

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технології виготовлення корпусу 14.151.05.010 з дослідженням процесу технологічної спадковості**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МП_М-61
спеціальності _____

131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Швець А.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник _____
(підпис) Барановський В.М.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____
(підпис) Ткаченко І.Г.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____
(підпис) Окіпний І.Б.
(прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ доц. *Окіпний І.Б.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » 2021 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ *магістр* _____
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ *Швець Андрій Ігорович* _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технології виготовлення корпусу 14.151.05.010 з дослідженням процесу технологічної спадковості

Керівник роботи Барановський Віктор Миколайович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» _____ 09 _____ 2021 року № 4/7-791

2. Термін подання студентом завершеної роботи . 15.12.2021

3. Вихідні дані до роботи 1. Базовий ТП виготовлення деталі.

2. Програма випуску – 1 000 шт/рік. 3. Креслення деталі

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина. 2. Науково-дослідна частина. 3. Технологічно-конструкторська частина.

4. Проєктна частина. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Карти технологічних наладок, креслення верстатних пристроїв, креслення контрольного пристосіблення, результати виконання науково-дослідної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>К.т.н, доц. Ткаченко І.Г.</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Ст. викл. Клепчик В.М.</i>		

7. Дата видачі завдання 27 вересня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналітична частина</i>	<i>1.12.2021</i>	
2	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>10.12.2021</i>	
3	<i>Технологічно- конструкторська частина</i>	<i>10.10.2021</i>	
4	<i>Проектна частина</i>	<i>10.11.2021</i>	
5	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>2.12.2021</i>	
6	<i>Графічна частина</i>	<i>10.12.2021</i>	

Студент

(підпис)

Швець А.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Барановський В.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Проблема управління якістю в машинобудуванні полягає у вирішенні технологічних завдань на всіх етапах виробництва виробів починаючи від металургійного процесу до збирання деталей машин. Серед наукових напрямів, важливе місце займає дослідження якості виробів машинобудування, а зокрема явища технологічної спадковості деталей під час їх виготовлення.

Проблему точності у машинобудуванні розглядають з точки зору вивчення фізичних причин відмов, які спричиняються технологічною спадковістю та дослідженням наслідків, які є результатом відмов. Зміна властивостей під час технологічного процесу пояснюється за допомогою явища спадковості, під яким розуміють процес перенесення властивостей об'єктів від попередніх операцій до наступних. Вивчення технологічної спадковості дозволить пов'язати стан заготовки у будь-який момент часу та виконання технологічної операції аж до перетворення готову деталь.

Метою дослідження є удосконалення технології виготовлення корпусу 14.151.05.010 з дослідженням процесу технологічної спадковості.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення корпусу 14.151.05.010

Предмет дослідження – параметри точності поверхні при токарній обробці з врахуванням явища технологічної спадковості.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень основ технології машинобудування, теорії різання та математичного моделювання.

Отримані результати: удосконалено технологію виготовлення корпусу 14.151.05.010 та досліджено процес технологічної спадковості.

Практичне значення. Отримані результати дозволяють оцінити точність лезової обробки та врахувати вплив технологічної спадковості при автоматизованому проектуванні технологічних процесів.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Окремі результати роботи доповідались ІХ Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.: ТНТУ, 2020. С.104.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить __сторінки, у тому числі __ рисунки, __ таблиць, бібліографії із __ джерел на трьох сторінках.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ

ВСТУП

1	АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1	Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами. Актуальність теми роботи	8
1.2	Службове призначення деталі	13
1.3	Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу	15
2	НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	17
2.1	Характеристика об'єкту або предмету дослідження	17
2.2	Оброблення результатів досліджень	22
2.3	Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень	28
3	ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	30
3.1	Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва	30
3.2	Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу	38
3.3	Визначення кількості обладнання	57
3.4	Конструювання спеціального оснащення та інструменту	49
4	ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	56
4.1	Визначення основних і допоміжних площ цеху	56
4.2	Розробка планів компонування цеху та розміщення обладнання на ділянці	59
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	61
	ВИСНОВКИ	66
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Машинобудування характеризується збільшенням вимог до параметрів машин. Збільшуються швидкості, навантаження, температури, зменшується маса конструкцій. Основні вимоги до параметрів деталей машин і надалі також наростатимуть. Тому проблема надійності машинобудівної продукції набуває важливого значення. Під надійністю виробу ми розуміємо його властивість безвідмовно працювати протягом встановленого терміну служби за певних умов експлуатації.

Встановлено перелік показників надійності, вибір яких здійснюється виходячи з призначення виробу, характеру та масштабу виробництва. Також розглядається можливість кількісного визначення цих показників розрахунковим або експериментальним шляхом. Проблема надійності високоточних виробів пов'язана з розширенням досліджень фізичних і технологічних причин їх відмов у роботі. Необхідно використовувати сучасний дослідницький апарат, здатний описувати всю складну еволюцію умов і наслідків, що призводять до відмов. Еволюція властивостей будь-яких виробів у процесі їх виготовлення та експлуатації найкращим чином пояснюється явищем технологічної спадковості.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами.

Актуальність теми роботи

На кінцевий стан оброблених поверхонь впливає весь комплекс проведених технологічних операцій. Тому роздільне дослідження окремих операцій не може дати повної картини про створення основних характеристик працездатності деталей. Висновок про функціональну працездатність можна зробити лише розглянувши всі операції у взаємозв'язку. А це значить, що необхідно враховувати основні чинники технологічної спадковості [9].

В сучасному виробництві перед технологами стоїть завдання навчитися оптимально поєднувати технологічні операції. Не тільки для забезпечення максимальної продуктивності при мінімальній собівартості, але і для отримання деталей з підвищеними експлуатаційними властивостями. Для цього разом з використанням класичних положень технології машинобудування необхідно також використовувати закони технологічної спадковості. Потрібно навчитися керувати даними факторами, щоб у результаті точність обробки та характеристики поверхневого шару можна було спрогнозувати та розрахувати за допомогою інженерних методик . [20].

В наш час є актуальними завдання розробки математичних моделей технологічних процесів з допомогою ЕОМ. Тому важливе значення для управління якістю поверхні має вирішення питання про встановлення кількісних залежностей, що характеризують весь технологічний процес обробки та неодмінно враховують явище технологічної спадковості.

З цією метою необхідно проводити експериментальні дослідження. Для створення певної бази даних, які потім аналізують та вибирають найбільш оптимальні рішення. А саме вибирають оптимальні методи обробки деталей та планують найефективніші маршрути технологічних процесів.

Результати наукових праць Іванова Г.П., Старкова В.К., Крагельського І.В., Міхіна Н.М., Сулова А.Г., Ящерицина П.І., Дальського А.М., Рижов Е. В., вказують на те, що технологічна спадковість може бути основою для визначення показників надійності деталей машин. Дослідження технологічної спадковості допоможе досягти оптимальної довговічності деталей машин та значно підвищити показники надійності їх роботи.

Основні характеристик матеріалу які впливають на експлуатаційні властивості деталі та механічну обробку різанням, а отже на показник технологічної спадковості наведені на рисунку 1.1.

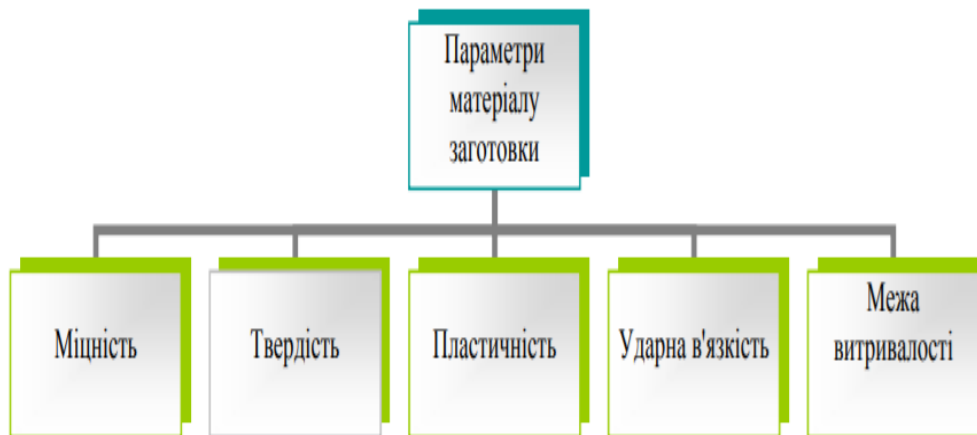


Рисунок 1.2 – Параметри матеріалу заготовки

Переважно всі експлуатаційні властивості поверхні, закладаються під час механічної обробки та зміцнення деталей. [24] Слід зазначити, що інколи такі властивості та характеристики передаються від однієї операції до іншої. Наприклад, технологічний процес виготовлення та ремонту деталей машин завжди супроводжується деформуванням матеріалу на впливом інших додаткових силових факторів.

У певний проміжок часу якість деталі визначається не тільки за останньою операцією, але і за характерними особливостями всіх попередніх операцій. В машинобудуванні найбільш оптимальний технологічний процес створюється на аналізі певних вимог. При чому вони враховують особливості

від кінцевих стадій виробництва до початкових. Іншими словами, процес від збирання до отримання заготовок.

Матеріал деталі і виступає в якості носіїв спадкової інформації. Показники якості деталей машин нероздільно пов'язують із процесом технологічної спадковості. Показники, що підвищують якість деталі, необхідно використовувати під час виконання технологічного процесу, а властивості, що зменшують якість – ліквідувати. Якість деталі, яка виготовляється, залежатиме від кількості негативних властивостей, які будуть мати місце в комплексі операцій, які виконуються аж до готової деталі. Також на якість деталі впливатиме нейтралізація їх позитивними властивостями.

Великим чином на якість деталей впливає успадкування властивостей матеріалу починаючи від оброблюваних заготовок. Дефекти заготовок, що проявляються ще у металургійному виробництві, носять спадковий характер. При механічній обробці вони проявляються у вигляді різних дефектів. Починаючи з металургійного виробництва утворюються різні структури матеріалу заготовок. Коли спадкові дефекти проявляються на фінішних операціях, то їх виправити практично неможливо. До прикладу, якщо шкідливі домішки не ліквідовано на початку процесу, ще у металургійному виробництві, тоді вони будуть присутні на всіх технологічних операціях та переходах обробки.

Різні методи обробки можуть створювати на поверхневих шарах деталі різну структуру поверхневого шару [22].

Представлену схему можна взяти за основу при побудові інших структурних схем. Такі схеми можуть описувати конкретні параметри процесу обробки.

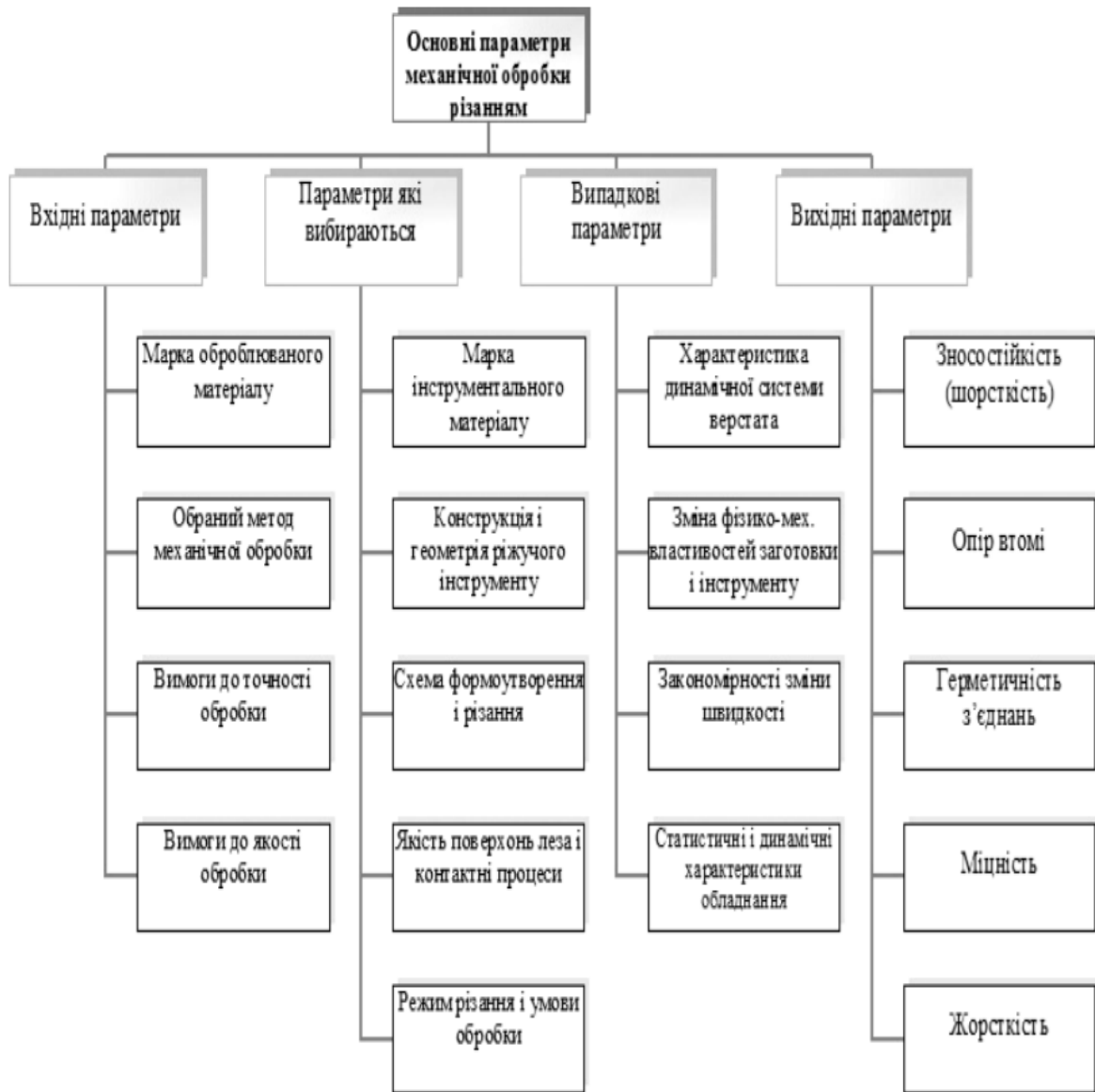


Рисунок 1.2 - Структурна схема параметрів механічної обробки різанням

. Алгоритм параметрів обробки деталей відображає, у даному випадку, послідовність технологічного процесу механічної обробки різанням. За допомогою даної схеми є можливість сформулювати завдання дослідження, описати математичну модель, провести аналіз та синтез, які необхідні при вивченні об'єкту дослідження.

