповідно до завдання розробимо верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на поздовжньо-фрезерній операції 015. Операція реалізується на установках А і Б. На установі А здійснюється торцеве фрезерування опорної поверхні «плити» в розмір $30,16_{-0,3}$ мм, на установі Б – фрезерування робочої поверхні плити в розмір $40,7_{-0,12}$ мм і поверхні циліндричного припливу в розмір $80,9_{-0,16}$ мм.

Обґрунтування необхідності створення пристосування. Вибір системи пристосування. У заводському технологічному процесі обробка зазначених поверхонь проводилася на універсальному поздовжньо-фрезерному верстаті з використанням методу пробних проходів. Заготовка встановлювалася безпосередньо на стіл верстата і закріплювалася за допомогою гвинтових затискних прихватів.

У пропонованому технологічному процесі операція реалізується на поздовжньо-фрезерному верстаті моделі 6606. Опис і основні технічні характеристики верстата представлені в п. 2.5 цієї роботи. Застосування спеціального пристосування з механізованим приводом дозволить знизити розряд верстатника на даній операції, знизить трудомісткість обробки і підвищить стабільність забезпечення точності розмірів. У зв'язку з цим беремо систему нерозбірних спеціальних пристосувань.

Розробка та обґрунтування схеми базування та закріплення заготовки. Відповідно до запропонованої схеми базування (див. рисунок 2.3) передбачається в якості установчих елементів пристосування використовувати циліндричні штирі. При установці заготовки опорою на штирі буде реалізовано установчу базу, яка позбавить заготовку 3-х ступенів свободи (див. п. 2.4 цієї роботи). Упор заготовки по 2-м опорам і боковій поверхні реалізує напрямну базу, яка позбавить заготовку ще 2-х ступенів свободи. Упор по торцевій поверхні плити (опорна база) позбавить заготовку ще одного ступеня свободи. Таким чином, має місце повний комплект баз – заготовка позбавлена усіх 6-ти ступенів свободи, див. рисунок 2.6.

При обробці опорної і робочої поверхонь «плити» на установках А і Б має місце крутний момент $M_{кр}$ (момент різання), який намагається повернути заготовку навколо своєї вертикальної осі або змістити її щодо базових елементів пристосування в горизонтальній площині. Як затискний елемент пристосування планується використовувати три прихвати, які будуть притискати заготовку з силою затиску P_z до опор, що реалізують установчу базу. Сила затиску P_z повинна запобігати повороту заготовки навколо своєї осі або її поступальним зміщенням за рахунок сил тертя $F_{тр}$ між поверхнями заготовки і передусім установчих (опорних) елементів, див. рисунок 2.6.

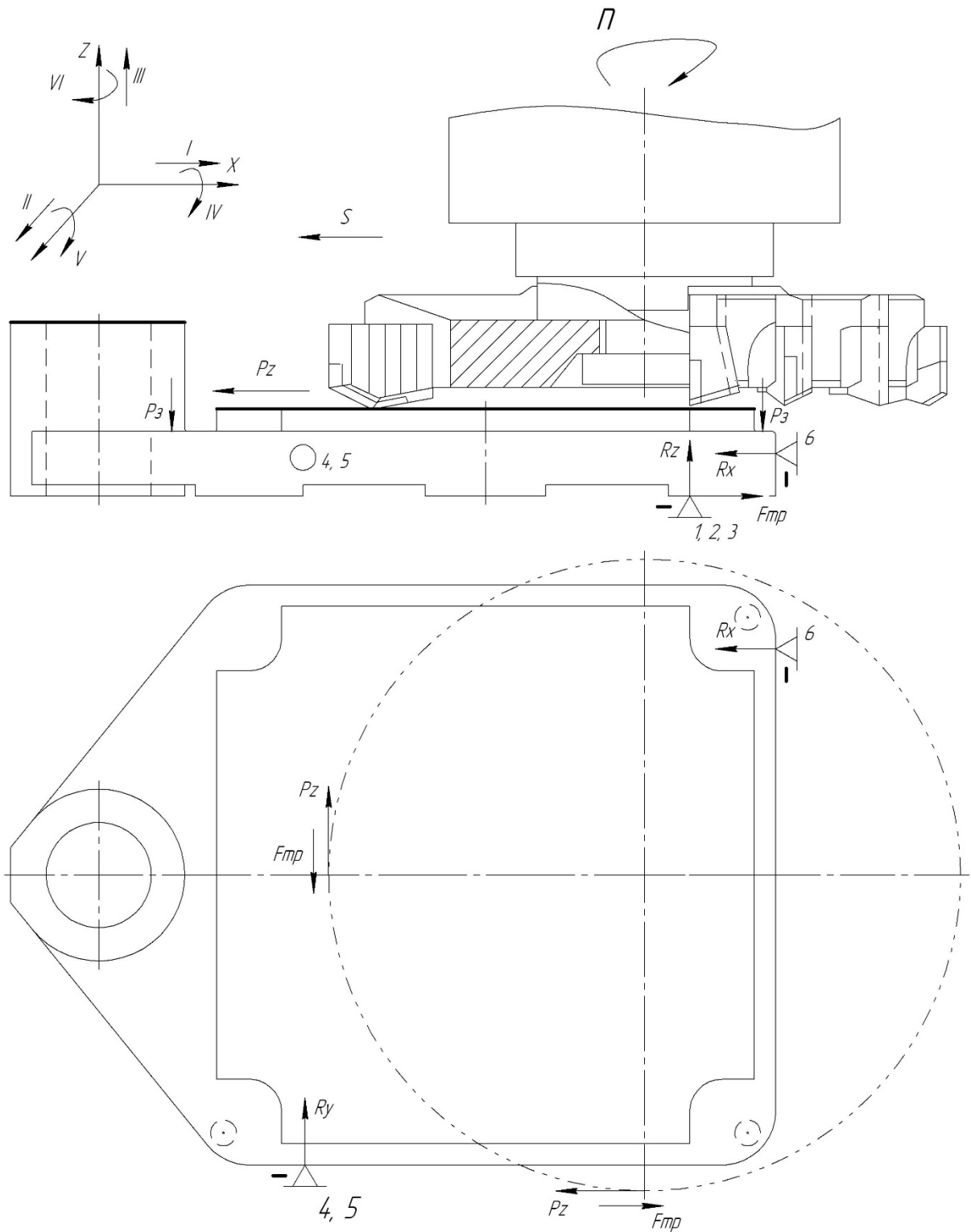


Рисунок 2.6 – Схема дії збуджуючих та урівноважуючих сил

Таким чином, для запобігання зсуву заготовки необхідною умовою є

$$F_{mp} \geq F_{piz}, \quad (2.11)$$

$$F_{mp} = K_{зан} \cdot F_{piz}, \quad (2.12)$$

де F_{mp} – сила тертя, що визначається силами закріплення;

F_{piz} – сила різання, $F_{piz} \approx P_z$;

$K_{зан}$ – коефіцієнт запаса.

Сила тертя визначається за умови:

$$F_{mp} = P_z \cdot f, \quad (2.13)$$

де P_z – сила закріплення;

f – коефіцієнт тертя.

Як видно з малюнка сила різання визначається тангенціальної складової сили різання при торцевому фрезеруванні.

З п. 2.7 відома величина тангенціальної складової сили різання при торцевому фрезеруванні робочої поверхні плити $P_z = 4114$ Н.

З [5] коефіцієнт запаса розраховуємо за формулою

$$K_{зан} = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.14)$$

де $K_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запаса;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання за умови наявності нерівностей на оброблюваних поверхнях заготовки (зазвичай враховується за умови чорнового оброблення);

$K_2 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує можливе затуплення інструмента;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує переривчасті умови різання (є актуальним для торцевого фрезерування);

$K_4 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує тип приводу (для пневмокамер);

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зручність в обслуговуванні приводу;

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що намагаються повернути заготовку на опорах.

В результаті маємо

$$K_{зан} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,1 = 2,592.$$

Приймаємо $K_{зан} = 2,6$.

Коефіцієнт тертя f беремо таким – 0,2 [5].

Необхідну величину сили закріплення визначимо за формулою

$$P_3 = (K_{зан} \cdot F_{різ}) / f = (2,6 \cdot 4114) / 0,2 = 5,332 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Як механізований привод пристосування планується використовувати 3 пневмокамери з гумовотканинною мембраною, які в сумі повинні забезпечити силу затиску $P_3 > 5,332 \cdot 10^4$ Н. Виконаємо розрахунок робочого діаметра пневмокамери для умов, що сумарна сила затиску P_3 повинна перевищувати розрахункове значення (для однієї пневмокамери сила на штоку $Q = P_3 / 3$), сила, що розвивається зворотною пружиною $q = 120$ Н (беремо з конструктивних міркувань), тиск в мережі – $p = 0,4$ МПа.

$$D \approx \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{P_3}{3 \cdot a} + q \right)}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{6,665 \cdot 10^4}{3 \cdot 2} + 120 \right)}{\pi \cdot 0,4 \cdot 0,8}} = 0,189 \text{ м.}$$

де $a = 2$ – співвідношення плечей прихвата (беремо з конструктивних міркувань).

Беремо найближчий більший стандартний діаметр пневмокамери $D = 200$ мм.

Розрахункове зусилля на штоку пневмокамери з урахуванням сили зворотної пружини $q = 120$ Н беремо таким $Q = 9933$ Н. З урахуванням співвідношення плечей прихвата $a = 2$ сила затиску, створювана однією пневмокамерою – $P_3 / 3 = 9933 \cdot 2 = 19866$ Н. Тоді $P_3 = 19866 \cdot 3 = 59598$ Н.

Діаметр опорної шайби пневмокамери беремо рівним $d_{ш} = 0,7 \cdot D = 140$ мм.

Розрахунок пристосування на точність. До розрахункових параметрів, що в більшій мірі вплинуть на досягнення заданих допусків оброблюваної заготовки, буде відхилення від паралельності площини, загальної для опорних штирів щодо опорної поверхні корпусу пристосування. Цей параметр є однорідним з похибкою, обумовленою в деталі на розташування оброблених плоских поверхонь. Так, відхилення від паралельності робочої поверхні «плити» щодо опорної поверхні знаходиться в межах допуску на розмір $40,7_{-0,12}$ мм і при відносній геометричній точності «А» складає до 60% від зазначеної величини допуску, тобто $T = 0,6 \cdot 0,12 = 0,072$ мм. Відповідно до ГОСТ 24643-81 беремо $T = 60$ мкм.