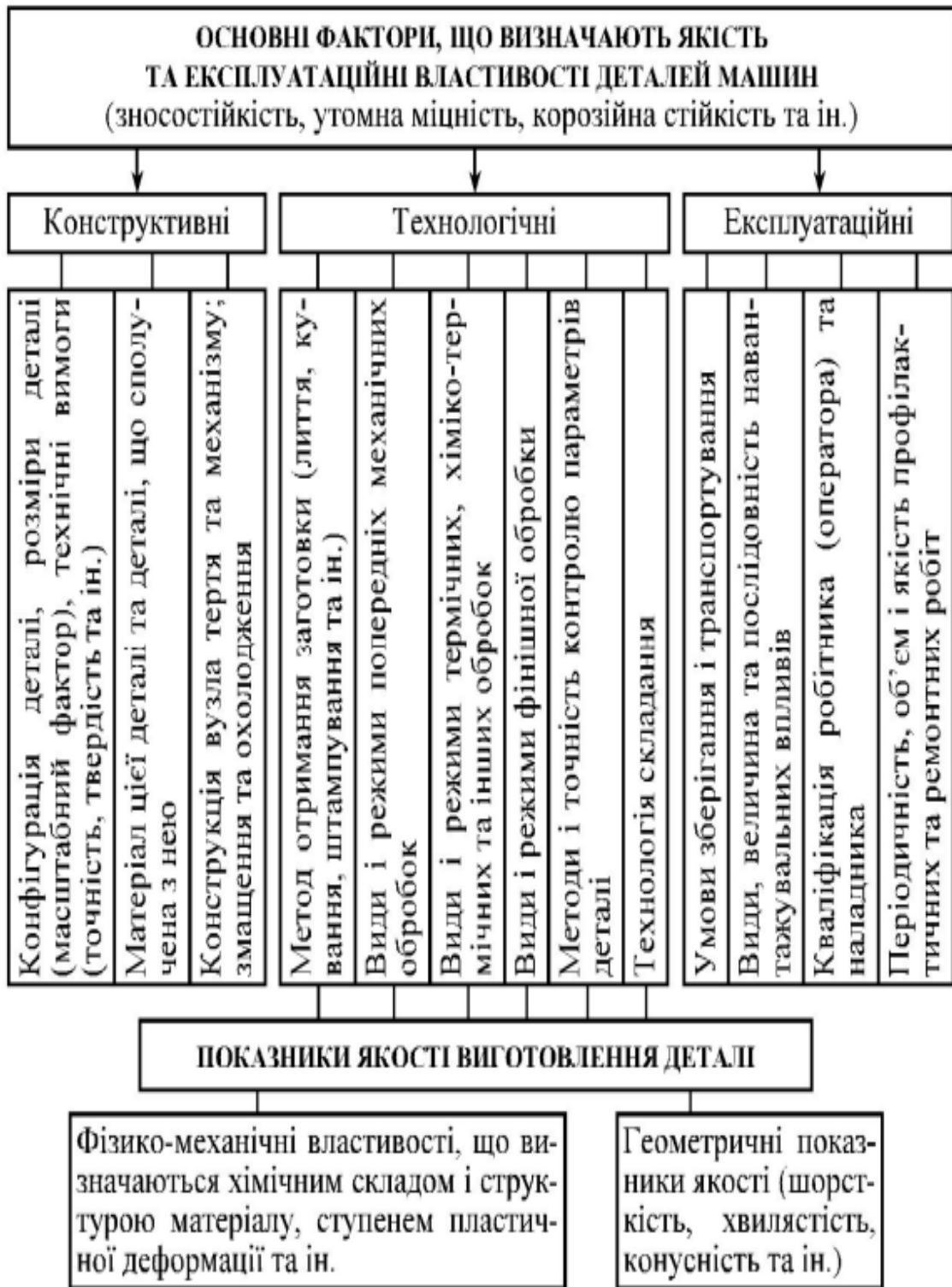


Рисунок 1.3 – Фактори, що визначають якість та експлуатаційні властивості деталей машин

Кожен матеріал від свого початкового стану і утворення деталі із певними розмірними характеристиками проходить декілька етапів, кінцевим результатом яких є параметри якості. Запропонований технологічний процес приводить до зміни вказаних параметрів і умовно може представлятися траєкторією точки. Дана точка рухається в так званому $(n + 1)$ -мірному просторі станів, при чому рух відбувається від початкового до кінцевого стану. Кінцеве число властивостей x_1, \dots, x_n характеризує стан матеріалу на будь-якому проміжку часу. Новий стан повинен розглядатися як наслідок попередніх станів. Траєкторії представляють різні технологічні процеси та умови для наступної роботи об'єкта. Кожний процес обробки та умови експлуатації потрібно розглядати в топологічному плані. При чому необхідно враховувати тимчасовість зміни основних параметрів якості об'єкта. Слід враховувати і динамічні ефекти. Вони викликаються технологічними процесами і спостерігаються при експлуатації об'єктів. Визначення та дослідження таких служить потенціалом для засобів подальшого керування властивостями об'єкта. Зазначимо, що кожен об'єкт виробництва знаходиться в різного виду зв'язках та взаємодіях з явищами, навколишнього середовища. Будь яке явище характеризується умовами його проходження. Вичення явища в динаміці пов'язане з поняттям спадковості.

З метою підвищення якості деталей враховуючи фактори технологічної спадковості слід дотримуватися певних рекомендацій [17]:

1. Визначення факту перенесення параметрів якості від попередньої операції до наступної.
2. Врахування коефіцієнта технологічної спадковості.
3. У відповідності до коефіцієнта спадковості проектувати технологічний маршрут.
4. Досягти постійності коефіцієнта спадковості відіграє позитивну роль у питаннях якості виробів.

5. Визначити, якщо коефіцієнт технологічної спадковості не стійкий, тоді необхідно розробляти принципово новий технологічний процес.

6. Проаналізувати умову доцільності проведення технологічного процесу та перевірити на монотонність зміни коефіцієнт спадковості. Негативні фактори технологічної операції необхідно поступово ліквідувати. Слід враховувати, що для суміжних операцій вказаний коефіцієнт має бути більшим за одиницю. Позитивні фактори мають передаватися від операції до операції. Постійна виконуватися умова постійного зменшення коефіцієнта спадковості - він має бути меншим одиниці на кожній із операцій технологічного процесу.

7. З метою ліквідації негативних наслідків цього технологічного процесу ліквідацію недоліків слід проводити на перших операціях, вартість проведення яких є меншою проведення прикінцевих операцій.

1.2 Службове призначення деталі

Об'єктом виробництва є редуктор 14.151.05.000 який служить для перетворення обертового руху електродвигуна в різні види рухів виконавчих механізмів та пристроїв верстата: механізм подачі матеріалу; механізм відрізки і формування пазових коробів; механізму досипання коробів і повороту статорної оправки [1].

Корпус 14.151.05.010 служить для розміщення в ньому валів, пів-муфт, а відтак і зубчастих коліс і забезпечує точність їх взаємного розташування в процесі збирання і експлуатації. Дана деталь відноситься до корпусних деталей 1-ї групи, тобто корпусна деталь габарити якої мають однаковий порядок.

Заготовка корпусу виготовляється зварюванням сортового листового прокату зі сталі 20.

Ще згадаємо, що корпус редуктора змонтований безпосередньо на основі верстату і служить опорою для механізму подачі і механізмів штампу і досипання.

Корпус має ряд поверхонь виконаних з високим класом шорсткості і квалітетом точності. Це поверхні базових отворів, які призначені для встановлення опор валів, а тому повинні бути виконані в межах 7-8 квалітету точності із параметрами шорсткості $Ra=2,5-3,2$ мкм.

Торці корпусу мають високу шорсткість ($Ra=2,5$ мкм) і достатньо високі вимоги їх функціональним призначенням – забезпечення герметичності і кінематичної точності.

Різеви і гладкі отвори призначені для кріплення деталей і вузлів, виконуються з достатньою точністю (різеви зі степінню точності 7Н, гладкі – по Н12) і з допуском на взаємне розташування $\pm 0,2$ мм, що не вимагає застосування спеціальних методів обробки.

Корпус виготовляється звареним з листового сортового прокату і перевіряється на герметичність.

1.3 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу

Об'єктом машинобудування є деталь, яка повинна мати відповідні значення показників якості. Процес виготовлення будь-якої деталі завжди супроводжується відхиленнями, що мають систематичний або випадковий характер. Таким чином, дійсні значення показників якості будь-якого машинобудівного об'єкта мають відхилення від розрахункових їх значень.

Відхилення, що виникли, повинні знаходитися в межах допуску, в іншому випадку виникає поняття браку, ліквідація якого, призводить до додаткових витрат. Тому причини будь-якого відхилення, що виникло на тому або на іншому етапі виробничого процесу, необхідно вивчати. Це надасть можливість впливати на величину відхилення і, зрештою, на якість виробу. Вирішення цього питання пов'язане з розробкою математичної моделі взаємного впливу похибок з врахуванням явища технологічної спадковості.

Задачі, які виносяться на кваліфікаційну роботу магістра:

- дослідити фактори, які впливають на якість деталі при явищі технологічної спадковості;
- обґрунтувати процес формування параметрів якості виробу ;
- дослідити залежність сумарної похибки токарної обробки від подачі та від швидкості різання з врахуванням та без врахування технологічної спадковості;
- дослідити залежність сумарної похибки токарної обробки від головного кута різця в плані та від допоміжного кута різця у плані;
- вдосконалити технологічний процес виготовлення виготовлення корпусу

14.151.05.01.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об'єкту або предмету дослідження

Для розробки технологічних процесів, з метою забезпечення необхідної якості виробів, з врахуванням показників технологічної спадковості, необхідно побудувати їх системно-структурні моделі. Основою для них можуть служити базові закони технології машинобудування, а також різні фактори та явища. Виключенням і не є явище технологічної спадковості. Дане явище описує перенесення властивостей об'єкта, що обробляється від попередніх операцій до наступних. А в подальшому і до експлуатаційних якостей деталей машин.

Сучасними засобами управління якістю виробу на початковому етапі проектування можуть служити підсистеми САПР ТП, банки даних та експертні системи [17]. За допомогою перелічених елементів можна приймати обґрунтовані рішення при створенні прогресивних технологій. Проте використання даних засобів потребує побудови математичних моделей проєктованих об'єктів. Розглянемо загальні підходи до побудови структурних моделей ТП та відповідних методів обробки. Дані складові є компонентами технологічної системи, та розглядаються на мікро- і макрорівнях [4].

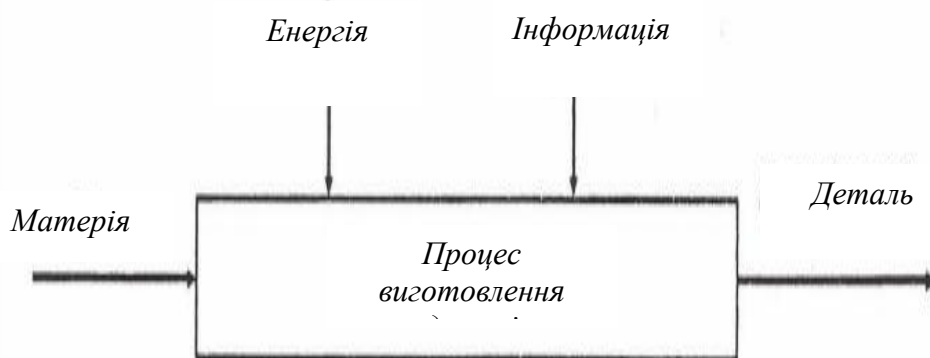


Рисунок 2.1 – Модель технології

У представленому випадку системна модель технології (рис.2.1) зображена у вигляді вхідних потоків: матерії, енергії та інформації. В технології машинобудування під матерією розуміють матеріали для виготовлення деталей. Вхідний потік матеріалів під де-яким впливом енергії та інформації перетворюється на готовий виріб. Даний виріб відрізняється від суми вхідних потоків масою, так як частина матеріалів перетворюється на відходи А також фізико-хімічним станом, тому що після оброблення у деталі виникають внутрішні напруження, а також зміною геометричних форм. Основною задачею при аналізі такої моделі є опис потоку інформації та врахування усіх його змін.

При проектуванні ТП дане завдання вважається складним. Поскільки для його реалізації необхідно побудувати формалізовані та багатопараметричні моделі. Аналіз існуючих ТП показав, що вони можуть описуватися як процеси кількісної та якісної зміни об'єктів виробництва [14].

Враховуючи те, що технологічні процеси повинні забезпечити відповідні параметри якості та належні експлуатаційні характеристики, то слід особливу увагу приділити причинам виникнення відмов. Велику увагу треба приділяти недопустимим відмовам. Представимо перелік причин, що викликають недопустимі умови (рис.2.2).



Рисунок 2.2 - Класифікація недопустимих відмов

Перша група відмов – необґрунтованість технічних умов, виникають на етапі технологічної підготовки виробництва. Друга група - пов'язана зі специфікою технологічного середовища. Третя група – залежить від технології виготовлення деталі. Саме до цієї групи і відноситься вплив технологічної спадковості, яка має прямий вплив на встановлення показників якості при формуванні технологічного процесу.

На рисунку 2.3 представлено схема формування параметрів якості виробу, які спостерігаються під час виконання технологічного процесу. Зображені . послідовні операції , де (0) – заготівельна, відповідно (n) – кінцева операції [19]. $Y_{01}, Y_{02}, \dots, Y_{0j}$ – вхідні параметри, X_1, X_2, \dots, X_m – вихідні параметри технологічного процесу. Введемо показники безвідмовності, $P_i(t)$ – імовірність невідбракування виробів на i -тій операції технологічного процесу. $P_0(t)$ -імовірність на заготівельній операції, і по аналогії $P_1(t)$ – на першій операції техпроцесу. Імовірність $P(t)$ - імовірність неперевикнення границь допуску на відрізок часу. Щодо вихідних параметрів, то вони отримуються в результаті послідовного оброблення заготовки, яке характеризується технологічною спадковістю. Кожна технологічна операція виконується, у відповідності до технологічного процесу.

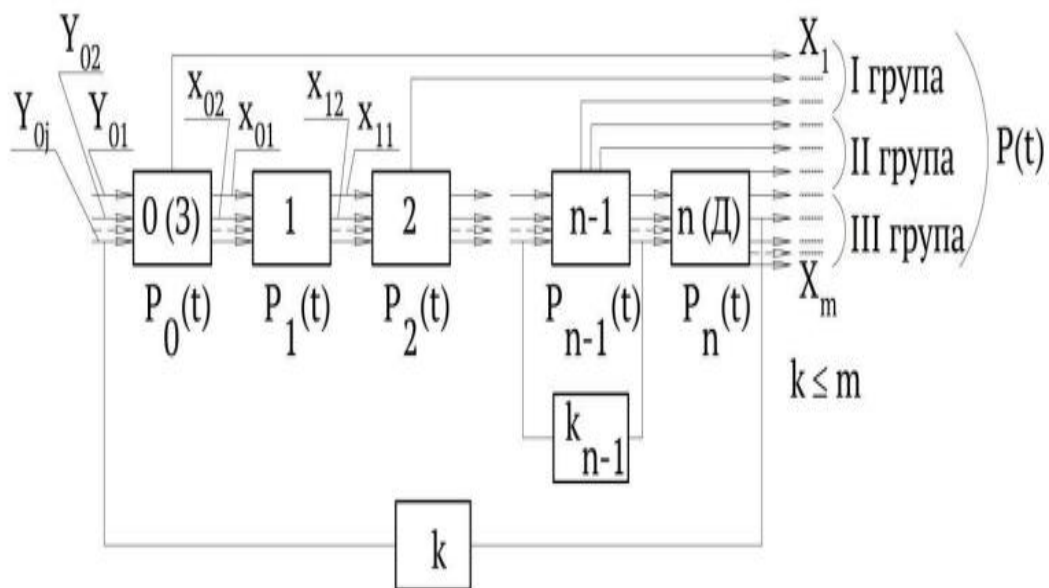


Рисунок 2.3 - Схема формування параметрів якості виробу

Аналізуючи представлену схему бачимо, що є три групи вихідних факторів [18].

До першої групи відносимо неконтрольовані параметри, які зазнають значних змін під час виконання технологічного процесу та не мають суттєвого впливу на кінцеві показники виконання процесу. Вхідними факторами на даному етапі є матеріал заготовки, який має вплив на кінцеві показники якості ТП.

До другої групи відносимо більшу кількість викінчувальних та фінішних операцій. Вони мають вплив на кінцеві показники виконання ТП.

До третьої групи належать деякі фінішні та кінцеві операції. Дані операції наділені властивостями технологічної спадковості. А тому результат кінцевих параметрів залежить від попередніх технологічних операцій.

Обґрунтуємо одержання де-яких вихідних параметрів m будь якого з технологічних ланцюгів. Нехай для технологічних параметрів, кожного зокрема представлена ймовірність P_{xi} його одержання. Розгляд проводимо в межах допуску описаних вище груп та можливістю здійснення контролю в перший період часу для частини з них. Ймовірність P_k визначає ефективність вихідного контролю. Прийmemo для неконтрольованих параметрів $P_k=0$, а для надійного контролю $P_k=1$.