Тоді допустиму похибку пристосування можна визначити за формулою

$$E_{np} = T - K \cdot \sqrt{(K_1 \cdot E_{\sigma})^2 + E_z^2 + E_y^2 + E_{zn}^2 + E_n^2 + (K_2 \cdot \omega)^2},$$

де $K = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення нормального закону розподілення окремих складових рівняння;

$K_1 = 0,8$ – для випадків, коли $E_{\sigma} \neq 0$;

E_{δ} – похибка базування, в нашому випадку $E_{\delta} = 0$ мкм;

E_z – похибка закріплення, в нашому випадку $E_z = 20$ мкм;

E_y – похибка установки пристрою на столі верстата, беремо $E_y = 0$ мкм;

E_{zn} – похибка від зношення установчих елементів пристрою, беремо $E_{zn} = 10$ мкм;

E_n – похибка установки й прекоосу інструмента на верстаті, беремо $E_n = 10$ мкм;

$K_2 = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки оброблення;

$\omega = 20$ мкм [5] – середня економічна точність оброблення.

Для оговорених умов маємо

$$E_{np} = 60 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0 + 20^2 + 10^2 + 10^2 + (0,6 \cdot 20)^2} = 27,3 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних приймаємо загальний допуск на відхилення від паралельності загальної площини опорних штирів щодо опорної поверхні корпусу пристосування в розмірі 20 мкм.

Опис будови і принципу дії пристосування.

До складу пристосування входить корпус 1, в нижній частині якого знаходяться 3 порожнини, в яких розташовуються пневмокамери односторонньої дії. Також в нижній частині корпусу 1 в пазах закріплені установчі призматичні шпонки. У верхній частині корпусу 1 за допомогою штифтів 9 і гвинтів 5 встановлено плиту 2, на якій змонтовані установчі елементи пристосування (опорні штирі, упори, поворотні опори). У верхній частині корпусу 1 також встановлені стійки, які слугують опорами для прихватів. Для транспортування пристосування призначені рим-болти 6.

Процес установки і закріплення заготовки полягає в наступному. У вихідному положенні прихвати пристосування відвернуті у бік від установочної плити. Заготовка встановлюється на опорні штирі по нижній своїй поверхні і

впирається в бокові штирі по бокових поверхнях. Залежно від реалізованого установа (А, Б) вручну налаштовуються поворотні опори, які розташовані в лівій частині установчої плити. Прихвати вручну встановлюються в робочу позицію. У нижню порожнину пневмокамер подається стиснене повітря. Шток пневмокамери піднімається вгору, переміщуючи вгору довге плече прихвата. Коротке плече прихвата відповідно переміщається вниз (прихват працює, як важільний передаточний пристрій) – відбувається закріплення заготовки. Для розкріплення заготовки після закінчення циклу обробки припиняється подача повітря в пневмокамеру, поворотна пружина штовхає шток пневмокамери вниз, прихват звільняється і вручну відвертається в бік від заготовки. Проводиться заміна заготовки.

2.10 Проектування контрольно-вимірального пристрою

Згідно з завданням, необхідно спроектувати контрольно-вимірвальний пристрій (КВП) для контролю відхилення від площинності робочої поверхні «плити», допуск якого становить 50 мкм, див. креслення деталі «плита 2ЛС-1.10.001».

В даний час контроль відхилення від площинності «плити» здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема, плити для повірок і магнітної індикаторної стійки. Ні метод, ні засіб не можна визнати прийнятними, оскільки перевірка проводиться із залученням обладнання, розташованого на механічній дільниці далеко від ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу обробки і якості виробів. Крім того, великий вплив на якість контролю в даному випадку мають суб'єктивні особливості оператора, в зв'язку з чим похибка контролю може досягати 25%.

В цілому контроль відхилення від площинності «плити» не викликає будь-яких труднощів, оскільки проставляння відхилень розташування поверхонь є

вірною, а в якості вимірювальної бази виступає сама контрольована поверхня, яка є досить точною і має низьку шорсткість.

Виконаємо аналіз показників точності контрольованої поверхні.

Контрольована поверхню «плити» згідно з кресленням деталі виконується в розмір $40h14(-0,62)$, що відповідає 14 квалітету точності. Шорсткість поверхні – $Ra = 1,6$ мкм. Допуск форми – відхилення від площинності в розмірі 50 мкм, що при номінальному розмірі контрольованої поверхні в 250 мм відповідає 9 ступеню точності згідно з ГОСТ 24643-81. Допуски взаємного розташування для контрольованої поверхні не обумовлені. Для відносної геометричної точності А допуск на відхилення від паралельності контрольованої поверхні щодо опорної поверхні «плити» становить до 60% від допуску на розмір, тобто $0,62 \cdot 0,6 = 0,372$ мм. Беремо найближче менше значення допуску на відхилення від паралельності контрольованої поверхні відповідно до ГОСТ 24643-81 – 250 мкм (11 ступінь точності).

Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймається нормальний режим контролю ГОСТ 20736-75. Встановимо такі показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [10, 11].

Відхилення від площинності визначається найбільшою відстанню від точок реальної поверхні до прилеглої площини в межах нормованої ділянки [1].

Виходячи з вищевказаних визначень, при контролі відхилення від площинності, останній визначатимемо по плоскій поверхні робочої поверхні «плити» на відстані 10 ... 15 мм від її периметра.

Деталь за своїми конструктивними особливостями відноситься до корпусних, за технологічними – до класу «плита». Маса деталі – 16,8 кг, матеріал – сірий чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на базову, відповідно до визначення відхилення від площинності, може лише сама контрольована поверхня. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та технологічної баз, що визначають контроль заданого

параметра. Контрольована деталь встановлюється на робочу поверхню повірочної плити (стола ВТК). Передбачається, що основа контрольного пристосування буде встановлюватися на контрольовану поверхню по її периметру, здійснюючи на неї тиск власною вагою. Контрольована деталь та контрольне пристосування є досить масивними, таким чином, закріплення деталі, пристосування або його елементів один щодо одного не передбачається.

Контроль заданого параметра буде проводитися безпосередньо на столі ВТК, розташованому поруч з механічною дільницею. Звідси можна зробити висновки про не зовсім сприятливі умови експлуатації КВП. Температура в робочій зоні – $t = 20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ (ГОСТ 12.01.005-88). Відносна вологість повітря – $\gamma_n = 80\%$. Атмосферний тиск – $P_{\text{ат}} = 86 - 106$ кПа; швидкість руху повітря – $V_n \leq 0,5$ м/с. Частота вібрацій, що викликається верстатами, $f = 20 - 30$ Гц. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітленість. Тому поряд із загальним передбачаємо місцеве освітлення з $E_{\phi} = 1000$ люкс.

З переліку функцій, які реалізуються в КВП, складемо набір функцій, які необхідно здійснити, щоб стала можливою операція контролю:

- 1) установка (зняття) деталі (пристосування);
- 2) базування;
- 3) налагодження;
- 4) об'єднання;
- 5) прийом інформації;
- 6) передача і перетворення інформації;
- 7) видача (відображення) результатів вимірювання;
- 8) підведення і (відведення) засобу вимірювання.

Попередній аналіз тривалості реалізації зазначених часткових функцій і структури потоку функцій, дозволив встановити, що тривалість операції контролю складе не більше 180 с.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому оскільки його простіше здійснити при контролі відхилення від площинності контрольованої поверхні «плити». При цьому немає необхідності в

перерахунку контрольованих параметрів і отримується точність цілком достатня для допусків, що перевіряються.

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі є досить високими (чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85) і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значні вимірювальні зусилля. При цьому вимірювальне зусилля сприятиме видаленню бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

Для забезпечення точкового контакту беремо наконечник сферичної форми при радіусі сфери не менше 5 мм.

З огляду на значну твердість контрольованої поверхні (НВ 205), геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 500 сН (5 Н). В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{5^2}{r}} = 0,595 \text{ мкм},$$

де $\Delta_{зус}$ – величина похибки за рахунок контактної деформації, мкм;

K – коефіцієнт, що залежить від матеріалу вимірювального наконечника. При твердому сплаві – $K = 0,81$;

$P_{зус}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм;

Деталь контролюється при переміщенні вимірювальної платформи в межах контрольованої зони, що характерно для динамічного методу контролю.

З двох можливих методів, абсолютного і відносного, кращий другий (відносний), так як він надає більш широкі можливості для різних конструктивних рішень, дозволяє здійснити більш точні вимірювання.

Налаштування КВП буде проводитися по контрольованим поверхням без використання еталона.

Час на контрольну операцію становить 3,0 хв. Така тривалість контролю не вимагає високого рівня механізації, так як може бути здійснена вручну на простому вимірювальному пристрої.

КВП повинен мати шкальний відліковий пристрій, що забезпечує достатню точність відліку без надмірного напруження зору.

Беремо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення зумовлене значною мірою контактним методом контролю. На його користь говорить великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічну апробацію на точність і надійність роботи на робочих місцях контролерів ВТК.

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення раціональних метрологічних, експлуатаційних характеристик та характеристик надійності, якими має володіти засіб вимірювання.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП визначається як частина допуску IT контрольованого параметра, зокрема, допуску на відхилення від площинності контрольованої поверхні:

$$[\delta_{вим}] = K \cdot IT,$$

де K – залежить від якості або ступеня точності контрольованого параметра і може приймати значення від 0,2 до 0,35.

Беремо $K = 0,3$ [10].

Тоді:

$$[\delta_{вим}] = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 [2] рекомендується величина $[\delta_{вим}] = 15 \text{ мкм.}$

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальну похибку) [10]:

$$[\Delta_{in}] = 0,7 \cdot [\delta_{вим}] = 0,7 \cdot 15 = 10,5 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки засобу вимірювання визначимо залежно від величини допустимої інструментальної похибки (засобу вимірювання). Беремо:

$$C = \Delta_{in} = 10,5 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали (а) беремо 1 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань засобу вимірювання. Тут необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і перш за все освітленість.

Межа вимірювання за шкалою (А) повинна перевищувати допуск IT , щоб зняття показань не викликало труднощів. Беремо [10]:

$$A = 4 \cdot IT = 4 \cdot 50 = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм.}$$

Межа вимірювань засобу вимірювання (діапазон вимірювань) визначається умовами його експлуатації. Беремо $B = 0,5 \text{ мм}$.

Вимірювальне зусилля $P_{зус}$ обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Оскільки обмеження на його величину відсутні, беремо $P_{зус} = 500 \text{ сН}$.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлено величиною $\Delta P_{зус} = 100 \text{ сН}$.

Основним нормованим показником надійності засобу вимірювання є напрацювання $t(P)$ до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи P . Відповідно до РД 50-650-87 обговоримо кількість циклів вимірювань, що забезпечує задану кількість контрольних операцій:

$$t(P) = 8000 \text{ циклов.}$$

Ймовірністю безвідмовної роботи задамося $P = 0,85$, виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування.

Згідно сталим цінами на вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання засобу вимірювання: $\text{Ц} = 1800 \text{ грн.}$

Після того, як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним показникам і характеристикам надійності, можна приступити до пошуку засобу вимірювання за каталогами. Прийнятним вважається засіб вимірювання, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні с допустимим:

$$\Delta_{in} \leq / \Delta_{in} /; \quad P_{зyc} \leq / P_{зyc} /; \quad c \leq / c /; \quad \Delta P_{зyc} \leq / \Delta P_{зyc} /;$$

$$a \geq / a /; \quad t(P) \geq / t(P) /; \quad A \geq / A /; \quad P \geq / P /;$$

$$B \geq / B /; \quad \text{Ц} \leq / \text{Ц} /.$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів і таблиць технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю відхилення від площинності є використання індикатора TESA Precision Dial Gauges 01410910 [Tesa General Catalogue 2010 EN], що має такі метрологічні характеристики:

$$\Delta_{in} = 0,01 \text{ мм}; \quad c = 0,01 \text{ мм}; \quad A = 1,0 \text{ мм}; \quad B = 10,0 \text{ мм};$$

$$a = 2 \text{ мм}; \quad P_{зyc} = 140 \text{ сН}; \quad \Delta P_{зyc} = 50 \text{ сН}; \quad t(P) = 500000;$$

$$p = 0,9; \quad \text{Ц} = 1400 \text{ грн.}$$

Зіставивши ці значення з допустимими, приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\Delta_{iH} = 0,01 < 0,0105 = [\Delta_{iH}];$$

$$c = 0,010 < 0,0105 = [c];$$

$$P_{зyc} = 140 \text{ сН} < 500 \text{ сН} = [P_{зyc}];$$

$$\Delta P_{зyc} = 50 \text{ сН} < 100 \text{ сН} = [\Delta P_{зyc}];$$

$$a = 2 \text{ мм} > 1 \text{ мм} = [a];$$

$$t(P) = 500000 > 8000 = [t(P)];$$

$$A = 1,0 \text{ мм} > 0,2 \text{ мм} = [A];$$

$$B = 10 \text{ мм} > 0,5 \text{ мм} = [B];$$

$$P = 0,9 > 0,85 = [P];$$

$$\text{Ц} = 1400 \text{ грн} < 1800 \text{ грн} = [\text{Ц}].$$

Інші засоби вимірювання мають надлишкову точність і меншу надійність. Наконечники індикаторів забезпечені вставкою з твердого сплаву.

При контролі відхилення від площинності контрольованої поверхні «плити» сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_{\delta}^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{iH}^2 + \Delta_{зyc}^2 + \Delta_t^2},$$

де ε – похибка положення контрольованого виробу в пристрої. Визначимо її за формулою:

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

ε_{δ} – похибка базування, беремо $\varepsilon_{\delta} = 0$ мкм;

ε_3 – похибка закріплення, беремо $\varepsilon_3 = 0$ мкм;

ε_{np} – неточність виготовлення елементів пристосування, що беруть участь у формуванні розмірного ланцюга. У нашому випадку на контроль заданих параметрів будуть впливати неточності виготовлення підшипників кочення, які використовуються в механізмі переміщення вимірювальної платформи і відхилення від паралельності площині, загальної для установчих елементів КВП щодо площини, загальної для напрямних підшипника кочення, що використовується як опора для вимірювальної платформи (дану вимогу обумовлено в технічних вимогах на КВП в розмірі 0,005 мм). Виготовлення підшипників з використанням селективного складання дає точність до 5 мкм. Таким чином, неточність виготовлення елементів пристосування складатиме

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2} = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,1 \text{ мкм},$$

тоді

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 0^2 + 7,1^2} = 7,1 \text{ мкм}.$$

Δ_g – похибка передаточного пристрою. За відсутності передаточного пристрою маємо $\Delta_g = 0$;

Δ_e – похибка виготовлення еталонної деталі. За відсутності використання еталону маємо $\Delta_e = 0$;

Δ_{in} – похибка вибраного засобу вимірювання, $\Delta_{in} = 10$ мкм;

$\Delta_{зус}$ – похибка, викликана вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації поверхні деталі: $\Delta_{зус} = 0,255$ мкм (для вимірювального зусилля – $P_{зус} = 1,4$ Н);

Δ_t – похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища. Оскільки контроль здійснюється на столі ВТК, після вирівнювання температур контрольованої деталі й КВП, $\Delta_t = 0$.

В результаті маємо

$$\varepsilon_{квп} = \sqrt{7,1^2 + 0^2 + 0^2 + 10^2 + 0,255^2 + 0^2} \approx 12,3 < 15 = [\delta_{вим}],$$

а, значить, спроектований КВП гарантує виконання свого службового призначення.

Будова пристрою. Пристосування для контролю відхилення від площинності складається зі збірної рами 2, що складається з двох поздовжніх і двох поперечних планок. У нижній частині рами 2 на поперечних планках встановлені 3 циліндричні опори (пальця). Зверху на поздовжніх планках встановлені направляючі під підшипник кочення (касету). На пару підшипникових касет встановлюється вимірювальна платформа 1, яка служить столом для розміщення магнітної індикаторної стійки 3. На стійці 3 закріплений індикатор 5.

Принцип дії пристосування. Рама 2 за допомогою циліндричних опор (пальців) встановлюється на контрольовану поверхню «плити». На рухомий вимірювальної платформі 1 розміщується індикаторна стійка 3 з індикатором 5, положення якого за допомогою регулювальних ручок (гвинтів) встановлюється в робочу позицію, до зіткнення вимірювального наконечника індикатора з контрольованою поверхнею. Після установки шкала індикатора виставляється в «нуль». Переміщаючи рухому платформу зі стійкою та індикатором уздовж контрольованої поверхні, фіксуємо відхилення стрілки індикатора. Повторюємо процедуру контролю для різних контрольних зон так, щоб в процесі реалізації операції, захопити якомога більшу площу контрольованої поверхні. Фіксуємо різницю мінімальне і максимальне відхилення стрілки індикатора для різних контрольних зон (не менше 5) визначаємо різницю між відхиленнями, яка і буде складати відхилення від площинності.

2.11 Висновок

З урахуванням пропозицій, сформульованих під час аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі, в розділі 2 цієї роботи запропоновано перспективний технологічний процес оброблення заготовки, зокрема:

- 1) запропоновано раціональний маршрут оброблення заготовки, що враховує принципи поетапності, інтеграції операцій, постійності та суміщення баз;
- 2) обґрунтовано вибір способу отримання заготовки – лиття в кокіль;
- 3) визначено аналітичним способом операційні припуски та розміри на обробку отвору діаметром 55H7;
- 4) обґрунтовано вибір схем базування та закріплення заготовки за умови забезпечення точності операційних розмірів;
- 5) обґрунтовано вибір металорізального устаткування за умови підвищення рівня автоматизації виробництва;
- 6) обґрунтовано вибір технологічної оснастки за умови підвищення рівня механізації виробництва;
- 7) визначено режими різання та технічні норми часу за умови підвищення продуктивності оброблення заготовки;
- 8) розроблено спеціальну конструкцію верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на поздовжньо-фрезерній операції;
- 9) розроблено спеціальну конструкцію КВП для контролю відхилення від площинності робочої поверхні виробу.

Попередній аналіз запропонованої конструкції верстатного пристрою показав наявність складних зав'язків між вхідними параметрами та вихідними характеристиками системи «пристрій-заготовка-процес різання». Виходячи з цього пропонується виконати дослідження зазначеної системи методами статичного та динамічного аналізу з формулюванням рекомендацій щодо структурно-параметричної оптимізації поздовжньо-фрезерної операції.

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПОЗДОВЖНЬО-ФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ

3.1 Структурно-параметрична оптимізація технологічного процесу

Завдання оптимізації технологічного процесу є комплексним та потребує проведення аналізу і вибору технологічних рішень на різних рівнях проектування. Необхідною умовою при цьому є забезпечення мінімальної величини наведених витрат з одночасним дотриманням відповідних технічних обмежень.

Зазвичай розрізняють два види оптимізації технологічних процесів, які виконують на різних етапах проектування [12]:

1) структурна оптимізація полягає у виборі оптимального технологічного маршруту, операції, переходу, виду і методів виготовлення заготовки, способів базування, обладнання, пристосувань, інструменту тощо;

2) параметрична оптимізація полягає у виборі оптимальних технологічних параметрів, допусків на міжопераційні розміри, припусків, режимів різання, геометричних розмірів ріжучого інструменту тощо.

В умовах багаторівневого вибору рішень на різних етапах проектування технологічного процесу в першу чергу вирішується питання структурної оптимізації [12].

Після вибору певної структури маршруту обробки, операції, позиції, переходу або різних видів технологічної оснастки ставлять завдання їх параметричної оптимізації. У більшості випадків це не робиться через відсутність математичних моделей (складності формалізації процесів і об'єктів моделювання), що пов'язують ці структурні складові технологічного процесу з групою параметрів, що визначають техніко-економічні показники цих процесів [12, 13].

Параметричну оптимізацію зазвичай виконують вже після вибору структури переходу і висловлюють головним чином у визначенні оптимальних режимів різання (з урахуванням відповідного критерію). До параметричної оптимізації

також відносять розрахунки щодо вибору оптимальної геометрії ріжучого інструменту, розрахунки з вибору параметрів точності, міцності верстатних пристроїв, розрахунки з визначення оптимальних значень припусків і допусків на виконувани розміри, розрахунки з вибору фізико-механічних властивостей ріжучих інструментів [12].

Обґрунтування цілей і оцінка ефективності виконання технологічних операцій або її окремих елементів, наприклад, режимів різання є ключовим питанням при розробці оптимального технологічного процесу. Під основною метою технологічного процесу або операції в машинобудуванні зазвичай розуміють забезпечення необхідних характеристик якості виробу з найбільшою продуктивністю при мінімальних витратах. В такому випадку оптимальність операції можна визначити, як ступінь її відповідності поставленій меті: «чим ефективніше операція, тим вона продуктивніше та економічніше».

У завданнях, які розглядаються в умовах оптимізації технологічного процесу, вид критеріїв оптимальності може бути різним, проте всі вони повинні задовольняти цілком певним вимогам:

До основних при вирішенні задач оптимізації технологічних процесів відносять економічні та техніко-економічні критерії оптимальності: в основі розробки будь-якого технологічного процесу (або рішення часткового завдання, наприклад, розрахунку режимів різання), знаходяться два основних принципи: технічний і економічний. Відповідно до технічного принципу технологічний процес повинен забезпечувати виконання всіх технічних вимог на виготовлення виробу, а економічний – визначає умови, що забезпечують мінімальні витрати праці й найменші витрати виробництва.