Скористаємося формулою для визначення ймовірності $P(t)$ невідбракованих деталей для технологічного процесу прийого вихідних параметрах m .

$$P(t) = \prod_{i=1}^m [1 - (1 - P_0(t))(1 - P_{xi}(t)(1 - P_k(t)))] \quad (2.1)$$

При аналізі та синтезі варіантів обробки поверхонь деталей враховують не тільки існуючі варіанти структури технологічного процесу, але і раціональні методи отримання заготовки. І тому треба враховувати враховувати коефіцієнт $P_0(t)$, який характеризує ймовірність невідбракованих виробів при виборі заготовки у всій структурі ймовірності $P(t)$ під час проведення технологічного процесу.

$$P(t) = [1 - (1 - P_0(t))] \cdot \prod_{i=1}^m [(1 - (1 - P_{x_i}(t))(1 - (1 - P_k(t)))] \quad (2.2)$$

$P_0(t)$, $P_{x_i}(t)$, $P_k(t)$ – ймовірністні стани для визначення властивостей виробу в процесі його виготовлення, які визначаються покроково з врахуванням явища технологічної спадковості при виконанні ТП.

Технологічну пошкоджувальність визначаємо за залежністю, раховуючи сумуданого показника протягом життєвого циклу:

$$D = \sum D_j \quad (2.3)$$

де D – сумарна пошкоджуваність виробу;

D_j – пошкоджуваність для j -ого часового інтервалу життєвого циклу виробу.

Особливості формування пошкоджуваності матеріалу виробу на субмікроскопічному рівні досліджень, що визначає технологічну спадковість його властивостей, визначаються методом отримання заго'товки. Розглянемо два основних методи отримання заготовок у машинобудуванні: обробка тиском та литво.

Опис трансформації властивостей виробів згідно з працями А. М. Дальського та О. С. Васильєва базується на наступних положеннях

- якість деталі формується протягом усього технологічного процесу;
- будь-який вплив на заготовку спричиняє зміну всіх її властивостей;
- зміна будь-якої властивості тягне за собою зміну всіх інших показників якості деталі.

Значення сумарної похибки обробки при використанні розрахунково-аналітичного методу складається з первинних похибок.

Взаємний вплив складових сумарної похибки обробки проявляється не тільки в реалізації окремих операцій, а й у результатах реалізації технологічного процесу в цілому. Відомим розрахунково-аналітичним методом визначення сумарної похибки можна скористатися для оцінки результатів на окремій технологічній операції. Використовуючи його, неможливо стежити за впливом похибок сформованих на попередніх етапах

обробки, на похибки, які формуються на наступних етапах. Отже, при проведенні розрахунків необхідно відійти від принципу суперпозиції та враховувати взаємний вплив складових сумарної похибки обробки. Особливо це відноситься для обробки високоточних деталей.

При розгляді трансформації властивостей деталі технологічну систему будемо вважати фізичною системою. Отже, необхідно визначити значення з-го показника якості деталі після виконання y -ї операції технологічного процесу. В загальному представити механізм збереження властивостей виробу в процесі технологічного процесу можна наступним чином [10]:

$$(K_i)_j = M_j + N_j \quad (2.4)$$

де M_j - доданок, що характеризує оперативне трансформацію властивостей виробу;

N_j - доданок, що характеризує вплив технологічної спадковості на формування показника $(K_i)_j$.

Співвідношення доданків, що характеризує поточну трансформацію властивостей виробу та технологічну спадковість залежить від квалітету точності оброблюваної поверхні (рис. 3.3) [22]. Аналіз графічної залежності показує, що частина спадкової складової у показника якості – не перевищує 40%.

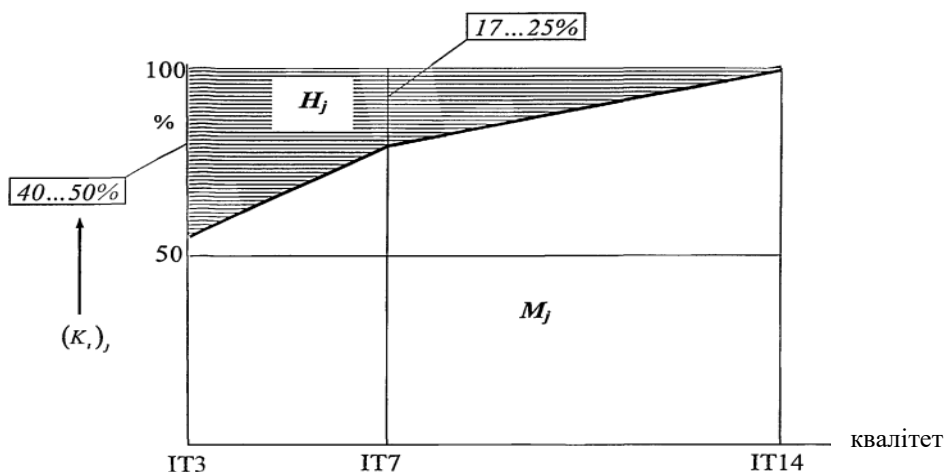


Рисунок 3.3 - Співвідношення M_j та технологічної спадковості N_j для різного рівня якості

Враховуючи залежність (2.4) значення похибки P_i після виконання j -тої операції в загальному визначатиметься так:

$$(P_i)_j = (P_{co})_j + (P_{cn})_j \quad (2.5)$$

$(P_{co})_j$ - складова i -тої похибки, що виникає внаслідок взаємодії із заготівкою технологічного середовища рівня операції j ;

$(P_{cn})_j$ -- складова i -тої похибки, із врахуванням явища спадковості.

Провівши ряд перетворень одержимо значення складової від взаємного впливу різних похибок для даної операції

$$(P_b)_j = \sum_{k=1}^{k=I} (a_{ik})_j (P_k)_{Dj} \quad (2.6)$$

де k - індекс складової похибки;

I - загальна кількість складових похибок;

$(P_k)_{Dj}$ - детерміноване значення похибки P_k в j -ій операції;

a_{ik} - коефіцієнт трансформації похибки.

Попередні вирази представимо у матричній формі [10]:

$$[P_i]_j = [a_{ik}]_j [P_i]_{Dj} \quad (2.7)$$

Вибір матричного підходу на вирішення поставленої у цій роботі завдання викликаний такими міркуваннями:

- матричні справедливі для будь-якої кількості елементів;
- правила складання матриць легко формалізуються;
- існує програмне забезпечення розрахунку для розрахунку матриць;
- за допомогою матриць можна вирішити систему будь-яких лінійних алгебраїчних рівнянь.

Таким чином, для розробки аналітичного методу визначення очікуваної точності обробки будемо використовувати матричний підхід, суть якого

викладена вище і який найбільш повно описує механізм формування складових похибок з урахуванням технологічної спадковості

2.2 Оброблення результатів досліджень

Залежності до розрахунку значень коефіцієнтів трансформації елементарних похибок [23]:

$$a_{\Delta x, \Delta y} = C_1 s^{a_1} v^{b_1} \phi^{d_1} \phi^{e_1} r^{f_1} \quad (2.8)$$

Залежність для розрахункового визначення детермінованих значень елементарних похибок токарної обробки та елементарних похибок токарної обробки з урахуванням їх взаємного впливу:

$$(\Delta x)_{\Delta y} = C_1 S^{a_2} v^{b_2} \phi^{d_2} \phi^{e_2} r^{f_2} \quad (2.9)$$

Дані залежності визначити сумарну похибку токарної обробки з урахуванням положень технологічної спадковості на рівні технологічного переходу.

$$\begin{aligned} \Delta h &= (\Delta h)_D - a_{\Delta h, \Delta Lp} (\Delta Lp)_D - a_{\Delta h, Rn} (\Delta Rn)_D + a_{\Delta h, \Delta izn} (\Delta izn)_D \\ \Delta Lp &= -a_{\Delta h, \Delta Lp} (\Delta h)_D + (\Delta Lp)_D + a_{\Delta h, Rn} (\Delta Rn)_D + a_{\Delta L \Delta izn} (\Delta izn)_D \\ \Delta Rn &= -a_{\Delta h, \Delta Lp} (\Delta h)_D + a_{\Delta h, \Delta Lp} (\Delta Lp)_D + (\Delta Rn)_D - a_{\Delta Rn, \Delta izn} (\Delta izn)_D \\ \Delta izn &= a_{\Delta izn} (\Delta h)_D - a_{\Delta izn, \Delta Lp} (\Delta Lp)_D - a_{\Delta izn, \Delta Rn} (\Delta Rn)_D + (\Delta izn)_D \end{aligned} \quad (2.10)$$

де, $(\Delta h)_D$ - детерміноване значення похибки Δh на даному переході;

$a_{\Delta h, \Delta Lp}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки ΔLp у складову сумарної похибки;

$(\Delta Lp)_D$ - детерміноване значення похибки ΔLp на даному проході;

$a_{\Delta h, Rn}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки ΔRn на даному проході;

$(\Delta Rn)_D$ - детерміноване значення похибки ΔRn на даному проході;

$a_{\Delta h, \Delta izn}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки $\Delta h, \Delta izn$ в складову Δh сумарної похибки;

$(\Delta izn)_D$ - детерміноване значення похибки Δizn на даному проході;

$a_{\Delta h, \Delta Lp}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки Δh у складову ΔLp сумарної похибки;

$a_{\Delta h, \Delta Rn}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки ΔRn у складову ΔLp сумарної похибки;

$a_{\Delta L \Delta izn}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки Δizn у складову Δh сумарної похибки;

$a_{\Delta izn, \Delta Lp}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки Δh у складову ΔLp сумарної похибки;

$a_{\Delta izn, \Delta Rn}$ - коефіцієнт трансформації на проході похибки ΔLp в суміжній похибці, що становить ΔRn

Методика проведення експерименту

Вибиралися вихідні дані щодо розрахунків:

- марки оброблюваного матеріалу – Ст45 та відповідна йому марка інструментального матеріалу – ВК8;

- геометричні параметри інструменту: задній кут $\alpha = 12^\circ$, передній кут $\gamma = 5^\circ$, радіус округлення ріжучої кромки $\rho = 50$ мкм, фаска зносу $\Delta = 0$ мкм;

- глибина різання $t = 0,5$ мм;

- модель металорізального обладнання – 16А20Ф3;

- тип використовуваного пристрою - трикулачковий патрон;

- проводилося точіння зовнішніх поверхонь циліндричних деталі.

Параметри поверхні, що обробляється: діаметр оброблюваної поверхні $D=80$ мм, довжина деталі $L=400$ мм;

• діапазони варіювання технологічних умов обробки:

$S = 0,06 \dots 0,30$ мм/об, $V = 0,4 \dots 0,8$ м/с, $\phi = 45^\circ \dots 90^\circ$, $\phi_1 = 15^\circ \dots 60^\circ$,

$z = 0,5 \dots 1,0$ мм.

Проводилося п'ять серій експериментів [23].

Після кожної зміни умови обробки та отримання відповідної якості поверхні проводився вимір діаметру мікрометром.

1. За допомогою програми Excel 2003 розраховувалися детерміновані значення наступних елементарних похибок:

• похибки, обумовленої недостатньою жорсткістю технологічної системи;

• похибки, обумовленої температурною деформацією оброблюваної деталі;

• похибки, що виникає внаслідок температурних деформацій ріжучого інструменту;

• похибки, пов'язані зі зносом ріжучого інструменту.

2. Розраховувалися детерміновані значення елементарних похибок.

3. Розраховувалися коефіцієнти трансформації елементарних похибок одна в одну.

4. Визначалася сумарна похибка токарної обробки без урахування взаємного впливу елементарних похибок.

5. Розраховувалися значення сумарної похибки токарної обробки з урахуванням взаємного впливу елементарних похибок.

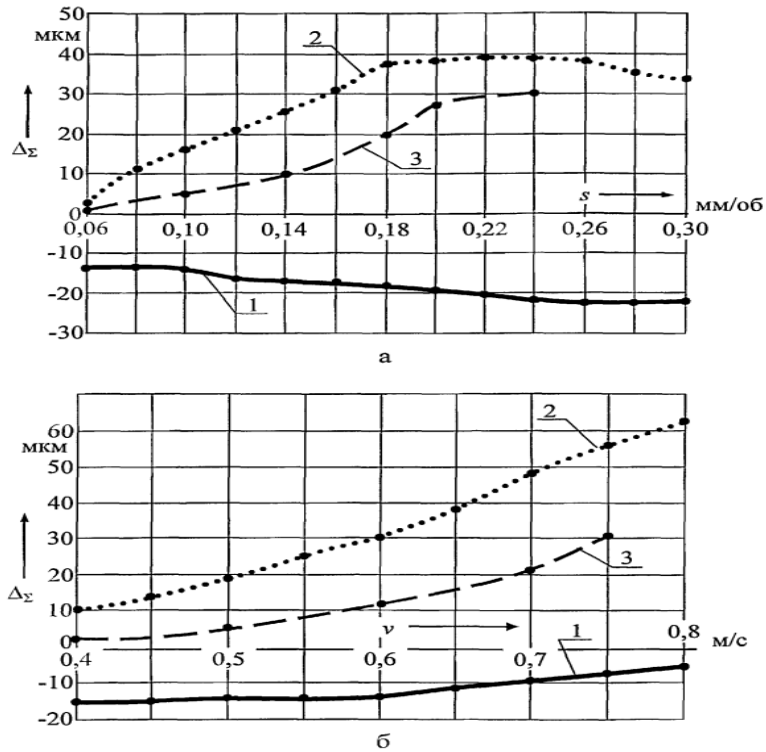


Рисунок 3.4 - Залежність сумарної похибки токарної обробки від подачі (а) та від швидкості різання (б): 1- без урахування взаємного впливу елементарних похибок, 2- без врахування взаємного впливу елементарних похибок, 3- значення сумарної похибки, отримані в результаті експериментів

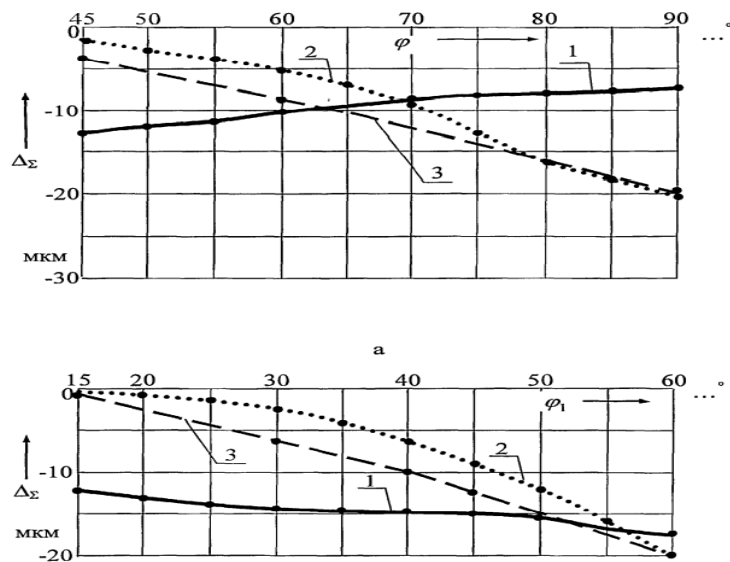


Рисунок 3.5 - Залежність сумарної похибки токарної обробки від головного кута різця в плані (а) та від допоміжного кута різця у плані (б)

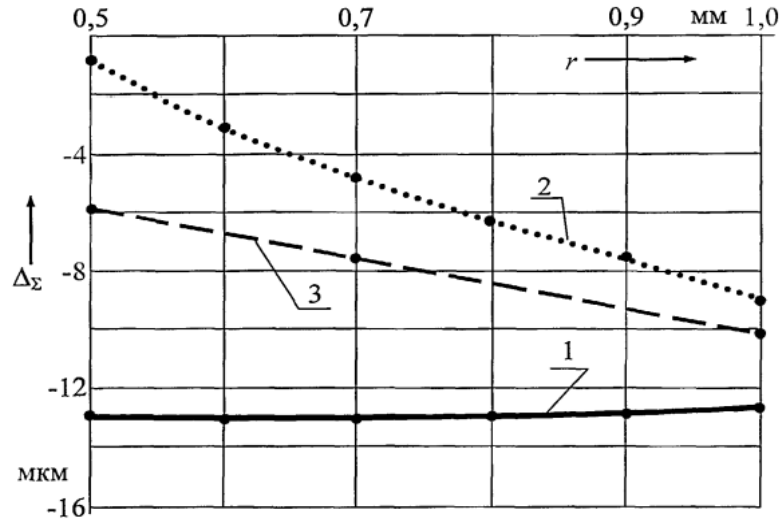


Рисунок 3.6 - Залежність сумарної похибки токарної обробки від радіуса при вершині різця в плані

1 - без урахування взаємного впливу елементарних похибок

2 - є врахування взаємного впливу елементарних похибок

3- значення сумарної похибки, одержані в результаті експериментів

Як видно з наведених вище графічних залежностей, значення сумарної похибки, отримані за результатами експериментів, як правило, більше значень цієї похибки, розрахованої без урахування положення технологічної спадковості, і набагато ближче до значень похибки, розрахованої з урахуванням цих положень.