Як економічний критерій найбільш часто вибирають мінімальну собівартість, а в якості техніко-економічного критерію – максимальну продуктивність.

В розділі 2 цієї роботи запропоновано перспективний технологічний процес виготовлення деталі: розроблений раціональний маршрут оброблення заготовки, вибрано спосіб отримання заготовки, визначені операційні припуски та розміри оброблюваних поверхонь, вибрані раціональні схеми базування та закріплення

заготовки, вибрані моделі металорізального устаткування, технологічна оснастка, визначені режими різання та технічні норми часу на операції. Також в 2 розділі цієї роботи запропоновані спеціальні конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на поздовжньо-фрезерній операції та КВП для контролю допуску площинності.

Проектування верстатного пристрою багато в чому реалізує творчий підхід, рішення щодо вибору параметрів окремих конструктивних елементів конструкції дуже часто приймаються інтуїтивно. Для підвищення ефективності спроектованого верстатного пристрою, пошуку слабких місць його конструкції, пропонується провести її статичний та динамічний аналіз. При цьому потрібно пам'ятати, що параметричні зміни в конструкції верстатного пристрою, як частини замкненої технологічної оброблювальної системи, можуть викликати зміни в структурі та параметрах інших елементів технологічної операції.

3.2 Статичний аналіз конструкції верстатного пристрою

Так, статичний та динамічний аналіз конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на поздовжньо-фрезерній операції пропонується виконати з використанням методу скінчених елементів в пакеті математичного аналізу Ansys Workbench шляхом проведення модельного експерименту.

Для проведення модельного експерименту використовуємо твердотільну модель системи «пристрій-заготовка», до складу якої повинні увійти заготовка та основні конструктивні елементи верстатного пристрою, що беруть участь у силовій взаємодії (корпус, установчі елементи, прихвати тощо), див. рисунок 3.1. Для підготовки твердотільних моделей досліджуваної системи скористаємося пакетом Компас-3D.

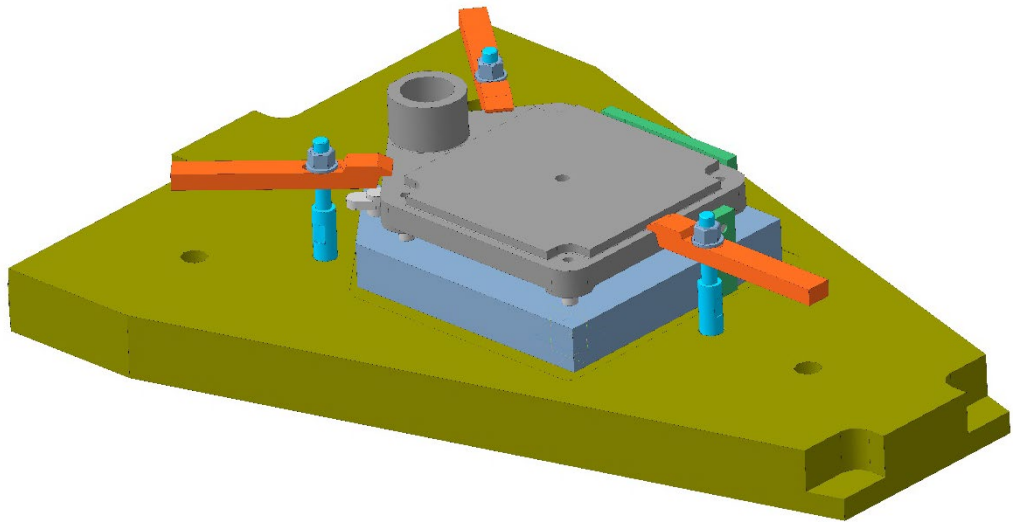


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель системи «пристрій-заготовка» (Компас-3D)

Для виконання статичного аналізу досліджуваної конструкції скористаємося модулем Ansys Workbench Static Structural.

Перший крок аналізу полягає в імпорті геометрії досліджуваної системи, див. рисунок 3.2.

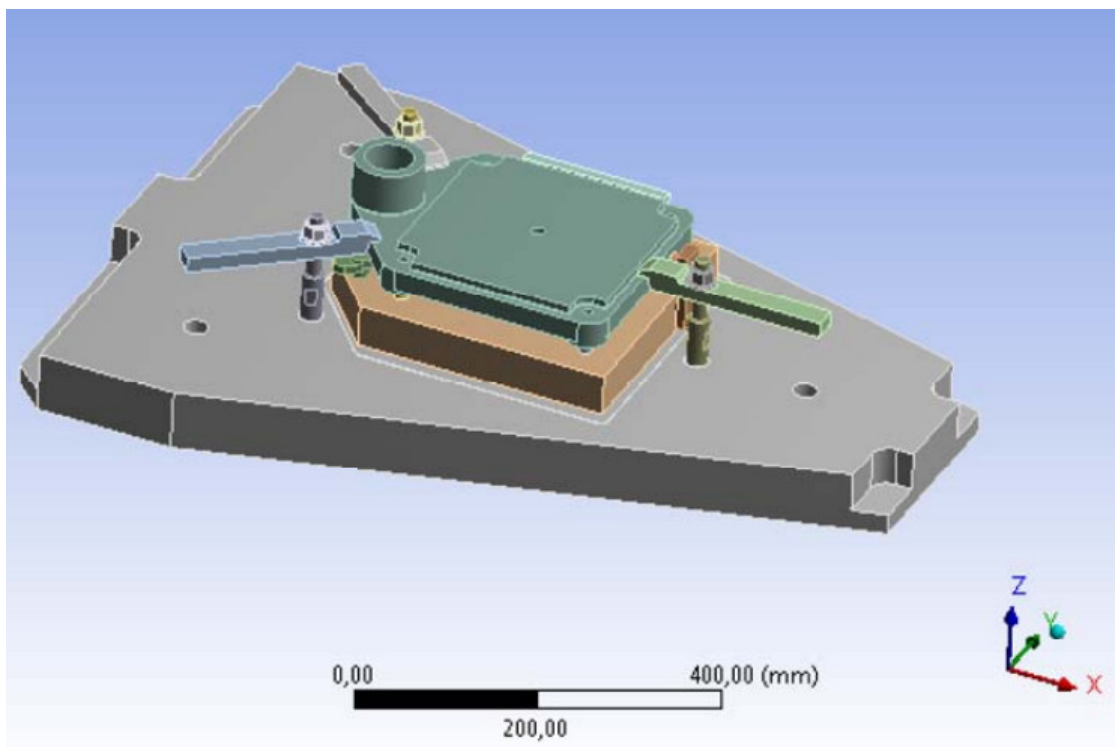


Рисунок 3.2 – Імпорт геометрії моделі системи «пристрій-заготовка» (Ansys)

Наступник крок полягає у формуванні скінченоелементної сітки, див. рисунок 3.3.

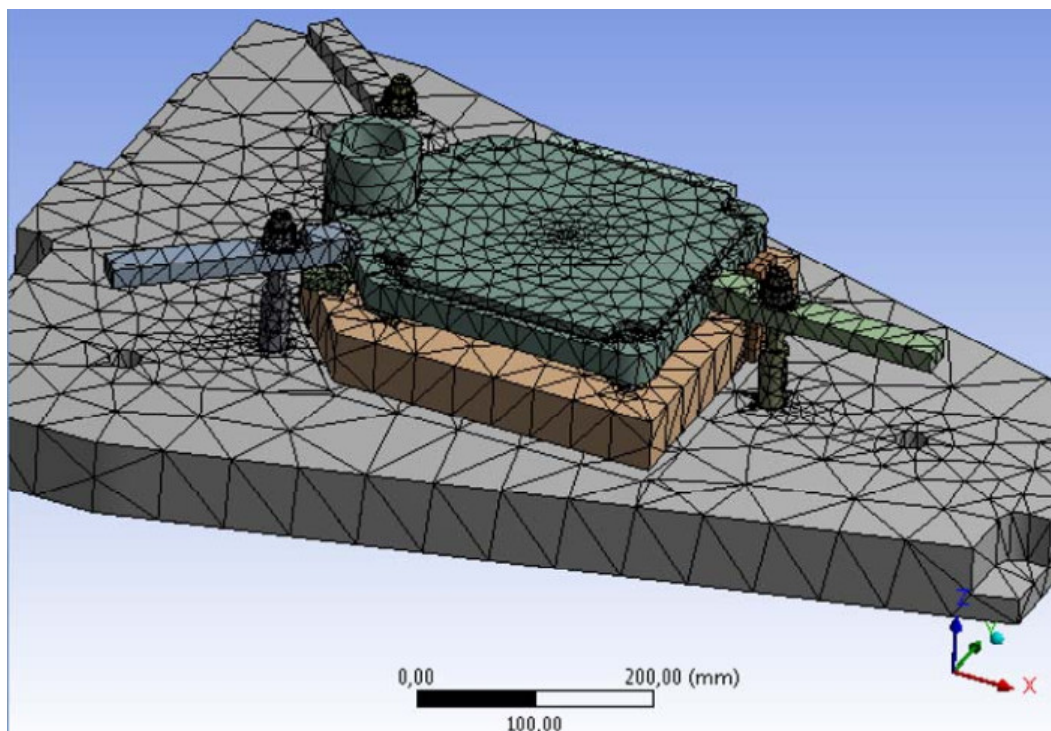


Рисунок 3.3 – Формування скінченоелементної сітки моделі системи «пристрій-заготовка» (Ansys)

Використовуємо автоматичний метод побудови сітки: загальна кількість елементів – 26162, мінімальна довжина грані елемента – 1,0 мм.

Для підвищення адекватності моделі необхідно задати характеристики контакту спряжених поверхонь елементів системи: «тертя» (Frictional), «жорсткий зв'язок» (Bond), «відсутність тертя» (Frictionless) тощо.

Так, між поверхнями заготовки та установчих елементів верстатного пристрою та прихватами задаємо зв'язок типу «тертя», див. рисунок 3.4, 3.5.

Характеристики матеріалів елементів системи «пристрій-заготовка»: межа міцності – 460 МПа, модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа (беремо за замовчуванням).

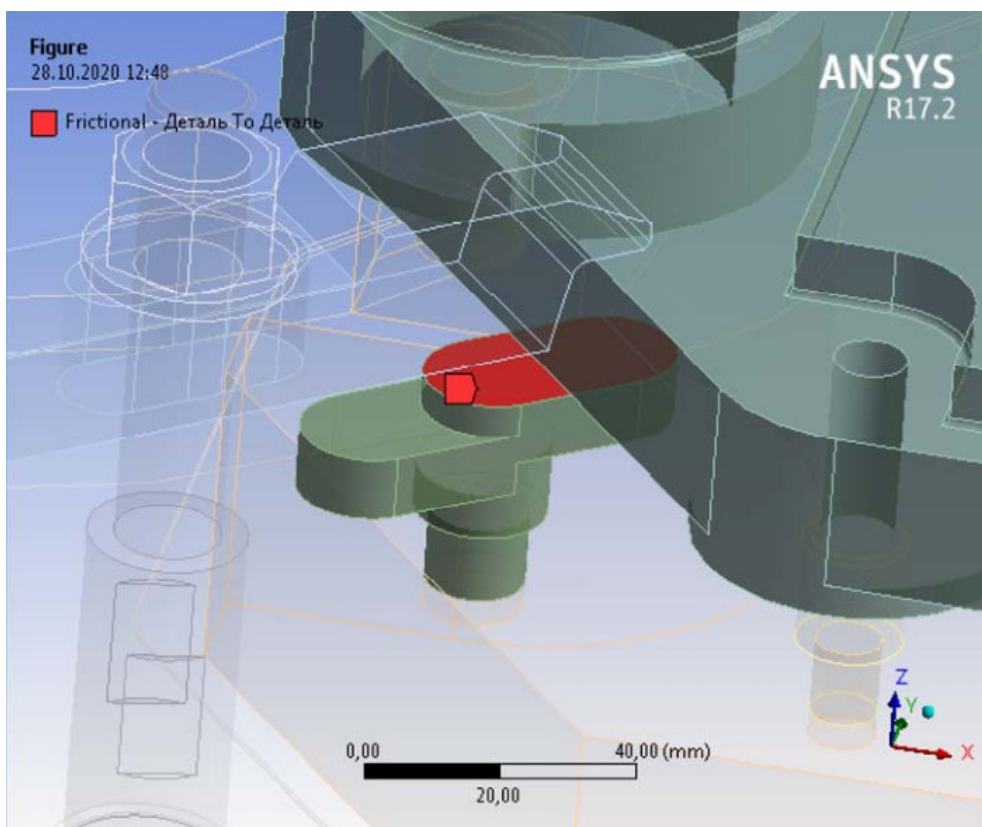


Рисунок 3.4 – Зв'язок типу «тертя» між опорою та заготовкою

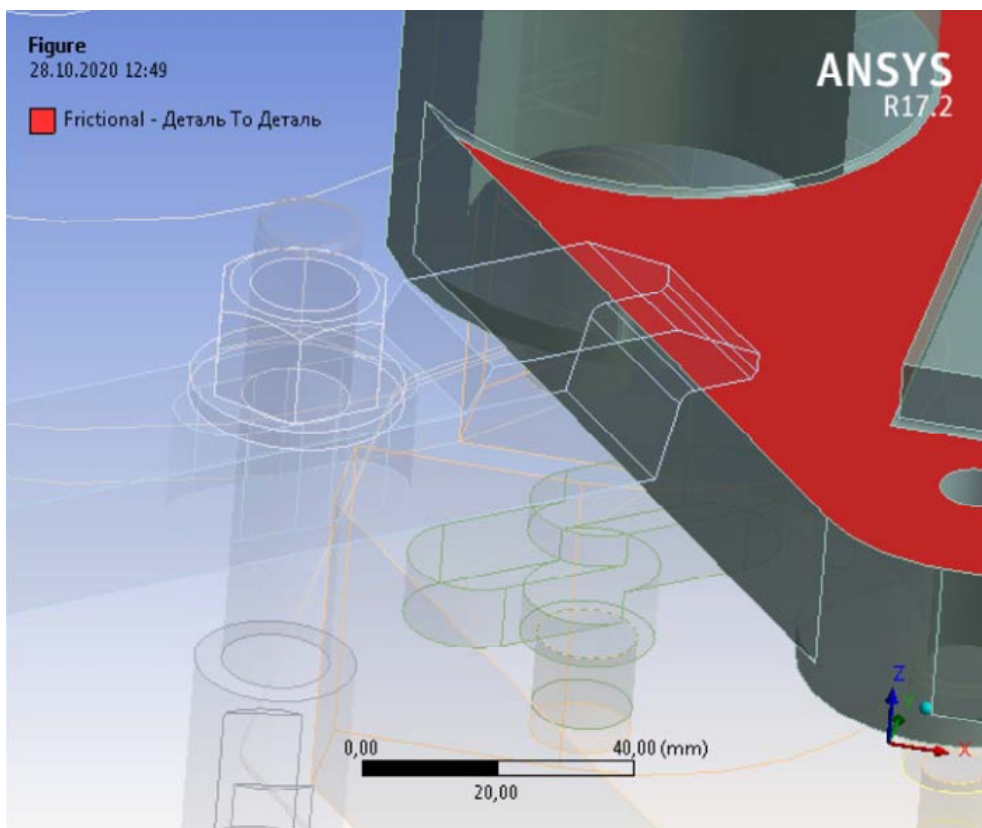


Рисунок 3.5 – Зв'язок типу «тертя» між прихватом та заготовкою

Для підвищення адекватності моделі необхідно задати граничні обмеження у вигляді векторів сил різання та сил закріплення що діють на заготовку з боку процесу різання (у нашому випадку, фрезерування) та затискних елементів верстатного пристрою (у нашому випадку, прихватів важільного типу). Напрямок дії векторів сил різання та закріплення та їх абсолютні величини беремо з п. 2.9 цієї роботи. Так, вектор тангенціальної складової сили різання, що діє на заготовку з боку процесу різання (фрезерування) задаємо в горизонтальній площині з величиною $P_{z1} = 4114$ Н, див. рисунок 3.6.

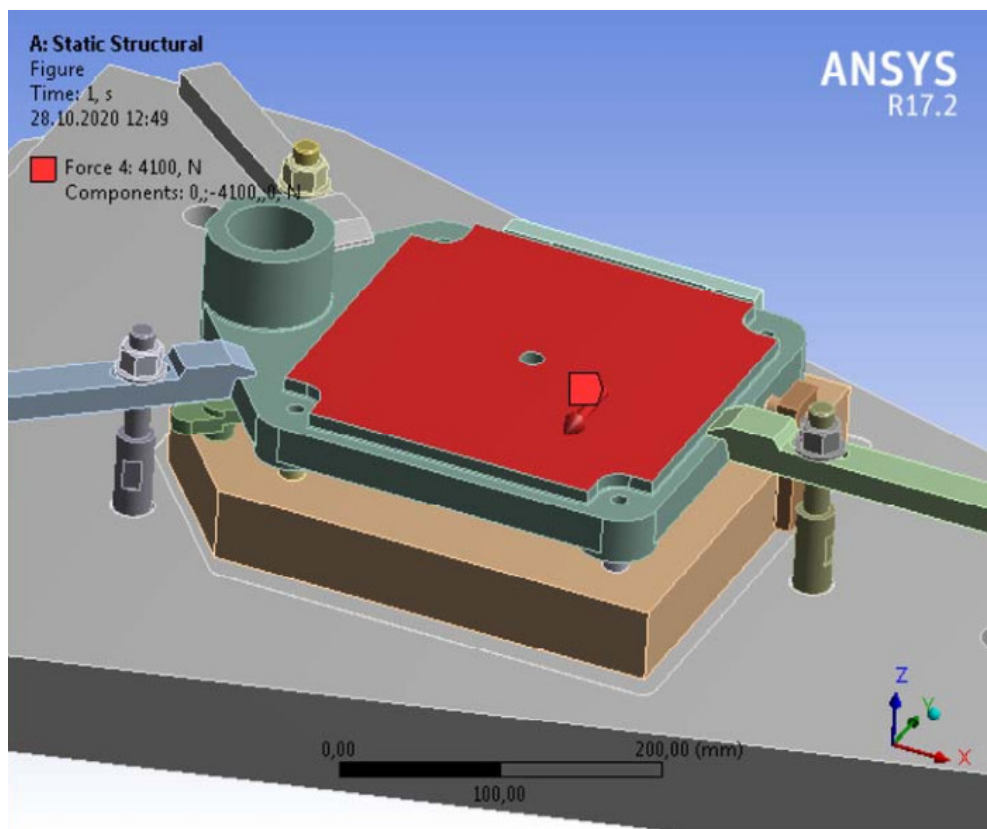


Рисунок 3.6 – Дія сили різання на заготовку

Для моделювання сили закріплення задаємо вектор сили, що діє з боку штоку пневмопривода на плече прихвата важільного типу (величина зусилля $Q_1 = 9933$ Н). Згідно з даними п. 2.9 цієї роботи дія 3-х прихватів викликає сумарне зусилля закріплення в розмірі $P_{z1} = 59598$ Н.

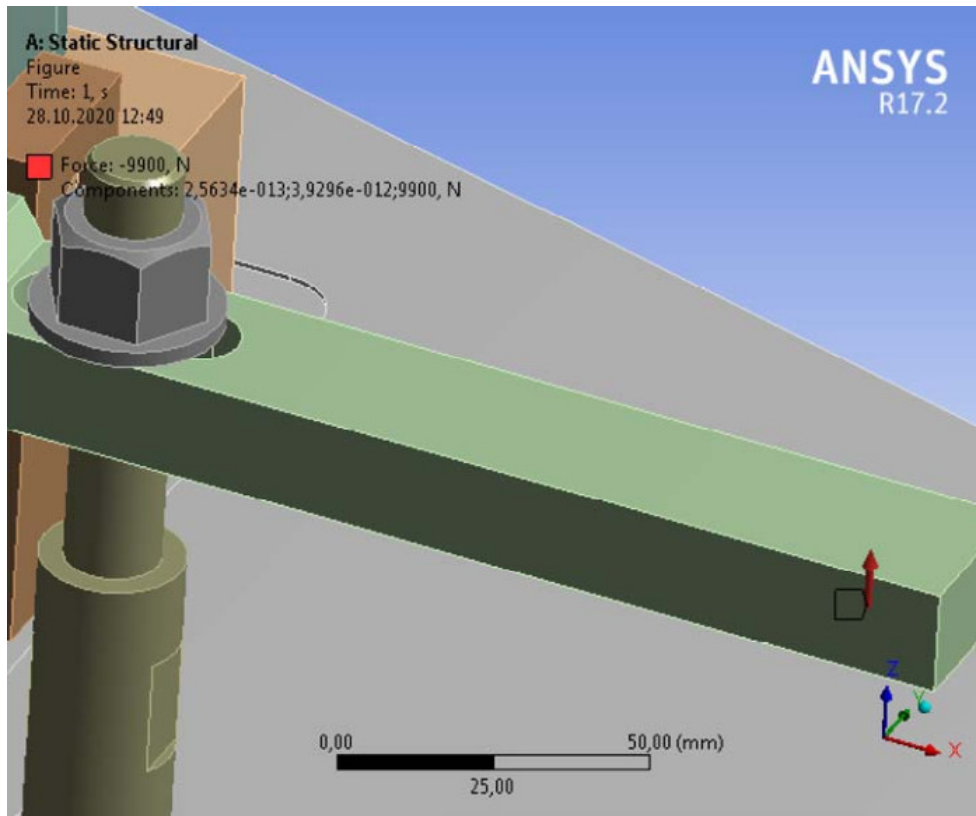


Рисунок 3.7 – Дія сили на штоку пневмопривода на плече прихвата

В результаті виконання статичного аналізу отримані епюри деформацій (Total Deformation) та напружень (Equivalent Stress), характерні для конструкції досліджуваної системи в умовах прийнятих граничних обмежень, див. рисунки 3.7 та 3.8.