2.3 Висновки та пропозиції щодо використання результатів виконаних досліджень

Технологічна спадковість включає в себе перенесення елементів з попередніх технологічних операцій до наступних. Протягом виконання технологічного процесу формуються основні експлуатаційні показники деталі. Слід зауважити, що показники якості оброблювальної поверхні формуються

не тільки при останній операції обробки але і специфікою попередніх операцій. Розроблення технологічного процесу повинно ґрунтуватися на вимогах, які враховують алгоритм від кінцевих стадій до початкових. Іншими словами всі моменти від збирання вузлів до отримання заготовок.

При збільшенні подачі значення похибок збільшується. Тому, що збільшення подачі приводить до збільшення як сил різання, так і температури в зоні обробки.

При збільшенні швидкості різання величина всіх похибок зростає, внаслідок збільшенням температур.

При збільшенні головного та допоміжного кутів різця похибки деталі зменшується. Тому, що відбувається зменшення кількості тепла, що транспортується в деталь.

При збільшенні радіуса при вершині різця похибки збільшуються.

Носіями спадкової інформації виступає матеріал деталі. Якісні Показники якості обробки поверхонь тісно пов'язують із процесом технологічної спадковості. Фактори, які мають добрий вплив на показники якості деталі, потрібно зберігати під час виконання технологічного процесу виготовлення деталі.

3 ТЕХНОЛОГІЧНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Попереднє встановлення типу та організаційної форми виробництва

Вихідні дані:

- річна програма випуску – 1000 шт;
- номінальний річний фонд часу роботи у дві зміни $\Phi_{ном} = 4120$ год;
- дійсний річний фонд часу роботи $\Phi_o = 4030$ год.

Коефіцієнт закріплення операцій [1]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum C_{пр}}; \quad (3.1)$$

де $\sum O$ – кількість всіх операцій, які підлягають виконанню;

$\sum C_{пр}$ – прийнята кількість робочих місць на дільниці.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1.- Встановлення типу виробництва

Назва і зміст операції	T_o , хв	$T_{шт.к.}$, хв	m_p	P	$\eta_{з.факт}$	O
1	2	3	4	5	6	7
1. Поздовжньо-фрезерна Фрезерувати пов. 1, 2, 6	2,97	4,48	0,24	1	0,24	3,125
2. Поздовжньо-фрезерна Фрезерувати пов. 1, 3	3,48	5,25	0,29	1	0,29	2,41
3. Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 4	3,42	5,16	0,27	1	0,27	2,78
4. Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 5	3,07	4,63	0,25	1	0,25	3
5. Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 7 начорно	2,76	4,16	0,20	1	0,20	3,7
6. Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 7 начисто	2,29	3,46	0,17	1	0,17	4,4

1	2	3	4	5	6	7
7. Радіально-свердлильна						
Свердлити 5 отв. 25	0,7					
Свердлити 2 отв. 24	0,26	1,58	0,1	1	0,1	7,5
Зенкерувати 2 отв. 24	0,16					
Розвернути 2 отв. 24	0,11					
8. Радіально-свердлильна						
Свердлити 10 отв. 28	0,952					
Свердлити отв. 26, 29	0,448					
Свердлити отв. 27	0,54	5,05	0,26	1	0,26	2,9
Зенкерувати отв. 26, 29	0,18					
Розвернути отв. 26, 29	0,13					
Нарізати різь 28	0,82					
Нарізати різь 27	0,512					
9. Свердлильно-фрезерна з ЧПК						
Фрезерувати по контуру пов. 8	5,64					
Свердлити 10 отв. 55	1,12					
Свердлити 2 отв. 54	0,16					
Зенкерувати 2 отв. 54	0,07					
Розвернути 2 отв. 54	0,05	17,39	1,06	2	0,53	1,38
Свердлити 2 отв. 49	0,224					
Зенкерувати 2 отв. 49	0,09					
Розвернути 2 отв. 49	0,07					
Свердлити 3 отв. 50	0,27					
Нарізати різь 55	0,81					

Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7
10. Свердлильно-фрезерна з ЧПК						
Фрезерувати по контуру пов. 52	7,22					
Свердлити 10 отв. 9	0,9					
Свердлити 6 отв. 10	0,54					
Свердлити 3 отв. 11	0,268	22,56	1,24	2	0,62	1,21
Свердлити отв. 53	0,336					
Нарізати різь 9	0,64					
Нарізати різь 10	0,384					
Нарізати різь 11	0,144					
Нарізати різь 53	0,312					
11. Св.-фр.-розточувальна з ЧПК						
Свердлити отв. 18	3,09					
Зенкерувати отв. 17, 32	0,378					
Розвернути отв. 17, 32	0,255					
Розточити отв. 13, 16 начорно	0,48					
Розточити отв. 13, 16 начисто	0,648					
Цекувати отв. 35	0,12					
Свердлити отв. 14, 19	2,016					
Зенкерувати отв. 14, 19 начорно	0,704					
Зенкерувати отв. 14, 19 начисто	0,55	24,45	1,34	2	0,67	1,12
Розточити отв. 21 начорно	0,33					
Розточити отв. 21 начисто	0,54					
Цекувати отв. 37	0,08					
Розточити отв. 15 начорно	0,552					
Розточити отв. 15 начисто	0,72					
Зенкувати фаски	0,06					
Свердлити отв. 20	0,77					
Зенкерувати отв. 20	0,29					
Цекувати отв. 36	0,06					

Кінець таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7
12. Горизонтально-розточна						
Розточити отв. 22, 22А начорно	0,603	4,239	0,23	1	0,23	3,26
Розточити отв. 22, 22А начисто	0,81					
13. Радіально-свердлильна						
Свердлити 4 отв. 39	0,448					
Свердлити отв. 38, 40	1,201	4,228	0,23	1	0,23	3,26
Свердлити 3 отв. 56	0,47					
Нарізати різь 39	0,24					
Нарізати різь 40	0,64					
14. Радіально-свердлильна						
Свердлити 12 отв. 41	1,801	4,902	0,27	1	0,27	2,8
Зенкувати фаски	0,14					
Нарізати різь в 12 отв. 41	1,536					
15. Радіально-свердлильна						
Свердлити 8 отв. 46	1,201					
Свердлити 5 отв. 45	0,952					
Свердлити 2 отв. 44	0,448					
Свердлити 2 отв. 51	0,224	7,51	0,37	1	0,37	2,05
Нарізати різь 46	1,024					
Нарізати різь 45	0,8					
Нарізати різь 51	0,192					
Зенкерувати отв. 44	0,268					
Розвернути отв. 44	0,207					
Разом		119,049		18		44,86

$$K_{з.о.} = \frac{44,86}{18} = 2,49;$$

Так як $K_{з.о.} > 1$, то маємо велико серійне виробництво.

Згідно рекомендацій заготовку даної деталі можна отримати методами [13]:

- литвом в піщані форми при машинній формовці по металевих моделях;

- зварюванням листового сортового прокату напівавтоматичною зваркою в вуглекислому газі.

Загальні вихідні дані:

- маса деталі – 210 кг;
- річна програма випуску – 1000 шт;
- тип виробництва – великосерійний.

Таблиця 3.2- Порівняльні характеристики заготовок одержаних різними методами

Найменування показників	Перший варіант	Другий варіант
Вид заготовки	Литво в піщані форми	Зварний варіант
Клас точності	9-10 т	-
Група серійності	3	2
Група складності	III	IVa – II
Вартість 1 т. заготовок, грн.	18500	15500
Вартість 1т. відходів, грн.	2500	2500
Маса заготовки Q, кг	248	254

Вартість литої заготовки визначається за формулою:

$$S_{\text{зал}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} \right) - (Q - g) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (3.2)$$

де C_i - базова вартість 1 т заготовки, грн.;

Q - маса заготовки;

g - маса готової деталі;

$S_{\text{відх}}$ - ціна 1 т відходів, грн.;

K_T - коефіцієнт, який залежить від точності відливки;

K_C - коефіцієнт, який залежить від групи складності відливки;

K_B - коефіцієнт, який залежить від маси відливки;

K_M - коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

K_{II} - коефіцієнт, який залежить від об'єму виробництва.

$$S_{загI} = \left(\frac{18500}{1000} \cdot 248 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,22 \cdot 1 \right) - (248 - 210) \frac{2500}{1000} = 4300,32 \text{ грн}.$$

Вартість заготовки одержаної з сортового прокату буде:

$$S_{загII} = M_{заг} + \sum C_{o.z.}, \quad (3.3)$$

де $M_{заг}$ - затрати на матеріал заготовок;

$\sum C_{o.z.}$ - приведені затрати на порізку листового прокату на плазморізальній машині і зварювання на півавтоматичній зварці в середовищі вуглекислого газу.

$$M_{заг} = Q \cdot \frac{S}{1000} - (Q - g) \frac{S_{відх}}{1000} = 15500 \cdot \frac{254}{1000} - (254 - 210) \frac{2500}{1000} = 3820,7 \text{ грн},$$

$$C_{o.z. \text{різки}} = \frac{C_{п.з.} \cdot T_{шт.к.}}{60 \cdot 100} = \frac{1664 \cdot 20,2}{60 \cdot 100} = 5,6 \text{ грн};$$

$$C_{o.z. \text{зварки}} = \frac{2090 \cdot 87,5}{60 \cdot 100} = 30,4 \text{ грн};$$

$$S_{загII} = 3820,7 + 5,6 + 30,48 = 4190,7 \text{ грн}.$$

В нашому випадку раціональним способом одержання заготовки буде зварювання з листового сортового прокату.

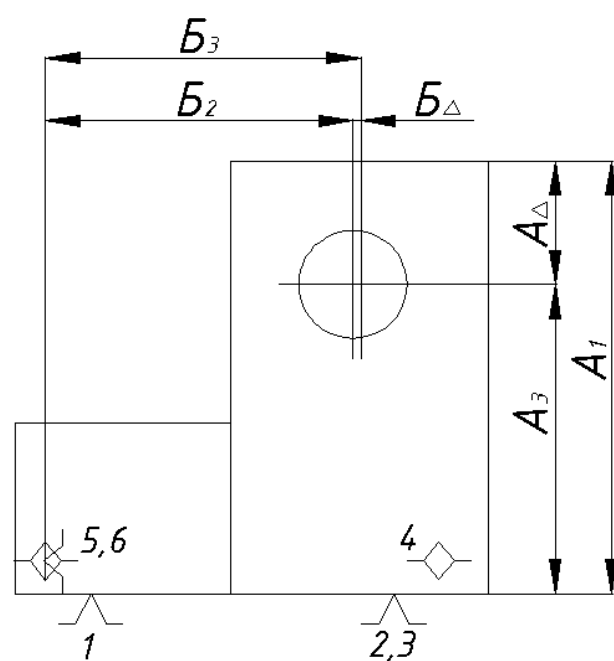
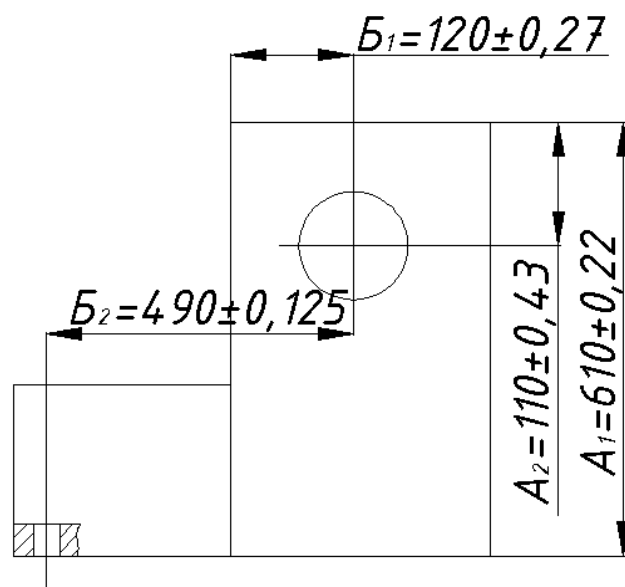
Економічний ефект в порівнянні з литвом в піщані форми:

$$E = (S_{загI} - S_{загII}) \cdot N = (4300,32 - 4190,7) \cdot 1000 = 106200 \text{ грн}.$$

Вибір і розрахункове обґрунтування технологічних баз.

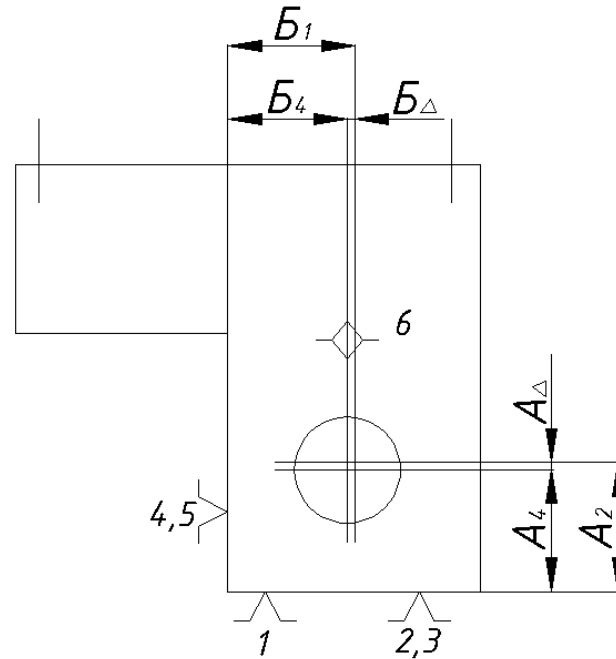
Виконуємо розрахункове обґрунтування вибору технологічних баз [12].

В результаті обробки необхідно забезпечити розташування основних отворів відносно базових поверхонь корпусу.



a)

б)



в)

Рисунок 3.1- Вибір технологічних баз для обробки головних отворів

Будуємо технологічні розмірні ланцюги, які вирішують задачу при базуванні по двох варіантах.

ωA_3 ; ωA_5 ; ωB_1 ; ωB_3 - похибка настроювання інструменту відносно технологічної бази;

ωA_Δ ; ωB_Δ - сума допусків на зміщення отворів після обробки;

ωA_4 ; ωA_1 ; ωB_2 ; ωB_4 - допуски на виконуючі розміри.

Варіант 1: $A_\Delta = A_1 - A_3$;

$$\omega A_\Delta = \omega A_1 + \omega A_3 = 0,44 + 0,06 + 0,012 = 0,52 \text{ мм};$$

$$B_\Delta = B_3 - B_2;$$

$$\omega B_\Delta = \omega B_3 + \omega B_2 = 0,06 + 0,08 + 0,012 + 0,25 = 0,402 \text{ мм}.$$

Варіант 2: $A_\Delta = A_4 - A_5$;

$$\omega A_\Delta = \omega A_4 + \omega A_5 = 0,86 + 0,06 + 0,03 + 0,07 = 1,02 \text{ мм};$$

$$B_\Delta = B_1 - B_4;$$

$$\omega B_\Delta = \omega B_1 + \omega B_4 = 0,54 + 0,06 + 0,03 + 0,07 = 0,7 \text{ мм}.$$

Для виготовлення основних отворів приймаємо схему базування по варіанту 1 (рисунок 2.1. б)

Установочна база - поверхня 3; напрямна у упорна – отвори 24.

3.2 Розроблення технологічного процесу виготовлення виробу

Встановлення припусків на проектування заготовки [13]

Аналітичний розрахунок виконуємо для отвору $\varnothing 120^{+0,03}$. Всі результати розрахунків зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3-Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на оброблення отвору $\varnothing 120^{+0,03}$.

Технологічні переходи оброблення отвору $\varnothing 120^{+0,03}$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничне значення розміру, мм		Граничне значення припуску, мм	
	R_Z	T	ρ	ε				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}^{np}$	$2Z_{max}^{np}$
1. Листовий прокат	40	260	270			118,456	870	117,60	118,456		
2. Розточування:											
- чорнове	50	50	16	110	2·590	119,636	250	119,40	119,636	1180	1800
- пів чистове	30	40	10	7	2·117	119,87	87	119,78	119,87	230	380
- тонке	5	10	5	4	2·80	120,03	30	120,00	120,03	160	230
Разом										1570	2410

$$2Z_{\min i-1} = 2 \left(R_{Z_{i-1}} + T_{1_{i-1}} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right),$$

де $Z_{\min i-1}$ - мінімальний припуск і-того переходу;

$R_{Z_{i-1}}$ - висота нерівностей на (i-1)-му переході;

$T_{1_{i-1}}$ - глибина дефектного шару, отримана на (i-1)-му переході;

ρ_{i-1} - просторове відхилення, отримане на (i-1)-му переході;

ε_i - похибки базування, закріплення, встановлення на i – му переході;

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

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

$$\rho_{кор} = \sqrt{(\Delta_k \cdot D)^2 + (\Delta_k \cdot L)^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 120)^2 + (0,5 \cdot 30)^2} = 78 \text{ мкм},$$

де Δ_k - питома кривизна заготовки;

$\rho_{зм}$ - величина зміщення осі отвору відносно поверхонь зовнішнього контуру деталі прийнятого за базу на першій операції

$$\rho_{зм} = \delta_g = 260 \text{ мкм} .$$

$$\rho_{заг} = \sqrt{78^2 + 260^2} = 270 \text{ мкм} .$$

Похибка установки для чорнового розточування буде:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_g^2 + \varepsilon_{закр}^2} ;$$

Так як вимірні і установочні бази не співпадають, то похибка базування буде $\varepsilon_g = 0,07$, тоді:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{70^2 + 80^2} = 110 \text{ мкм} ;$$

Величина залишкових просторових відхилень буде:

- після чорнового розточування $\rho_1 = 0,06 \cdot 270 = 16 \text{ мкм}$;

- після півчистового розточування $\rho_2 = 0,04 \cdot 270 = 10 \text{ мкм}$;

- після тонкого розточування $\rho_3 = 0,02 \cdot 270 = 5 \text{ мкм}$.

Залишкова похибка установки:

- при півчистовому розточування $\varepsilon_2 = 0,06 \cdot 110 \approx 7 \text{ мкм}$;

- при тонкому розточування $\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 110 \approx 4 \text{ мкм}$.

На основі приведених в таблиці 3.3 даних, виконуємо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків користуючись основною формулою:

$$2Z_{\min 1} = 2 \cdot \left(40 + 260 + \sqrt{270^2 + 110^2} \right) = 5 \cdot 590 \text{ мкм} ;$$

$$2Z_{\min 2} = 2 \cdot \left(50 + 50 + \sqrt{16^2 + 7^2} \right) = 5 \cdot 117 \text{ мкм} ;$$

$$2Z_{\min 3} = 2 \cdot \left(30 + 40 + \sqrt{10^2 + 4^2} \right) = 5 \cdot 80 \text{ мкм} .$$

а) Розрахунковий розмір

$$d_{p3} = 120,03 \text{ мм} ;$$

$$d_{p2} = d_{p3} - 2Z_{\min 3} = 120,03 - 2 \cdot 0,08 = 119,87 \text{ мм} ;$$

$$d_{p1} = d_{p2} - 2Z_{\min 2} = 119,87 - 2 \cdot 0,117 = 119,636 \text{ мм};$$

$$d_{pззз} = d_{p1} - 2Z_{\min 1} = 119,636 - 2 \cdot 0,590 = 118,456 \text{ мм}.$$

б) Мінімальний розмір

$$d_{\min} = d_{\max i} - \delta_i;$$

$$d_{\min ззз} = 118,456 - 0,870 = 117,586 \approx 117,60 \text{ мм};$$

$$d_{\min 1} = 119,636 - 0,250 = 119,386 \approx 119,40 \text{ мм};$$

$$d_{\min 2} = 119,87 - 0,087 = 119,783 \approx 119,78 \text{ мм};$$

$$d_{\min 3} = 120,03 - 0,030 = 120,00 \text{ мм}.$$

в) Граничні припуски

$$2Z_{\min}^{np} = d_{\max i} - d_{\max i-1};$$

$$2Z_{\max}^{np} = d_{\min i} - d_{\min i-1};$$

$$2Z_{\min 3}^{np} = 120,03 - 119,87 = 0,16 \text{ мм} = 160 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 2}^{np} = 119,87 - 119,636 = 0,234 \text{ мм} = 230 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 1}^{np} = 119,636 - 118,456 = 1,18 \text{ мм} = 1180 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 3}^{np} = 120,00 - 119,78 = 0,22 \text{ мм} = 220 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{np} = 119,78 - 119,40 = 0,38 \text{ мм} = 380 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 1}^{np} = 119,40 - 117,60 = 1,80 \text{ мм} = 1800 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min}^{np} = \sum_{i=1}^n 2Z_{\min i}^{np} = 1570 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max}^{np} = \sum_{i=1}^n 2Z_{\max i}^{np} = 2410 \text{ мкм}.$$

г) перевірка правильності виконаних розрахунків

$$2Z_{\max 3}^{np} - 2Z_{\min 3}^{np} = 220 - 160 = 60 \text{ мкм};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 90 - 30 = 60 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{np} - 2Z_{\min 2}^{np} = 380 - 230 = 150 \text{ мкм};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 237 - 87 = 150 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 1}^{np} - 2Z_{\min 1}^{np} = 1800 - 1180 = 620 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_1 = 870 - 250 = 620 \text{ мкм};$$

д) номінальний розрахунковий припуск

$$2Z_{ном} = 2Z_{min}^{np} + ES_{заг} - ES_{дет} = 1,570 + 0,435 - 0,03 = 1,97 \text{ мм} = 1970 \text{ мкм}$$

е) номінальний розмір заготовки

$$d_{заг.ном.} = d_{дет.ном.} - 2Z_{ном} = 120 - 1,97 = 118,03 \text{ мм}.$$

Таблиця 3.4- Припуски і допуски на оброблювані поверхні корпусу 4.151.05.010

Поверхня	Розмір	Припуск, мм		Допуск, мм
		Табличний	Розрахований	
2, 3	610±0,22	2·3,5	–	±1,4
1, 7	555	2·3,5	–	±1,4
6	570 _{-0,5}	3,0	–	±1,4
4	263	3,0	–	±1,05
5	255	3,0	–	±1,05
21	120 ^{+0,03}	2·2,5	2·0,985	±0,7
15	160 ^{+0,04}	2·2,5	–	±0,8
13	85 ^{+0,035}	2·2,5	–	±0,7
16	95 ^{+0,035}	2·2,5	–	±0,7
22, 22А	90 ^{+0,035}	2·2,5	–	±0,7

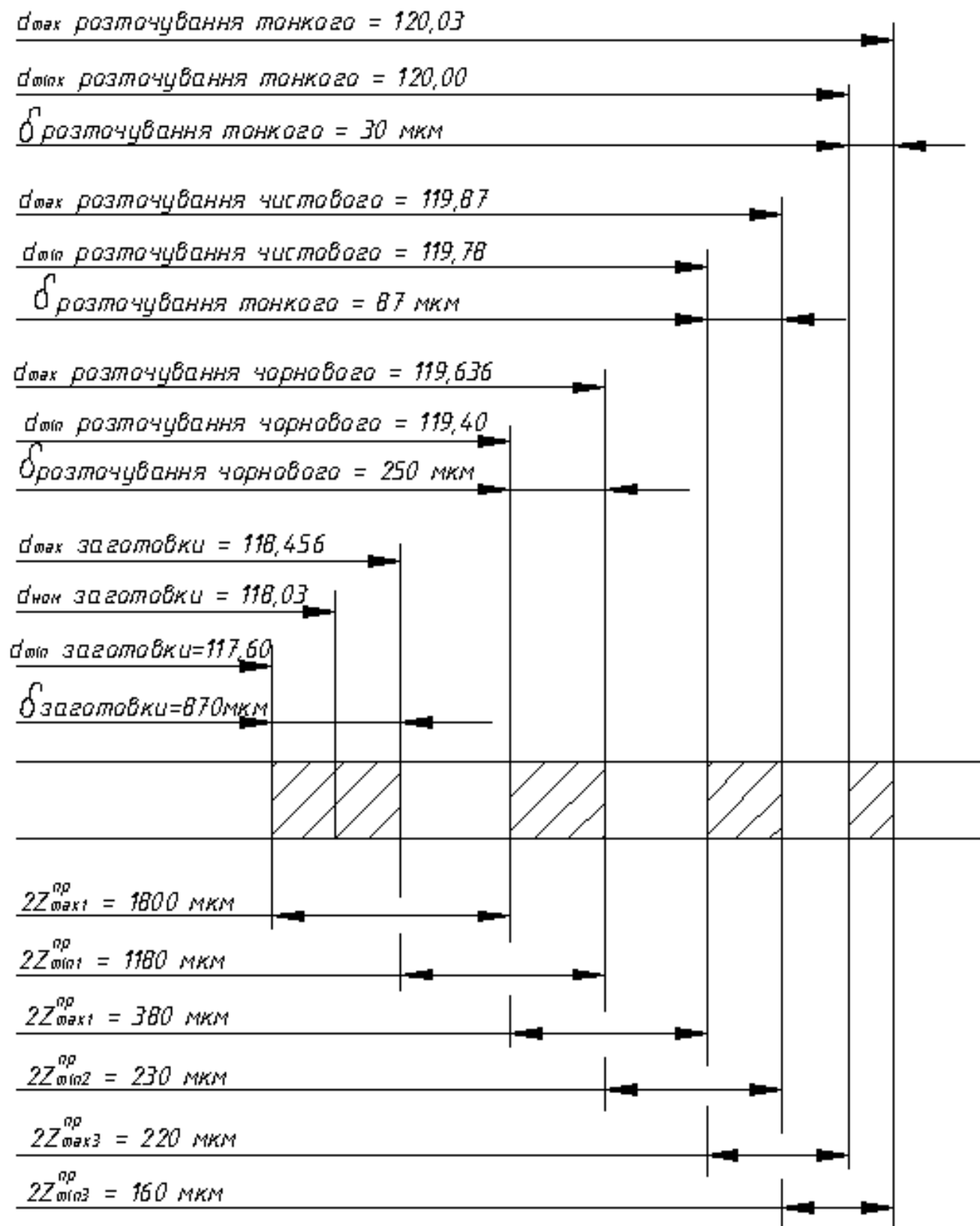


Рисунок 3.2- Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку отвору $\text{Ø}120^{+0,03}$

3.3 Визначення кількості обладнання

Розрахуємо режими різання за емпіричними формулами для операцій [15]:

015 Вертикально-фрезерна

На даній операції виконується фрезерування поверхні 4 в розмір $263 \pm 0,7$.

1. Фреза торцева насадна зі вставними ножами оснащеними пластинками з твердого сплаву T15K6

$D=400$ мм, $Z=20$ (число зубів).

2. Глибина різання $t=3,5$ мм.

Ширина фрезерування $B=280$ мм.

3. Подача $S=0,15$ мм/зуб.

4. Швидкість різання:

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v; \quad (3.4)$$

де K_v - поправочний коефіцієнт.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv};$$

де K_{mv} - коефіцієнт, який залежить від якості оброблюваного матеріалу.

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma} \right)^{n_v} = 1,0 \left(\frac{750}{650} \right)^1 = 1,15;$$

K_{nv} - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки, приймаємо

$$K_{nv} = 0,9.$$

K_{uv} - коефіцієнт, який враховує інструментальний матеріал,

приймаємо $K_{uv} = 1,0$.

$$K_v = 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,03.$$

Прийmemo, що:

$$C_v = 332; \quad q = 0,2; \quad X = 0,1; \quad Y = 0,4; \quad u = 0,2; \quad p = 0; \quad m = 0,2;$$

$$V = \frac{332 \cdot 400^{0,2}}{400^{0,2} \cdot 3,5^{0,1} \cdot 0,15^{0,4} \cdot 280^{0,2} \cdot 20^0} \cdot 1,03 = 128,8 \text{ м/хв}.$$

Звідси частота обертання шпинделя буде:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 128,8}{\pi \cdot 400} = 106,6 \text{ хв}^{-1}.$$

5. Сила різання:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^X \cdot S_z^Y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_{mp};$$

$$K_{mp} = (\sigma_6 / 750)^n = (650 / 750)^{0,3} = 0,95$$

Приймаємо: $C_p = 825; X = 1,0; Y = 0,75; u = 1,1; q = 1,3; \omega = 0,2;$.

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 3,5^{1,0} \cdot 0,10^{0,75} \cdot 280^{1,1} \cdot 20}{400^{1,3} \cdot 106,6^{0,2}} \cdot 0,95 = 3040 \text{ Н}.$$

6. Крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{3040 \cdot 400}{2 \cdot 100} = 6080 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

7. Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60};$$

$$N_e = \frac{3040 \cdot 128,8}{1020 \cdot 60} = 6,4 \text{ кВт}.$$

8. По потужності різання вибираю вертикально-фрезерний верстат моделі 6550 і корегую режими різання.