Найбільший рівень деформацій спостерігається для прихвата, через який здійснюється затискання заготовки, з найбільш віддаленого від заготовки краю. Це можна пояснити консольною схемою розміщення плеча прихвата, на який до того ж здійснюється дія вектору сили з боку штоку пневмопривода (див. рисунок 3.7), та недостатньою жорсткістю конструкції прихвата в поперечному перетині. Як видно з рисунку 3.8 інші елементи досліджуваної системи практично не деформуються.

Максимальний рівень деформації плеча прихвата досягає величини – 6,9 мм (див. рисунок 3.8), що на нашу думку є недопустимим.

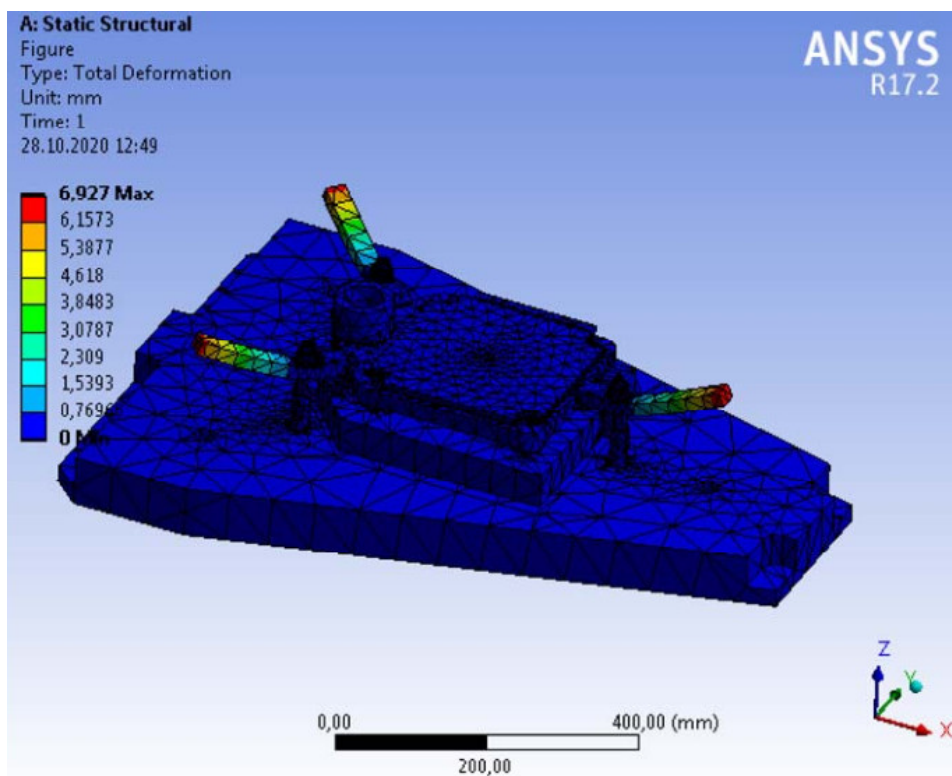


Рисунок 3.7 – Епюра деформацій системи «пристрій-заготовка»
 (експеримент №1)

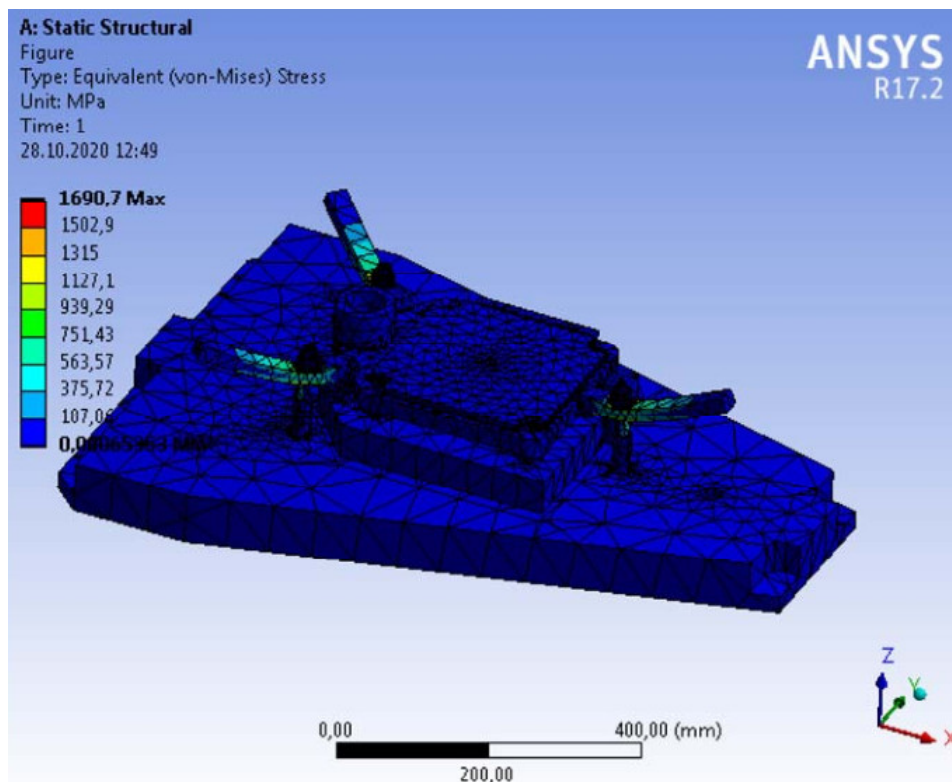


Рисунок 3.8 – Епюра внутрішніх напружень системи «пристрій-заготовка»
 (експеримент №1)

Як видно з рисунку 3.8, найбільший рівень внутрішніх напружень також спостерігається для прихвата, його середньої частини: максимальний рівень напружень досягає величини 1690,7 МПа, що значно перевищує межу міцності конструкційної сталі (460 МПа), з якої зазвичай виготовляють прихвати.

Таким чином, слід признати, що в такому виконанні конструкція верстатного пристрою, зокрема, конструкція прихвата є непрацездатною і потребує коригування.

Як було сказано вище, найбільш слабким місцем в конструкції верстатного пристрою є конструкція прихвата, яка характеризується поперечним перетином, наведеним на рисунку 3.9.

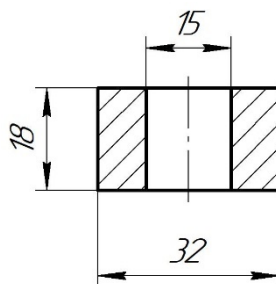


Рисунок 3.9 – Поперечний перетин прихвата (виконання 1)

Для розв'язання проблеми надлишкових деформацій і напружень в конструкції прихвата було запропоновано підвищення жорсткості його поперечного перетину через збільшення його висоти з 18 мм до 23 мм, що не дало позитивних результатів: величини деформацій та внутрішніх напружень перевищували критичний рівень в 4 – 5 разів.

Так як подальше збільшення висоти прихвата призводило в першу чергу до збільшення його габаритів та маси, але не призводило до якісних результатів з точки зору зменшення деформацій та напружень, було запропоновано переглянути режими різання, що реалізуються під час фрезерування поверхні заготовки з метою зменшення необхідної сили закріплення заготовки. Зменшення необхідної сили

закріплення заготовки має привести до зменшення сили на штоку кожного з 3-х пневмоприводів, що в свою чергу дозволить зменшити їх типорозміри.

Так, шляхом проведення пошукового експериментального дослідження за умови зменшення глибини різання та подачі в 2 рази (з $t_1 = 2,5$ мм до $t_2 = 1,25$ мм та з $S_{z1} = 0,16$ мм/зуб до $S_{z2} = 0,08$ мм/зуб) було досягнуто зменшення величини тангенціальної складової сили різання з $P_{z1} = 4114$ Н до $P_{z2} = 1225$ Н. В такому разі необхідна сумарна сила закріплення заготовки складатиме 15910 Н. Для забезпечення такої сили закріплення за умови використання 3-х важільних прихватів зі співвідношенням плечей $\frac{1}{2}$ достатнім є використання пневмокамер діаметром 125 мм (сила на штоку пневмокамери $Q_2 = 3500$ Н). Сумарна сила закріплення в такому разі дорівнюватиме 21000 Н, що перевищує необхідну величину на 4000 Н. В результаті проведення модельного експерименту зі зміненими граничними умовами дозволив отримати такі епюри деформацій та внутрішніх напружень, див. рисунки 3.10 та 3.11.

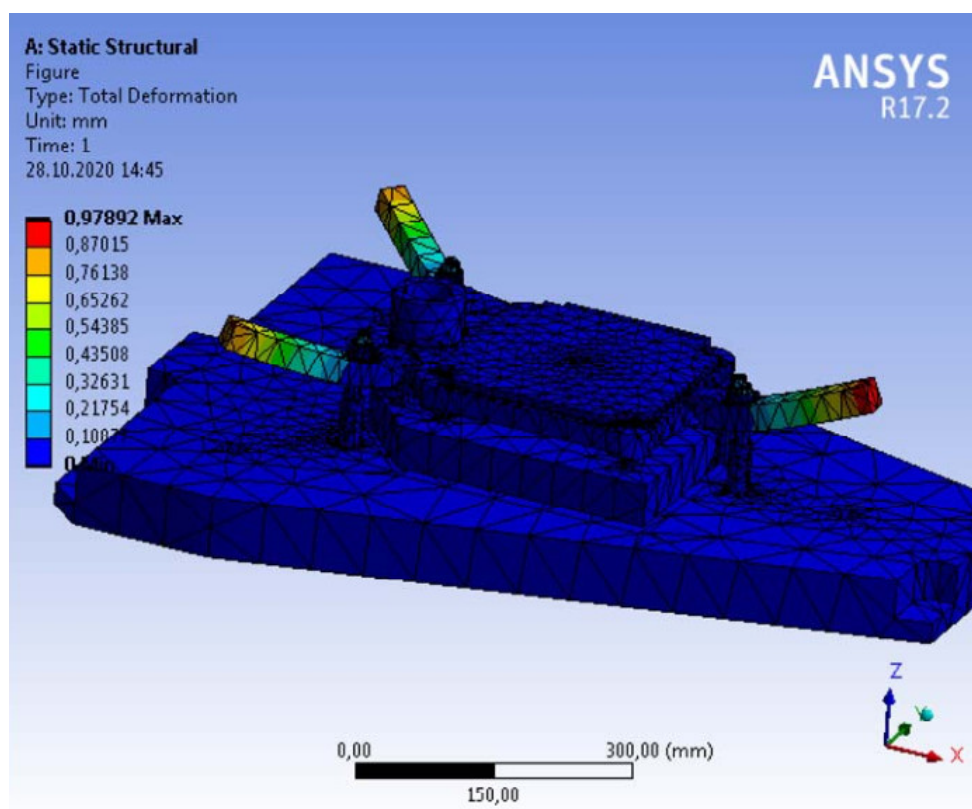


Рисунок 3.10 – Епюра деформацій системи «пристрій-заготовка»
(експеримент №2)