Ефективна потужність електродвигуна верстату:

$$N_{\text{дв.е}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт}.$$

Частота обертання шпинделя:

$$n_\phi = 100 \text{ хв}^{-1};$$

Фактична швидкість різання:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000} = \frac{\pi \cdot 400 \cdot 100}{1000} = 125,6 \text{ м/хв}.$$

Хвилинна подача:

$$S_{xв} = S_z \cdot Z \cdot n = 0,15 \cdot 20 \cdot 100 = 300 \text{ мм/хв.}$$

Згідно з паспортними даними верстату $S_{xв} = 250 \text{ мм/хв.}$

Тоді фактична подача на зуб фрези буде:

$$S_z = \frac{S_{xв}}{Z \cdot n} = 0,12 \text{ мм/зуб.}$$

9. Основний машинний час:

$$T_0 = \frac{L_{p.x.}}{S_{xв}} = \frac{L + l_1}{S_{xв}} = \frac{570 + 104}{250} = 2,896 \text{ хв.}$$

На інші технологічні операції і переходи, режими різання встановлюємо аналогічно і дані розрахунків заносимо в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 Режими різання

Операція	Зміст переходу	Глибина різання t , мм	Подача, мм/об		Частота обертання n , хв ⁻¹		Швидкість різання, м/хв		Розрахункова потужність різання N , кВт
			Розрахункове	Прийняте	Розрахункове	Прийняте	Розрахункове	Прийняте	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005	Поздовжньо-фрезерна Фрезерувати пов. 1, 2, 6	2,5	308,8	250	66,6	63	128,8	125,6	8,4
010	Поздовжньо-фрезерна Фрезерувати пов. 1, 3	1	302	250	66,6	63	132,1	125,6	6,42
015	Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 4	3,5	308,8	250	106,6	100	128,8	125,6	6,4
020	Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 5	3,5	308,8	250	106,6	100	128,8	125,6	7,8
025	Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 7 начорно	2,5	308,8	250	406,8	400	128,8	125,6	5,8
030	Вертикально-фрезерна Фрезерувати пов. 7 начисто	1	308,8	250	406,6	400	128,8	125,6	4,7

Продовження таблиці 3.5									
035	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 5 отв. 25	6,25	0,195	0,18	491	475	19,3	18,6	1,63
	Свердлити 2 отв. 24	5,6	0,195	0,18	473	475	17,4	16,6	1,37
	Зенкерувати 2 отв. 24	0,35	0,37	0,315	695	630	26	23,5	1,69
	Розвернути 2 отв. 24	0,05	0,7	0,63	185,5	160	7	6,03	1,21
040	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 10 отв. 28	4,25	0,185	0,18	495	475	16,4	14,7	1,2
	Свердлити отв. 27	3,4	0,180	0,18	548	475	12,3	10,1	1,04
	Свердлити отв. 26, 29	4,6	0,195	0,18	503	500	15,6	14,7	1,33
	Зенкерувати отв. 26, 29	0,35	0,37	0,315	667	630	21,3	19,58	1,51
	Нарізати різь 28	0,75	1,5	1,5	277	250	7,5	6,28	1,42
	Нарізати різь 27	0,6	1,25	1,25	294	250	7,3	5,08	1,20
	Розвернути отв. 26, 29	0,05	0,7	0,63	191	160	5,98	5,02	1,03
045	Свердлильно-фрезерно-розточувальна з ЧПК								
	Фрезерувати по контуру пов.8	2,5	305	305	667	667	88	88	4,6
	Свердлити 10 отв. 55	4,25	0,195	0,195	495	495	16,4	16,4	1,3
	Свердлити 2 отв. 54	3,6	0,175	0,175	564	564	15,1	15,1	1,01
	Зенкерувати 2 отв. 54	0,35	0,34	0,34	648	648	14,3	14,3	1,4
	Розвернути 2 отв. 54	0,15	0,55	0,55	180	180	5,4	5,4	0,87
	Свердлити 2 отв. 49	4,6	0,195	0,195	503	503	15,6	15,6	1,33
	Зенкерувати 2 отв. 49	0,35	0,37	0,37	667	667	21,3	21,3	1,61
	Розвернути 2 отв. 49	0,05	0,7	0,7	191	191	5,98	5,98	1,03
	Свердлити 3 отв. 50	3,4	0,18	0,18	548	548	12,3	12,3	1,2
	Нарізати різь 55	0,75	1,5	1,5	277	277	7,5	7,5	1,42
Нарізати різь 50	0,625	1,25	1,25	294	294	7,3	7,3	1,	

Продовження таблиці 3.5									
050	Свердлильно-фрезерно-розточувальна з ЧПК								
	Фрезерувати по контуру пов.52	2,0	305	305	667	667	88	88	4,6
	Свердлити 10 отв. 9	3,4	0,18	0,18	548	548	12,3	12,3	1,2
	Свердлити 6 отв. 10	3,4	0,18	0,18	548	548	12,3	12,3	1,2
	Свердлити 3 отв. 11	2,5	0,18	0,18	500	500	8,5	8,5	0,8
	Свердлити отв. 53	18,75	0,32	0,32	545	545	21,4	21,4	2,95
	Нарізати різь 10	0,625	1,25	1,25	294	294	7,3	7,3	1,20
	Нарізати різь 11	0,625	1,25	1,25	294	294	7,3	7,3	1,20
	Нарізати різь 53	0,5	1,0	1,0	250	250	5,1	5,1	0,9
		0,75	1,25	1,25	45	45	5,2	5,2	2,3
055	Свердлильно-фрезерно-розточувальна з ЧПК								
	Свердлити отв. 18	23	0,35	0,35	180	180	26	26	6,8
	Зенкерувати отв. 17, 32	1	0,4	0,4	160	160	30	30	7,9
	Розвернути отв. 17, 32	0,2	2,3	2,3	48	48	9	9	4,1
	Розточити отв. 13, 16 начорно	1,5	0,15	0,15	420	420	163	163	3,2
	Розточити отв. 13, 16 начисто	0,7	0,10	0,10	520	520	165	165	2,1
	Цекувати отв. 35	2,55	0,55	0,55	57	57	16	16	4,6
	Свердлити отв. 14, 19	7,5	0,35	0,35	180	180	26	26	6,8
	Зенкерувати отв. 14, 19	2,2	0,4	0,4	160	160	30	30	8,1
	Розвернути отв. 14, 19	0,3	1,5	1,5	38	38	7	7	3,75
	Розточити отв. 21 начорно	1,5	0,15	0,15	100	100	125,6	125,6	3,4
	Розточити отв. 21 начисто	0,7	0,12	0,12	100	100	125,6	125,6	2,2
	Цекувати отв. 37	2,55	0,55	0,55	40	40	19,4	19,4	5,2
	Розточити отв. 15 начорно	1,5	0,15	0,15	255	255	128	128	3,9
	Розточити отв. 15 начисто	0,7	0,1	0,1	255	255	128	128	2,6
	Свердлити отв. 20	27,5	0,35	0,35	185	185	30	30	6,8
	Зенкерувати отв. 20	1,0	0,4	0,4	40	40	7	7	8,1
	Цекувати отв. 36	2,55	0,55	0,55	62	62	16	16	4,2

Закінчення таблиці 3.5									
060	Горизонтально-розточувальна	1,5	0,17	0,14	581	575	163	155	3,9
	Розточити отв. 22, 22А	0,7	0,12	0,12	581	575	164,	158	2,4
	начорно	0,3	0,09	0,08	581	575	7	160	1,9
	Розточити отв. 22, 22А начисто						169		
	Розточити отв. 22, 22А тонко								
065	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 4 отв. 39	2,5	0,2	0,18	530	500	9,1	8,5	0,8
	Свердлити отв. 38, 40	3,4	0,21	0,18	548	500	13,1	12,3	1,2
	Свердлити 3 отв. 56	3,5	0,21	0,18	548	500	13,1	12,6	1,2
	Нарізати різь 39	0,5	1,0	1,0	263	250	5,7	5,1	0,9
Нарізати різь 40, 38	0,62	1,25	1,25	294	250	7,3	5,8	1,1	
		5							
070	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 12 отв. 41	3,4	0,21	0,18	548	500	13,1	12,3	1,2
	Зенкувати фаски	1,6	0,12	0,12	520	500	16,1	14,2	0,8
	Нарізати різь в 12 отв. 41	0,62	1,25	1,25	294	250	7,3	5,8	1,1
		5							
075	Радіально-свердлильна								
	Свердлити 8 отв. 46	3,4	0,21	0,18	548	500	13,1	12,3	1,2
	Свердлити 5 отв. 45	4,25	0,19	0,18	505	500	15,6	16,7	1,17
	Свердлити 2 отв. 44	4,6	5	0,18	503	500	16,9	17	1,38
	Свердлити 2 отв. 51	2,5	0,19	0,18	530	500	9,1	8,5	0,8
	Нарізати різь 46	0,62	5	1,25	294	250	7,3	5,8	1,1
	Нарізати різь 45	5	0,2	1,5	277	250	7,5	6,28	1,42
	Нарізати різь 51	0,75	1,25	1,0	263	250	5,7	5,1	0,9
	Зенкерувати отв. 44	0,5	1,5	0,31	667	630	21,3	19,5	1,51
	Розвернути отв. 44	0,35	1,0	5	191	160	5,91	8	1,03
		0,05	0,37	0,63				5,02	
			0,7						

Проведемо нормування технологічного процесу [2]

Таблиця 3.6.- Технічні норми часу по операціях технологічного процесу

Номер і назва операції	T_o	$T_{дон}$			$T_{он}$	$T_{об}$		$T_{відн.}$	$T_{шт.}$
		$T_{у.з.} + T_{в.з.}$	$T_{ун}$	$T_{вим}$		$T_{мех}$	$T_{опг}$		
005 Поздовжньо-фрезерна	2,78	0,372	0,39	0,44	3,882	0,04	0,05	0,192	4,164
010 Поздовжньо-фрезерна	3,50	0,372	0,39	0,44	4,719	0,05	0,06	0,228	5,057
015 Вертикально-фрезерна	2,896	0,372	0,39	0,44	4,569	0,05	0,06	0,228	4,967
020 Вертикально-фрезерна	3,12	0,372	0,39	0,44	4,329	0,05	0,06	0,212	4,641
025 Вертикально-фрезерна	2,54	0,372	0,39	0,44	3,749	0,04	0,05	0,185	4,024
030 Вертикально-фрезерна	2,38	0,372	0,39	0,52	3,662	0,04	0,05	0,178	3,93
035 Радіально-свердлильна	1,34	0,372	0,48	0,618	2,810	0,02	0,03	0,121	2,971
040 Радіально-свердлильна	3,89	0,412	0,44	0,510	4,33	0,08	0,05	0,243	4,706
045 Свердлильно-фрезерна з ЧПК	12,3	0,412	2,605	1,504	16,821	0,234	0,12	0,312	17,487
050 Свердлильно-фрезерна з ЧПК	14,93	0,412	2,307	1,208	18,857	0,302	0,13	0,321	19,61
055 Свердлильно-фрезерно-розточувальна ЧПК	17,41	0,412	2,83	1,619	22,321	0,384	0,15	0,339	23,194
060 Горизонтально-розточувальна	1,94	0,412	0,46	0,612	3,424	0,15	0,06	0,208	3,842
065 Радіально-свердлильна	2,73	0,412	0,38	0,12	3,642	0,07	0,05	0,201	4,063
070 Радіально-свердлильна	2,96	0,412	0,36	0,14	3,872	0,07	0,05	0,213	4,305
075 Радіально-свердлильна	5,39	0,412	0,43	0,17	6,402	0,11	0,07	0,317	6,899

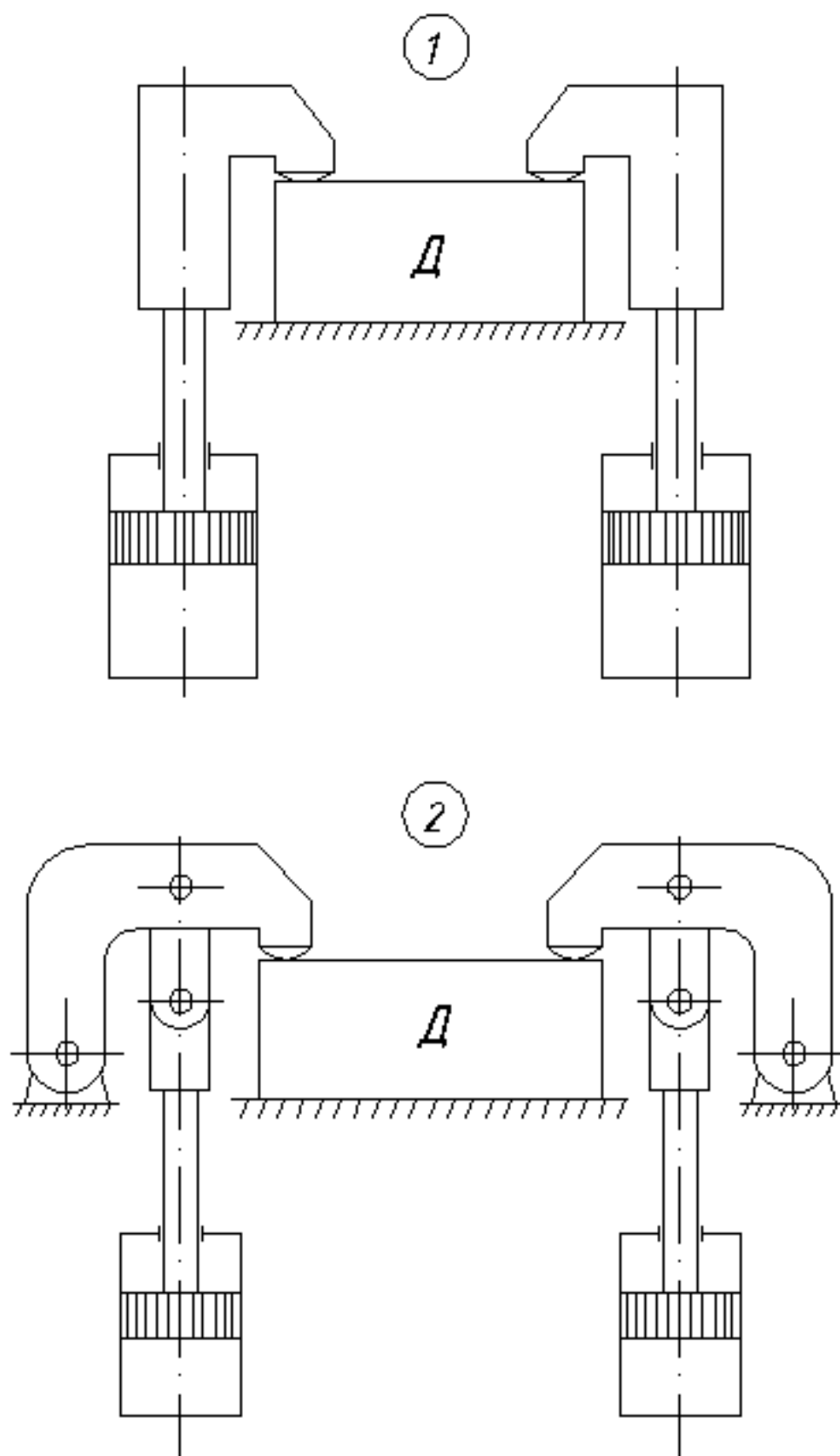
3.4 Конструювання спеціального оснащення

Оскільки маємо великосерійний тип виробництва, то виникає необхідність в застосуванні спеціального верстатного пристрою [8].

Пристрій використовується при виконанні операції 015 де виконується однократне фрезерування поверхні 4

Для вибору раціональної схеми компоновки пристрою нижче наведено можливі варіанти схем (дивитись рисунок 3.3).

Вибір оптимальної схеми компоновки приводу здійснюється по коефіцієнтах вагомості:



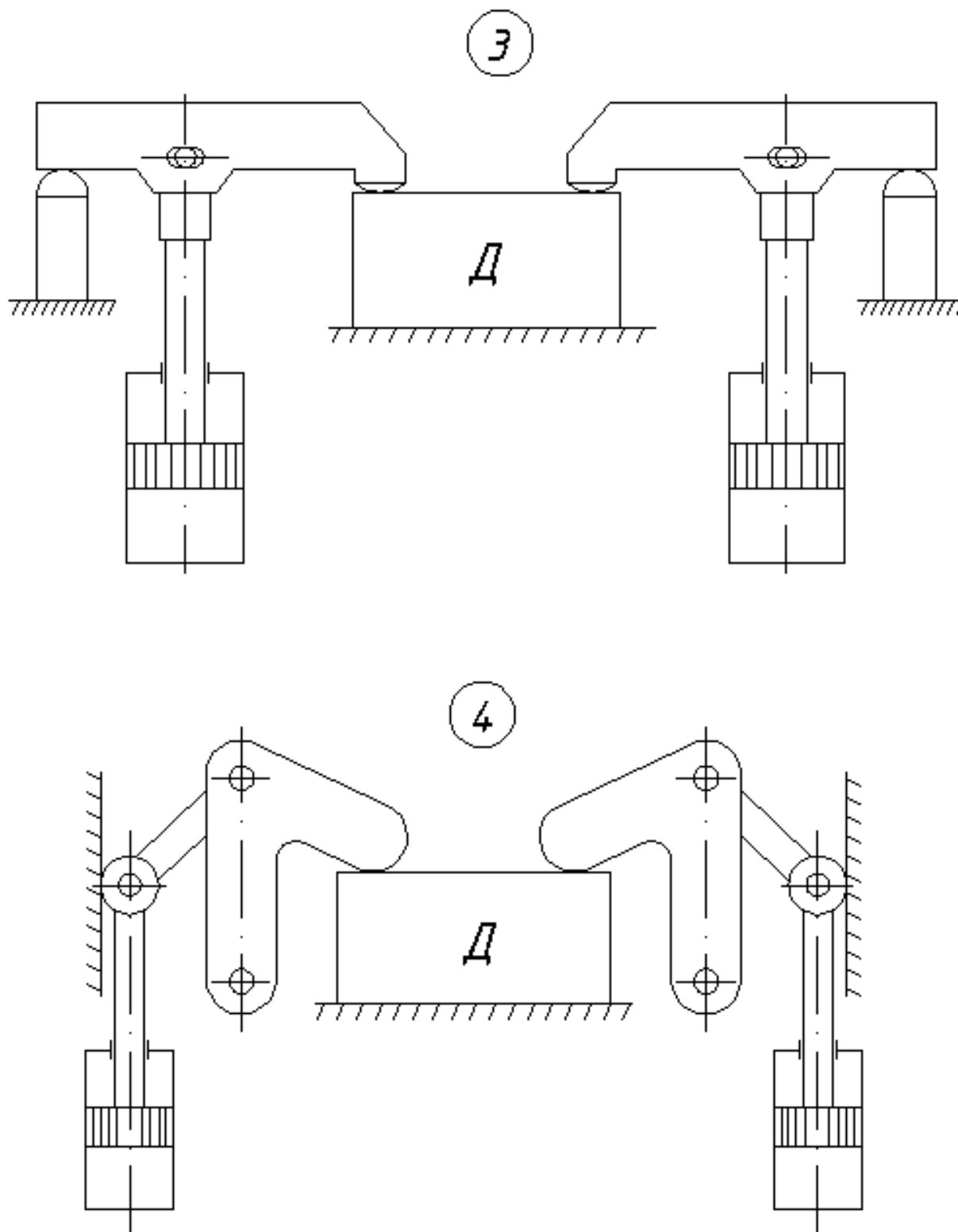


Рисунок 3.3- Схеми компонок пристроїв

$$K_{\Sigma} = \sum K_i \cdot n_i; \quad (3.5)$$

де K_i - критерій оцінки;
 n_i - критерій вагомості.

Критерій оцінки зводимо в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 Критерій оцінки

№ схеми	Оптимальний коефіцієнт підсилення	Володіння властивістю самогальмування	Кількість передавальних механізмів	Наявність проміжної ланки	Критерій оцінки
1	1	–	0	–	0,4
2	1	–	2	1	0,1
3	1	–	1	–	0,4
4	2,8	–	1	1	1,1
Вага критерію	0,5	0,3	-0,1	-0,2	

Найбільший сумарний критерій оцінки має схема 4 і тому вона приймається для подальшого детального розроблення як найраціональніша.

Проведемо розрахунок пристрою на точність

Для визначення точності пристрою необхідно виходити з нерівності:

$$\delta \geq \sum_{i=1}^n \Delta_i ; \quad (3.6)$$

де δ - величина допуску на оброблюваний розмір;

$\sum \Delta_i$ - сумарна похибка пристрою.

Ця похибка складається з похибки базування Δ_{δ} , похибки установки Δ_y , похибки закріплення Δ_z , похибки обробки $\Delta_{обр}$ і похибки пристрою $\Delta_{пр}$:

$$\delta \geq \Delta_{\delta} + \Delta_y + \Delta_z + \Delta_{обр} + \Delta_{пр} . \quad (3.7)$$

Враховуючи векторний характер похибок, можна записати формулу для визначення сумарної похибки пристрою:

$$\Delta_{пр} \leq \delta - K \cdot \sqrt{\Delta_{\delta}^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + \Delta_{обр}^2 + \Delta_{пр}^2 + \Delta_{уст}^2} ; \quad (3.8)$$

$\Delta_{\delta} = 0$ - похибка базування, так як суміщені вимірна і установочна бази;

$\Delta_z = 0,05\text{мм}$ - похибка закріплення;

$\Delta_{zn} = 0,04\text{мм}$ - похибка зношування установочних елементів;

$\Delta_n = 0,02\text{мм}$ - похибка поповнення;

$\Delta_{np} = 0$ - похибка зміщення різального інструменту, так як відсутні

направляючі елементи пристрою.

Економічна точність рівна 0,1. Приймаємо $K_1 = 0,7$, одержимо $\Delta_{обр} = 0,12\text{мм}$.

Підставивши одержані значення в формулу, одержимо:

$$\Delta'_{np} \leq 0,52 - 1,2 \cdot \sqrt{0^2 + 0,05^2 + 0,04^2 + 0,02^2 + 0^2 + 0,12^2} = 0,185; \quad (3.9)$$

Точність пристрою вища від допуску на оброблюваний розмір в 2,8 рази.

Представимо силовий розрахунок параметрів приводу

Силу затиску W , яка створюється затискачем, можна визначити, розв'язуючи систему рівнянь:

$$\frac{T}{\cos \alpha} \cdot l_2 - W \cdot l_1 - f' \cdot R \cdot r = 0; \quad (3.10)$$

$$W^2 + \left(\frac{T}{\cos \alpha}\right)^2 = R^2; \quad (3.11)$$

де f' - приведений коефіцієнт тертя в опорі Б;

R - реакція в опорі Б;

r - радіус осі Б;

T - сила на штоці гідроциліндра.

Піднесемо перше рівняння до квадрату, а друге помножимо на $(f' \cdot r)^2$, а потім вирахуємо другий результат з першого і отримаємо наступне рівняння:

$$W^2 [l_1^2 - (f' \cdot r)^2] - W \left(\frac{2T}{\sin \alpha} \cdot l_1 \cdot l_2 \right) + \frac{T^2}{\sin^2 \alpha} [l_1^2 - (f' \cdot r)^2] = 0; \quad (3.12)$$

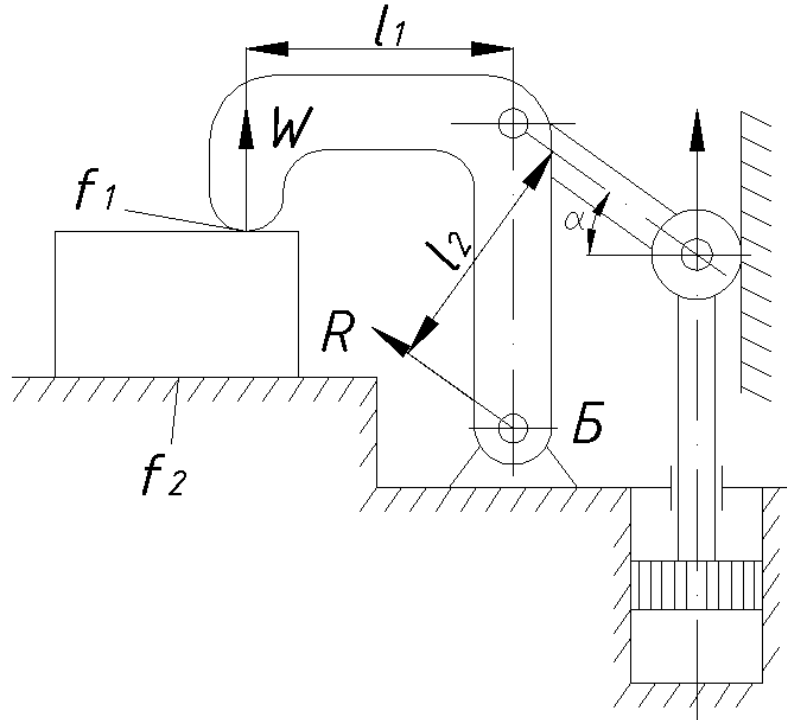


Рисунок 3.4- Схема для розрахунку степені підсилення з допомогою шарнірного підсилювача.

Так як квадрат величини $(f'r) < 1$ і $f' = 0,127$, а r в 3-4 рази менший за l_1 , то коефіцієнт при невідомому в другій степені без великої похибки можна рахувати рівним l_1^2 , а коефіцієнт при T^2 - рівним l_2^2 .

$$\text{Тоді: } l_1^2 W^2 - \frac{2T}{\sin \alpha} \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot W + l_2^2 \cdot \frac{T^2}{\sin \alpha} = 0;$$

$$\text{Звідси } W = \frac{\frac{2T}{\sin \alpha} \cdot l_1 \cdot l_2 + \sqrt{4 \left(\frac{T}{\sin \alpha} \right)^2 \cdot l_1^2 \cdot l_2^2 - 4T^2 \cdot l_1^2 \cdot l_2^2}}{2l_1^2} = \frac{T \cdot l_2}{\sin \alpha \cdot l_1};$$

Внаслідок цього коефіцієнт підсилення такого типу можна визначити не враховуючи похибки на тертя, тобто за формулою:

$$K_c = \frac{W}{T} = \frac{l_2}{\cos \alpha \cdot l_1}; \quad (3.13)$$

В нашому випадку $K_c = 2,8$.

Необхідна сила затиску буде:

$$W = \frac{K \cdot P_z}{f_1 + f_2}; \quad (3.14)$$

де $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,83$ - коефіцієнт затиску сили затиску;

f_1, f_2 - коефіцієнти тертя відповідно в місцях контакту заготовки з опорами і з затискним механізмом.

$$W = \frac{2,83 \cdot 3765}{0,16 + 0,7} = 14020,4 \text{ Н} . \quad (3.15)$$

Так як в пристрої задані два механізми затиску, то кожен з них розвиває зусилля $7010,2 \text{ Н}$.

Необхідна сила на штоці буде:

$$P_c = \frac{Q}{K_c} = \frac{7010,2}{2,8} = 2530,8 \text{ Н} . \quad (3.16)$$

Визначимо параметри силового приводу:

Діаметр гідроциліндра буде:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{P_c / (p \cdot \eta_{\text{мех}})} = 1,13 \cdot \sqrt{25308 / (6,3 \cdot 0,9)} = 78,5 \text{ мм} ; \quad (3.17)$$

де $p = 6,3 \text{ МПа}$ - тиск мастила;

$\eta_{\text{мех}} \leq 0,93$ - механічний ККД.

Приймаємо діаметр гідроциліндра $D_{\text{пр}} = 80 \text{ мм}$.

4.ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

4.1Визначення виду приміщення і площ

1. Площа ділянки механічного оброблення [5].

Приймаємо виробничу типову площу на один верстат:

$$S_{\text{тип.в}} = 50\text{м}^2 / \text{в}.$$

Тоді площа ділянки механічного оброблення корпусу 14.151.05.010 буде:

$$S_1' = 18 \cdot 50 = 900\text{м}^2.$$

Площа ділянки механічного оброблення інших деталей вузла:

$$S_2' = 18 \cdot 20 = 360\text{м}^2.$$

Площа ділянки механічного оброблення деталей інших вузлів:

$$S_3' = 24 \cdot 20 = 480\text{м}^2.$$

Загальна площа ділянки механічного оброблення:

$$S_1 = S_1' + S_2' + S_3' = 900 + 360 + 480 = 1740\text{м}^2.$$

2. Площа заточного відділення.

В основу площі відділення входить площа, на якій розташоване заточне обладнання, у допоміжну – площа для зберігання креслень інструменту, що заточується

Питома загальна площа цього відділення складає 10-12 м² на один верстат.

Загальна площа відділення:

$$S_2 = (10...12) \cdot 3 = (30...36)\text{м}^2. \quad (4.1)$$

Прийmemo $S_2 = 30\text{м}^2$.

Заточне відділення необхідно розміщувати суміжно з інструментальною коморою.

3. Контрольне відділення.

Контрольне відділення є частиною загальнозаводського відділу технічного контролю. Площу контрольного відділення визначають укрупнено за процентним відношення до верстатної площі:

$$\begin{aligned} S_3 &= (0,03...0,05) \cdot S_1; \\ S_3 &= (0,03...0,05) \cdot 1740 = (52...87) \text{ м}^2. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Приймаємо $S_3 = 80 \text{ м}^2$.

Контрольне відділення розміщується в цеху на шляху руху деталей на склад готової продукції.

4. Ремонтне відділення.

Загальна площа ремонтного відділення визначається з розрахунку 27-30 м² на один верстат відділення:

$$S_4 = 30 \cdot 3 = 90 \text{ м}^2.$$

Крім того, для комори запасних частин відводиться площа, яка рівна 10-15% від основної:

$$S'_4 = (0,10...0,15) \cdot S_4 = (0,10...0,15) \cdot 90 = (9...13,5) \text{ м}^2. \quad (4.3)$$

Прийmemo $S'_4 = 12 \text{ м}^2$.

Сумарна площа:

$$S_{\Sigma 4} = S_4 + S'_4 = 90 + 12 = 102 \text{ м}^2.$$

5. Майстерня енергетика цеху

Майстерня енергетика цеху входить у ремонтне відділення і складає 20% його площі:

$$S_5 = 0,2 \cdot S_4 = 0,2 \cdot 102 = 20,4 \text{ м}^2. \quad (4.4)$$

Приймаємо $S_5 = 20 \text{ м}^2$.

6. Майстерня для ремонту пристроїв та інструменту

Загальна площа для верстатів і слюсарної роботи визначається з розрахунку 17-22 м² на один верстат майстерні:

$$S_6 = (17...22)6 = (102 - 132) \text{ м}^2.$$

Приймаємо $S_6 = 132 \text{ м}^2$.

7. Відділення для приготування і роздачі МОР.

Приймаємо:

$$S_7 = 40 \text{ м}^2.$$

У цілях протипожежної безпеки, відділення розміщується біля зовнішньої стіни будівлі і має безпосередній вихід назовні.

8. Відділення для переробки стружки.

Приймаємо:

$$S_8 = 75 \text{ м}^2.$$

9. Цехова комора матеріалів та заготовок.

Розрахунок площі комори та заготовок:

$$S_9 = \frac{Q \cdot t}{D_p \cdot q \cdot k}; \quad (4.5)$$

де Q - маса заготовок, які обробляються в цеху за рік, т;

t - норма запасу зберігання заготовок, днів;

D_p - кількість робочих днів у році;

q - норма середньої вантажонапруженості площі, т/м²;

k - коефіцієнт використання площі комори.

$$S_9 = \frac{0,254 \cdot 1000 \cdot 5}{254 \cdot 0,5 \cdot 0,5} = 20 \text{ м}^2.$$

10. Проміжна комора деталей.

Проміжна комора служить для накопичення і зберігання повністю оброблених деталей, які очікують відправки на складання:

$$S_{10} = \frac{0,254 \cdot 1000 \cdot 3}{254 \cdot 0,5 \cdot 0,35} = 17,14 \approx 18 \text{ м}^2.$$

11. Інструментально-роздавальна комора.

Приймаємо:

$$S_{11} = 0,3 \cdot C_{np} = 0,3 \cdot 60 = 18 \text{ м}^2.$$

12. Комора пристроїв.

Приймаємо:

$$S_{12} = 0,5 \cdot C_n = 0,5 \cdot 60 = 30 \text{ м}^2.$$

13. Комора абразивів.

Приймаємо:

$$S_{13} = 0,6 \cdot C_n = 0,6 \cdot 60 = 36 \text{ м}^2.$$

14. Комора мастил.

Приймаємо:

$$S_{14} = 15 \text{ м}^2.$$

15. Комори допоміжних матеріалів.

Приймаємо:

$$S_{15} = 24 \text{ м}^2.$$

16. Загальна площа цеху (без врахування площі адміністративно-побутових приміщень):

$$S_{\text{заг}} = S_1 + S_2 + S_3 + S_{\Sigma 4} + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11} + S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15}; \quad (4.6)$$

$$S_{\text{заг}} = 1740 + 30 + 80 + 102 + 20 + 132 + 40 + 75 + 20 + 18 + 18 + 30 + 36 + 15 + 24 = 2380$$

17. Адміністративно-побутові приміщення.