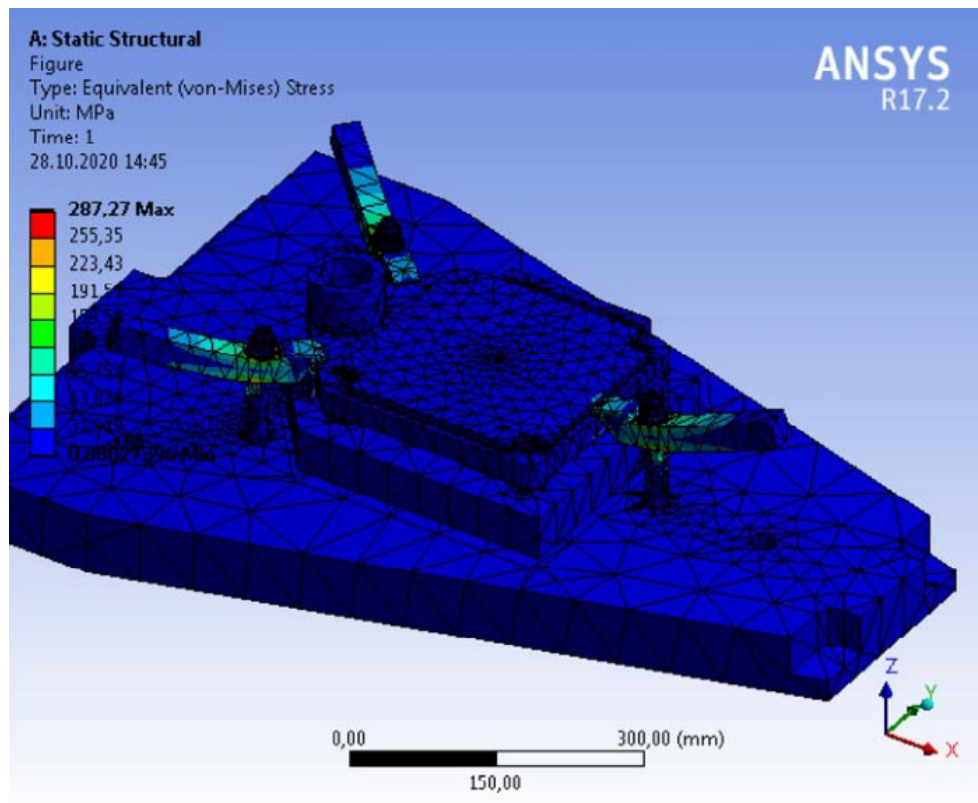


Рисунок 3.11 – Епюра внутрішніх напружень системи «пристрій-заготовка»
(експеримент №2)

Так, максимальний рівень деформацій зменшився до 0,97 мм, а рівень внутрішніх напружень – до величини 287,27 МПа, що на нашу думку можна розглядати як задовільний результат.

Зменшення рівнів деформацій та внутрішніх напружень конструкції прихвата було досягнуто в основному шляхом зменшення глибини та подачі фрезерування, що у свою чергу призведе до змін у структурі операції, зокрема збільшення кількості проходів ріжучого інструменту, та як результат, збільшення основного часу на операцію, зниження продуктивності оброблення заготовки, що можна розглядати як стримуючий фактор для подальшого зниження режимів різання.

3.3 Динамічний аналіз конструкції верстатного пристрою

Динамічний аналіз конструкцій здійснюється для пошуку так званих резонансних форм та відповідних ним частот коливань, тобто таких форм та частот вільних коливань конструкції, при співпадінні з яким коливання, спричинені зовнішніми джерелами (вимушені коливання) викликатимуть збільшення амплітуди коливань досліджуваної конструкції до критичного рівня. Так, співпадіння вимушених коливань з відповідними величинами вільних коливань досліджуваної конструкції викликатимуть явище резонансу. В нашому випадку для досліджуваної конструкції системи «пристрій-заготовка» існує ризик співпадіння вільних коливань з вимушеними коливаннями, джерелом яких є процес торцевого фрезерування. Так, під час фрезерування фреза здійснює динамічний вплив на систему «пристрій-заготовка» з частотою, що визначається як добуток частоти обертання шпинделя верстата та кількості зубців фрези. Частота обертання шпинделя (фрези) під час фрезерування поверхні «плити» дорівнює $n = 100$ об/хв, кількість зубців фрези $Z = 30$ шт. (див. п. 2.7 цієї роботи). Таким чином частота вимушених коливань дорівнює $100 \cdot 30 = 3000$ хв⁻¹, або $3000/60 = 50$ Гц.

Для виконання динамічного аналізу досліджуваної конструкції скористаємося модулем Ansys Workbench Modal. На відміну від статичного аналізу, для проведення динамічного аналізу немає необхідності задавати сили різання та закріплення, всі інші умови проведення модельного експерименту зберігаються.

Так, в результаті проведення динамічного аналізу, отримані епюри деформацій та ряд частот вільних коливань досліджуваної конструкції, див. рисунки 3.12, 3.13, 3.14, 3.15.

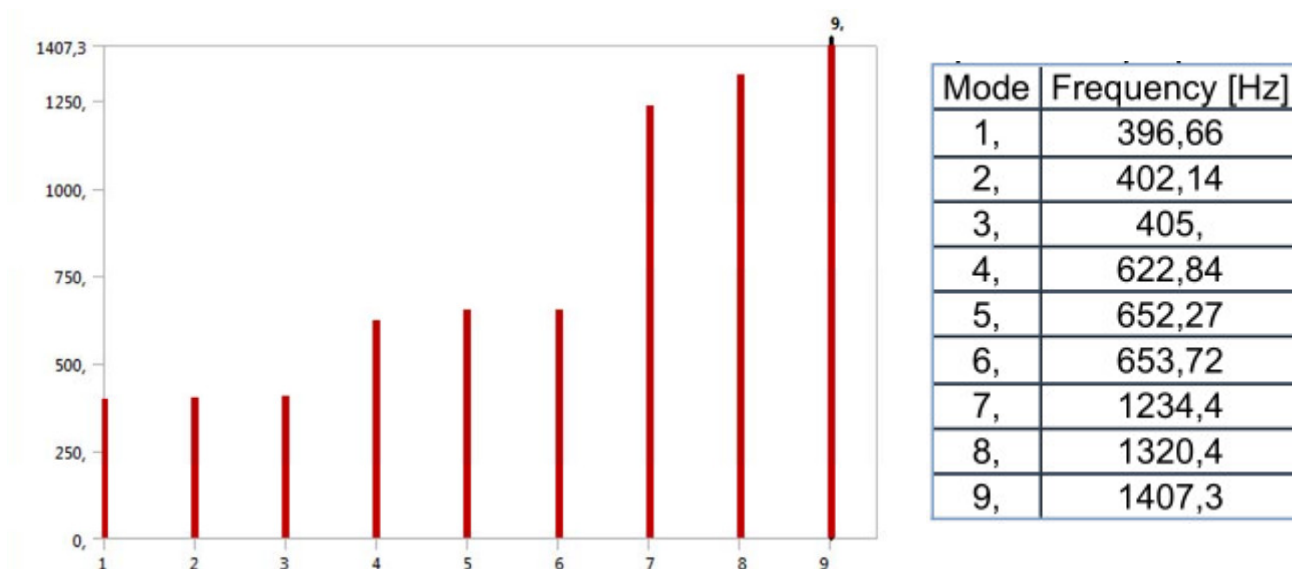


Рисунок 3.12 – Ряд частот вільних коливань досліджуваної системи «пристрій-заготовка»

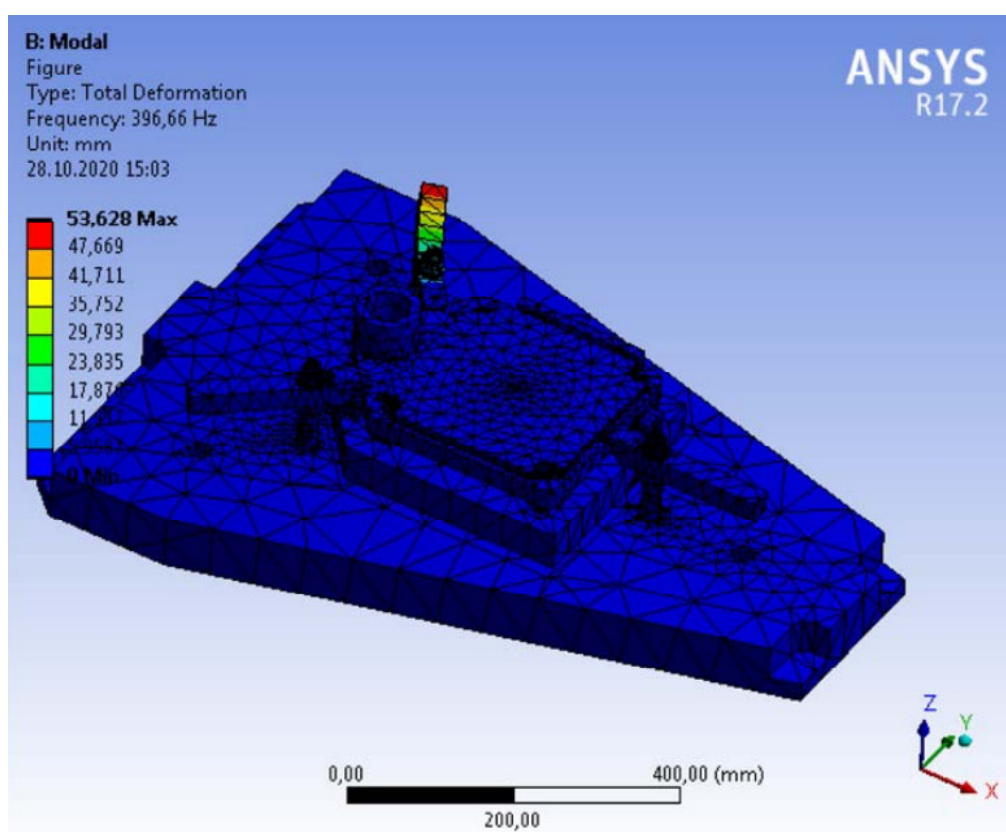


Рисунок 3.13 – Епюра вільних коливань системи «пристрій-заготовка» (форма 1)