Площу цих приміщень укрупнено визначаємо за формулою:

$$S_{17} = f \cdot n; \quad (4.7)$$

де f - питома площа на одного працюючого, м²/чол.;

n - кількість працюючих, чол.;

$$S_{17} = 3,2 \cdot 192 = 614,4 \text{ м}^2.$$

Прийmemo $S_{17} = 615 \text{ м}^2$.

4.2 Вибір типу приміщення, компоновка ділянки, цеху

Під цех вибираємо приміщення, яке збирається із стандартних секцій, розміром 18x72 м і площею 1296 м² [6].

Необхідну кількість секцій визначимо за формулою:

$$n = S_{\text{заг}} / S_{\text{сек}} = 2380 / 1296 = 1,84 \text{ секції} \quad (4.8)$$

Враховуючи площу доріг і проїздів приймаємо $n = 3 \text{ секції}$.

Стіну полук приймаємо рівною 12x18 м.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Характеристика дільниці механічної обробки деталі з точки зору техніки безпеки

Планування дільниці і цеху повинна бути така, щоб забезпечувала найбільш сприятливі умови виробництва і разом з тим, щодо безпеки, санітарії, та пожежні вимоги. Спроектований цех має форму прямокутника 54х72м, одноповерхова будівля [3].

Технологічне обладнання на дільниці розташоване у відповідності за ходом технологічного процесу. Деталь затискується за допомогою спеціальних пневмопристроїв. Всі робочі місця забезпечено необхідним оснащенням і стелажми. Для безпечного переміщення вантажів і руху людей в цеху наявні окремі входи і виходи, в'їзди і виїзди для людей і транспорту. Всі двері і ворота відкриваються назовні.

На випадок в цеху пожежі, обладнано додатковий евакуаційний вихід.

В зовнішніх виходах (виїздах) встановлено повітряну теплову завісу з двома дверима, котрі стоять одні від других на відстані, не меншої ніж на ширину дверного полотна + 0,2. Для забезпечення безперешкодного заїзду автомашин з вантажем ворота цеху мають розміри 3х3,5м.

Основним принципом розташування обладнання на дільниці є забезпечення найкоротшого шляху руху заготовки з врахуванням правильного розташування проходів і проїздів. Прийняті величини приведемо на рис. 6.1. згідно з: "Нормами проектування механічних цехів машинобудівних заводів".

Отже, відстань між верстатами по фронту рівна $A=1200\text{мм}$. Ширину проїздів B приймаємо $B=3400\text{мм}$; проходів $V=1400\text{мм}$. Ширину стелажного обладнання приймаємо рівною $0,47\text{м}$. Відстань між тильними сторонами верстату $\Gamma=900\text{мм}$. Відстань від бокової сторони верстату до колон складає $D=1300\text{мм}$.

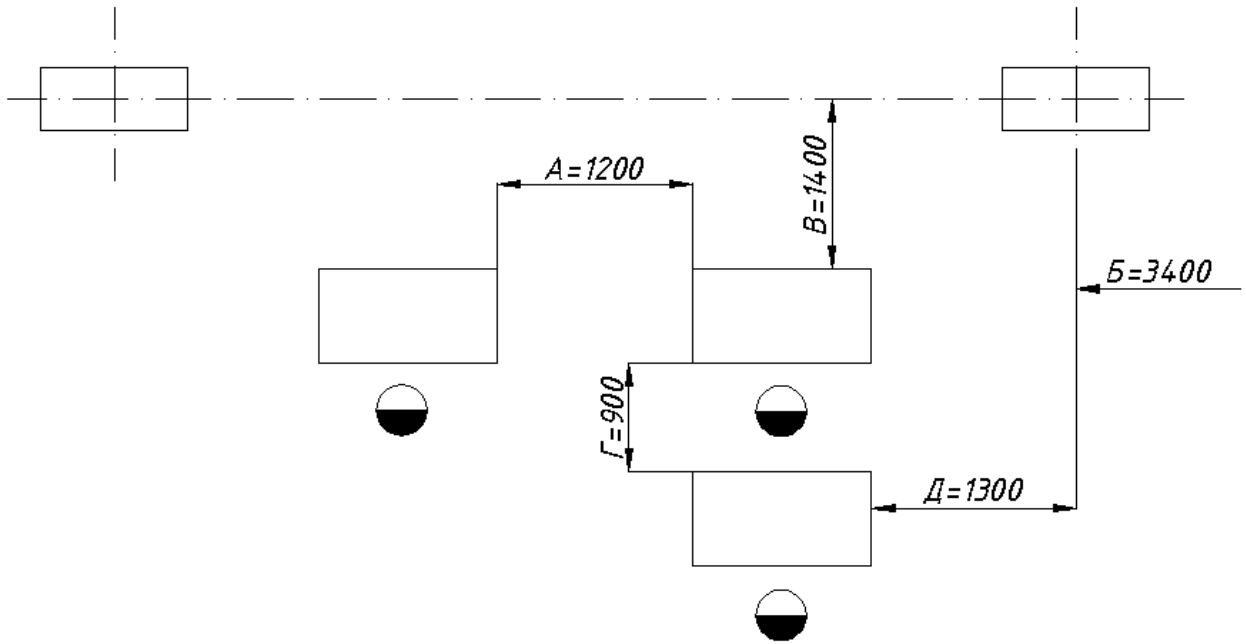


Рисунок 5.1- Схема розташування верстатів.

5.2 Розрахунок загальної обмінної вентиляції на дільниці

Оскільки, дане приміщення (механічний цех), в якому розміщені дільниці механічної обробки, має шкідливі виділення надлишкової явної теплоти, кількість повітря визначають із умови асиміляції надлишків цієї теплоти [3]. Розрахункова схема наведена на рисунку 5.2.

Кількість проточного повітря (м³/год)

$$L_{пр} = Q_{над} / C \cdot \rho_{пр} (t_{вих} - t_{пр}); \quad (5.1)$$

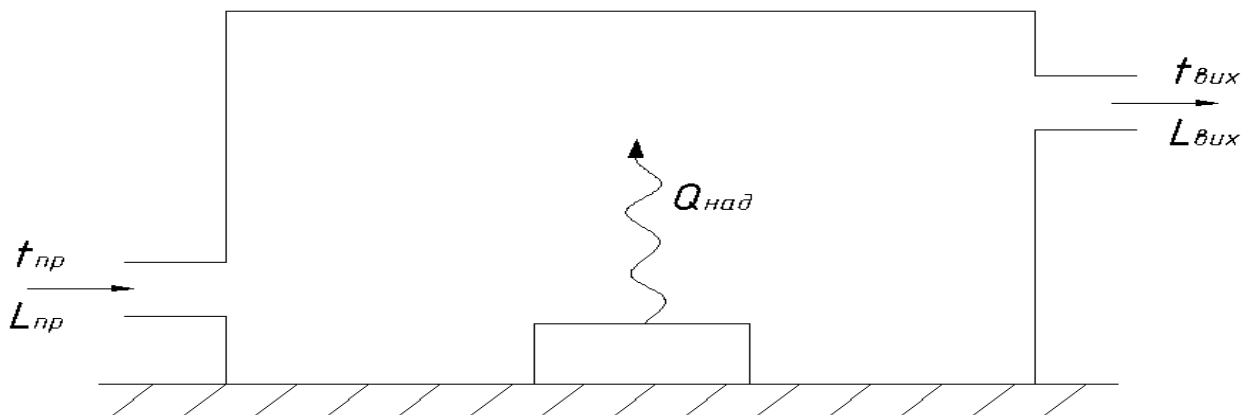


Рисунок 5.2- Розрахункова схема для визначення загальної обмінної вентиляції

де $Q_{над}$ - надлишкове виділення явної теплоти;

C - питома теплоємність повітря, при постійному тиску,
 $C = 1\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

$t_{вих}$ - температура повітря, що виходить, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{пр}$ - температура прихідного повітря.

В механічному цеху надлишкове виділення явної теплоти складає
 $Q_{над} = 23,2\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{C})$.

Температуру повітря, що виходить з приміщення розрахуємо за формулою:

$$t_{вих} = t_{р.з.} + \Delta t(H - 2); \quad (5.2)$$

де $t_{р.з.}$ - температура в робочій зоні;

Δt - температурний коефіцієнт по висоті приміщення, $\Delta t = 0,5 \dots 1,5\text{C}/\text{м}$;

H - відстань від підлоги до центра витяжних проїомів, $H = 6\text{м}$;

2 – висота робочої зони.

$$t_{вих1} = 19 + 0,5(6 - 2) = 21^{\circ}\text{C};$$

$$t_{вих2} = 22 + 0,5(6 - 2) = 24^{\circ}\text{C};$$

де $t_{вих1}$, $t_{вих2}$ - температура вихідного повітря відповідно в холодний і теплий період року при оптимальній температурі в робочих зонах у відповідних періодах року.

Отже, температура прихідного повітря повинна бути на $5 \div 8^{\circ}$ нижча за температуру вихідного повітря. Приймаємо $t_{пр1} = 21^{\circ} - 7^{\circ} = 14^{\circ}\text{C}$;

$$t_{пр2} = 24^{\circ} - 7^{\circ} = 17^{\circ}\text{C}.$$

Кількість прихідного повітря:

$$L_{пр1} = \frac{23,2}{1 \cdot 0,1(21 - 14)} = 20\text{м}^3 / \text{год};$$

$$L_{пр2} = \frac{23,2}{1 \cdot 0,1(24 - 14)} = 23,2\text{м}^3 / \text{год};$$

Отже, кількість припливного повітря на одного робітника дільниці буде становити в холодний і теплий періоди відповідно $L_{np1} = 20\text{м}^3 / \text{год}$, $L_{np2} = 23,2\text{м}^3 / \text{год}$, а оскільки на дільниці механічної обробки деталі працюють 33 робітники, то необхідна кількість повітря становитиме:

$$L_{np1} = 20 \cdot 33 = 660\text{м}^3 / \text{год};$$

$$L_{np2} = 23,2 \cdot 33 = 765,6\text{м}^3 / \text{год}.$$

5.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях на виробництві

Визначення області працездатності радіовимірювальних перетворювачів магнітного поля в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Вплив різних загрозливих чинників надзвичайних ситуацій може загрожувати роботі розроблених перетворювачів і цим вплинути на роботу систем в складі яких вони застосовуються. В РЕА, зокрема в радіовимірювальних перетворювачах магнітного поля застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали, провідники і різноманітні органічні сполуки (діелектрики, смоли і т.д.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв. Іонізуючі випромінювання в радіоелектронній апаратурі, викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів, що призводять до виходу з пристрою. Проходячи через елементи РЕА, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, який призводить до спрацьовування пристрою. При великих дозах випромінювання втрачають працездатність комплектуючі елементи систем радіоелектроніки і електроавтоматики. В транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробоя та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична

ізоляція дротів з полімерних матеріалів. В органічних діелектричних матеріалах змінюються електрична провідність, діелектрична проникність і тангенс кута втрат. Неорганічні матеріали менш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань. Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи управління і сигналізації. ЕМІ ушкоджують напівпровідникові прилади, резистори, конденсатори. ЕМІ має велику небезпеку для апаратури, добре захищеної від впливу інших загрозливих чинників. Слід також пам'ятати, що механічний захист апаратури не захищає від впливу ЕМІ. Апаратура може бути знищена навіть знаходячись у надійних спорудах.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі проведено теоретичні обґрунтування запропонованих методів та форм обробки, а також розроблено конструкції спеціальних пристроїв, які дають можливість використати технічні та технологічні можливості запропонованого технологічного процесу. Таким чином, проаналізувавши заводський варіант технологічного процесі механічного оброблення корпусу проведено модернізацію існуючого технологічного процесу. Ця модернізація заключається в наступному:

1. Зміна структури технологічного процесу;
2. Заміна швидкорізального інструменту на більш прогресивний твердосплавний;
3. Вибір оптимального, з точки зору мінімальної собівартості і максимальної продуктивності технологічного обладнання;
4. Вибір заготовки з мінімальною собівартістю отримання;
5. Вибір технологічного оснащення для збільшення продуктивності і зменшення собівартості оброблення.

В науковій частині роботи описано фактори, які впливають на якість оброблювальної поверхні при врахуванні явища технологічної спадковості. Обґрунтовано фактори, які впливають процес формування параметрів якості виробу. Досліджено залежність сумарної похибки токарної обробки від подачі та від швидкості різання з врахуванням та без врахування технологічної спадковості, а також досліджено залежність сумарної похибки токарної обробки від головного кута різця в плані та від допоміжного кута різця у плані при аналогічних умовах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
2. Григурко І. О., Брендюля М. Ф., Доценко С. М. Технологія машинобудування. Дипломне проектування : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 768 с.
3. Джигерей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. Вид. 2-ге, стер. Київ : Знання, 2002. 203 с.
4. Жарков Н. В., Прокди Р. Г., Финков М. В. AutoCAD 2014 : посібник. Санкт-Петербург : Наука и техника, 2014. 624 с.
5. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В., Дячун А. Є. Механоскладальні дільниці та цехи : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 40 с.
6. Капаціла Ю. Б., Комар Р. В. Проектування машинобудівних виробництв : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2017. 40 с.
7. Кусий, Я. М. Розроблення методу вібраційно-відцентрового зміцнення для технологічного забезпечення безвідмовності деталей машин / Я. М. Кусий, А. М. Кук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 1/7 (73). – С. 41–51.
8. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 152 с.
9. Паньків М., Швець А.І. Технологічна спадковість при виготовленні деталей машин. Зб. Тез Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.: ТНТУ, 2020. С.104.
10. Петраков Ю В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. УкрНДІАТ, К.: 2004.– 384 с.
11. Маталин А.А. Технология машиностроения.– Л. – М., 1985. – 496 с.
12. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 207. 275 с.
13. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки :

- навч. посіб. / Ж. П. Дусанюк та ін. Вінниця, 2009. 199 с.
14. Лебедев, А. А. Метод диагностики состояния материала по параметрам рассеяния характеристик твердости / А. А. Лебедев, Н. Р. Музыка, Н. Л. Волчек // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2003. – № 12. – С. 49–51.
 15. Локтев А. Д. Общемашиностроительные нормативы режимов резания : справочник. В 2 т. Москва : Машиностроение, 1991.
 16. Солнцев Ю. П. Материаловедение : учебник для вузов. Санкт-Петербург : Химиздат, 2007. 784 с.
 17. Суслов, А. Г. Инженерия поверхности деталей / под ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
 18. Кузін, О. А. Вплив технологічної спадковості на параметри надійності виробів / О. А. Кузін, Я. М. Кусий, В. Г. Топільницький // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 1/1.
 19. Ящерицын, П. И. Технологическая наследственность в машиностроении / П. И. Ящерицын, Э. В. Рыжов, В. И. Аверченко. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
 20. Wang, L. Data Representation of Machine Models / L. Wang // Dynamic Thermal Analysis of Machines in Running State. – London: Springer Verlag, 2013. – P. 11–29
 21. McDowell, D. L. Simulation-assisted materials design for the concurrent design of materials and products / D. L. McDowell // Journal of the Minerals, Metals and Materials Society. – 2007. – Vol. 59, № 9. – P. 21–25.
 22. Zohdi, T. I. An Introduction to Computational Micromechanics / ed. by T. I. Zohdi, P. Wriggers // Lecture Notes in Applied and Computational Mechanics. – Springer, 2005. – 198 p.
 23. Сухой, Д.С. Расчетное определение погрешности обработки с учетом положений технологической наследственности при точении и фрезеровании: дисс. ... кан. техн. наук / Д. С. Сухой. - Рыбинск., 2009. - 199с.

24. Baranovskiy V.M., Chicory root crops combined harvester/ Baranovskiy V.M., Pankiv M.R.,Skalsky O.Yu., Pastushenko A.S. INMATEH – Agricultural Engineering. – INMA Bucharest : National Institute of research-development for machines and installations designed to agriculture and food industry, 2017. – Vol. 53. – No. 3/2017. – P. 41–50 (SciVerse SCOPUS).