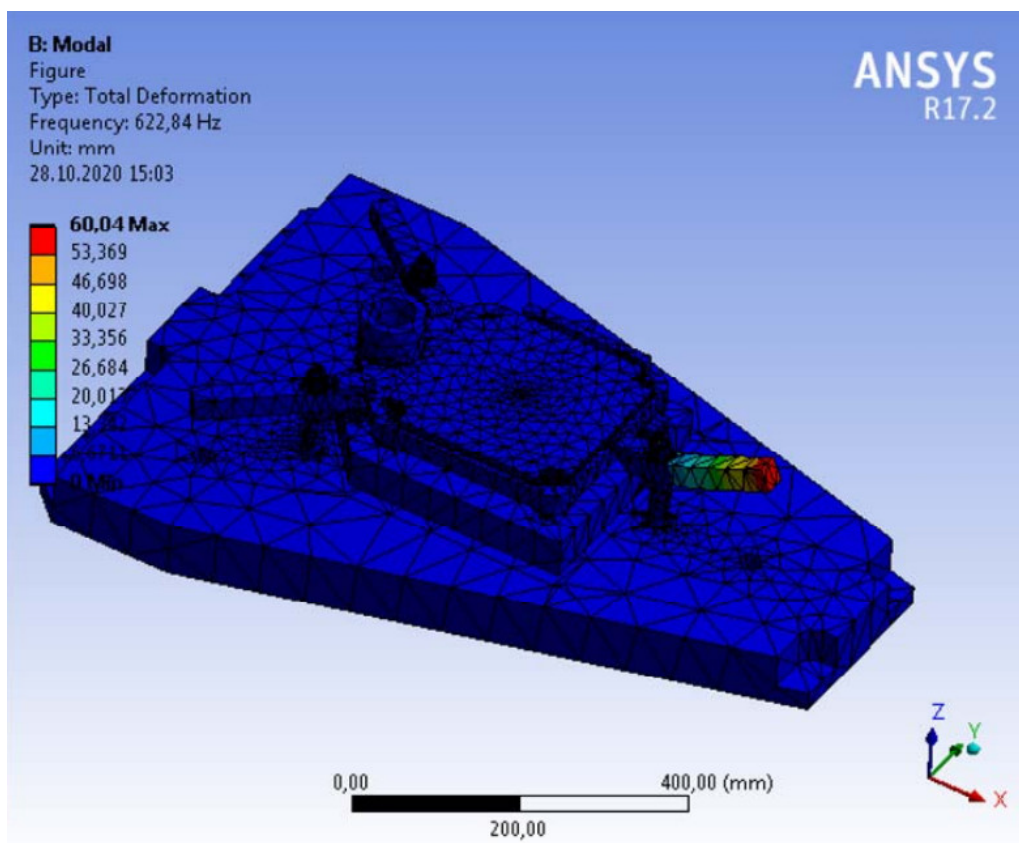


Рисунок 3.14 – Епюра вільних коливань системи «пристрій-заготовка» (форма 2)

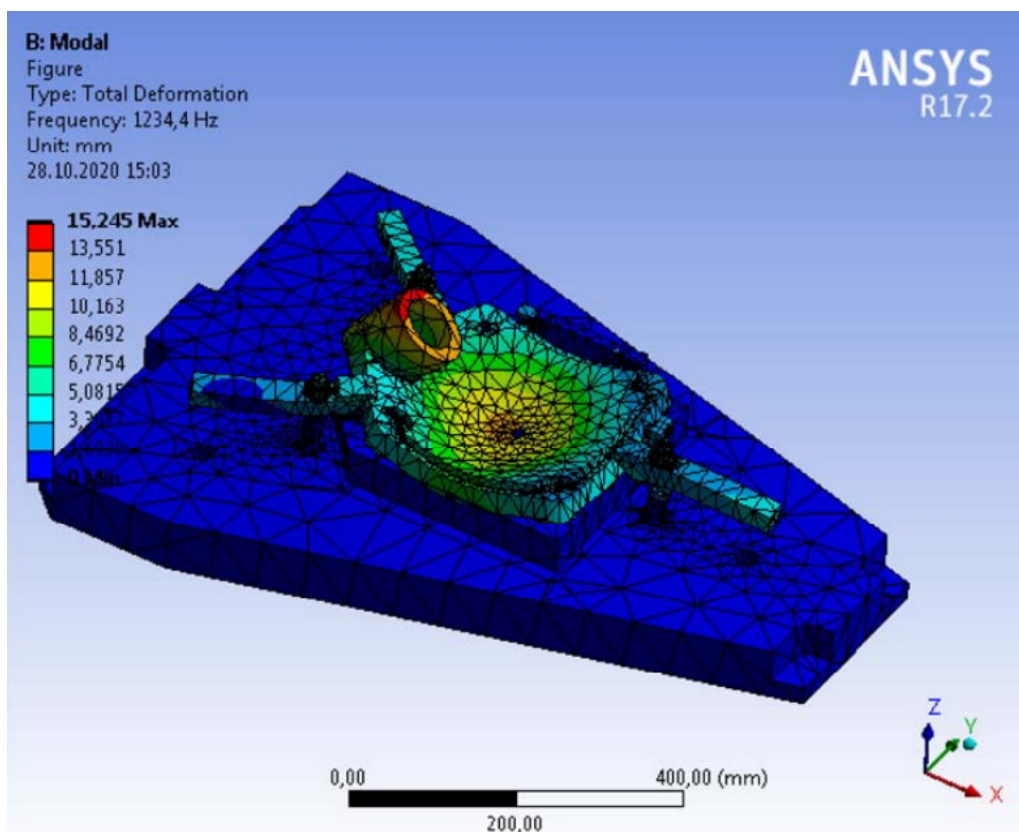


Рисунок 3.15 – Епюра вільних коливань системи «пристрій-заготовка» (форма 3)

Як видно з рисунка 3.12 найменша частота вільних коливань має значення 396,7 Гц. Ця частота відповідає 1-й формі вільних коливань досліджуваної конструкції та є найбільш «небезпечною». В той же час слід визнати, що різниця між частотою першої форми вільних коливань (396,7 Гц) та частотою вимушених коливань (50 Гц) є суттєвою, тож ймовірність виникнення явища резонансу є досить низькою. Наявність досить високих частот вільних коливань досліджуваної конструкції опосередковано говорить про її достатньо високу жорсткість, що є позитивною ознакою.

3.4 Висновок

1. В результаті проведення статичного аналізу досліджуваної конструкції верстатного пристрою встановлено, що запропонована в п. 2.9 цієї роботи конструкція верстатного пристрою для установки заготовки на поздовжньо-фрезерній операції потребує коригування з причини наявності критичних деформацій та внутрішніх напружень окремих елементів пристрою під дією статичного навантаження з боку процесу різання та затискних механізмів. В результаті проведення пошукового експериментального дослідження були сформульовані рекомендації щодо коригування параметрів конструкції прихвата верстатного пристрою, що полягають у збільшенні площі його поперечного перетину, та рекомендації щодо зменшення глибини та подачі фрезерування, як елементів режимів різання, що викликають найбільший вплив на формування сили різання, як основного силового фактору. Зменшення, зокрема, глибини фрезерування призвело до змін в структурі операції: фрезерування поверхні заготовки має здійснюватися за два проходи замість одного. Як результат, продуктивність оброблення заготовки має знизитися.

2. Динамічний аналіз досліджуваної конструкції верстатного пристрою дозволив виявити характерний для неї ряд резонансних частот. В результаті було встановлено, що ймовірність виникнення явища резонансу для пропонованої

конструкції верстатного пристрою є досить низькою, а наявність досить високих частот вільних коливань досліджуваної конструкції опосередковано говорить про її достатньо високу жорсткість, що є позитивною ознакою.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз базового технологічного процесу виготовлення «плити» дозволив виявити його основні недоліки, що полягають у низькому рівні використання засобів механізації та автоматизації та визначають низьку продуктивність виготовлення виробу.

2. Розроблено перспективний технологічний процес виготовлення деталі: запропоновано раціональний маршрут оброблення заготовки, що враховує принципи поетапності, інтеграції операцій, постійності та суміщення баз, обґрунтовано вибір способу отримання заготовки, вибір схем базування та закріплення заготовки, вибір металорізального устаткування та технологічної оснастки, визначені раціональні режими різання та технічні норми часу на операції технологічного процесу, спроектовано верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на поздовжньо-фрезерній операції та контрольовимірвальний пристрій для контролю відхилення від площинності робочої поверхні «плити».

3. На основі виконаних в роботі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовані рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки «плити» на поздовжньо-фрезерній операції з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації поздовжньо-фрезерної операції в цілому.

4. У додатку Ж роботи розглянуто питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Электронный ресурс] : в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев ; Под ред. И.Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.
2. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учеб. пос. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 5-е изд., стереотип. Перепечатка с 4-го издания 1983 г. – М. : Альянс, 2007. – 256 с.
3. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. Захаркін О. У. Технологічні основи машинобудування : навч. посіб. / О. У. Захаркін. – Суми : СумДУ, 2004. – 98 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя [Электронный ресурс] : в 2-х т. Т.1 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 912 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя [Электронный ресурс] : в 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 944 с.
7. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч. 2 : Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 465 с.
8. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.
9. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч.1: Нормативы времени. – М: Экономика, 1990. – 206 с.

10. Дунаев И. М. Организация проектирования системы технического контроля / Дунаев И. М., Скворцов Т. П., Чупырин В. Н. – М. : Машиностроение, 1981. – 191 с.

11. Виноградов А. Н. Справочник контролера машиностроительного завода: Допуски, посадки, линейные измерения / Виноградов А. Н.; Под ред. А. И. Якушева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1980. – 527 с.

12. Зелинский, А. Н. Математические методы оптимизации в машиностроительном производстве: уч. пособ. Математичні методи оптимізації у машинобудівному виробництві. / А. Н. Зелинский, Н. А. Денисова, Э. П. Выскребенцев. – Алчевск: ДонГТУ, 2013. – 157 с.

13. Рыжов, Э. В. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э. В. Рыжов, В. И. Аверченков; Отв. редактор Гавриш А. П.; АН УССР. Ин-т сверхтвердых материалов. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.