

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Дослідження методів боротьби з вібраціями при розточуванні отворів в тонкостінних корпусних деталях»

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-112м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технологія машинобудування

ВІНІЧЕНКО О.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИШИН П.Р.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ШИРОКОБОКОВ В.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет Машинобудівний
 Кафедра «Технологія машинобудування»
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ВІНІЧЕНКО Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження методів боротьби з вібраціями при розточуванні отворів в тонкостінних корпусних деталях

керівник проєкту (роботи) к.т.н., ст. викладач ТРИШИН Павло Романович,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» листопада 2023 року №436

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=2000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2. Конструкторська частина; 3. Автоматизація; 4. Розрахунок деталі на міцність; 5. Спеціальне завдання; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів -

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	к.т.н ., ст. викл. ТРИШИН П.Р.		
6	к.т.н ., доц. ПУХАЛЬСЬКА Г.В.		
7	к.т.н ., доц. ШМИРКО В.І.		
нормоконтроль	к. т. н., доц. ДЯДЯ С І		

7. Дата видачі завдання 01.09.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2023	
2	Конструкторська частина	08.10.2023	
3	Автоматизація	15.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	22.10.2023	
5	Спецзавдання	05.11.2023	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2023	
7	Охорона праці	26.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	05.12.2023	
11	Захист дипломного проекту	12.12.2023	

Студент

Олександр ВІНІЧЕНКО
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

Павло ТРИШИН
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 101 с., 44 рис., 23 табл., 3 додатки, 20 джерел.

КОРПУС, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – тонкостінна деталь «Корпус».

Мета роботи – дослідити методи боротьби з вібраціями при розточуванні отворів в тонкостінних корпусних деталях.

Методи дослідження – метод системного аналізу; методи інженерної механіки; розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки.

В магістерській роботі досліджено методи боротьби з вібраціями при розточуванні отворів в тонкостінних корпусних деталях, спроектовано технологічний процес виготовлення тонкостінної деталі «Корпус», обрано сучасне обладнання з ЧПК, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації токарних операцій за допомогою промислових роботів FANUC, спроектовано робоче пристосування для свердління отворів та контрольне пристосування для контролю биття, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, розроблено керуючу програму для операцій з ЧПК, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	
Вступ.....	8
1. Дослідження методів боротьби з вібраціями при розточуванні отворів в тонкостінних корпусних деталях.....	9
1.1 Методи усунення вібрацій при розточуванні отворів.....	9
1.2 Боротьба з вібраціями за допомогою інструментів з пасивним гасінням.....	14
2. Технологічна частина.....	18
2.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	18
2.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	19
2.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	19
2.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	23
2.4.1 Вибір технологічних баз.....	23
2.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	23
2.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	30
2.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	30
2.6 Розрахунок режимів різання.....	36
2.6.1 Операція 025 – токарна з ЧПК.....	36
2.6.2 Операція 075 – шліфувальна.....	40
2.6.3 Операція 050 – свердлильна з ЧПК.....	42
2.6.4 Операція 040 – фрезерна з ЧПК.....	45
2.7 Технічне нормування операцій.....	48
2.7.1 Технічне нормування операції 025.....	48
2.7.2 Технічне нормування операції 075.....	49
2.7.3 Технічне нормування операції 050.....	50

2.7.4 Технічне нормування операції 040.....	51
2.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	53
2.8.1 Операція 025 – токарна з ЧПК.....	53
2.8.2 Операція 050 – фрезерна з ЧПК.....	56
2.8.3 Операція 055 – свердлильна з ЧПК.....	58
3. Конструкторська частина.....	62
3.1 Проектування робочого пристосування.....	62
3.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	62
3.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	63
3.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	66
3.2 Проектування контрольного пристосування.....	68
3.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	68
3.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	69
4. Автоматизація.....	71
4.1 Роботизований комплекс.....	71
5. Розрахунок деталі на міцність	75
5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....	75
5.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції.....	76
5.3 Оптимізація геометрії деталі.....	77
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	78
7 Охорона праці.....	88
7.1 Вибір системи освітлення ділянки по виготовленню корпусів.....	88
Висновки	93
Перелік джерел посилання.....	94
Додаток А. Визначення маси деталі та заготовок за допомогою масово-центру-вальних характеристик програмного забезпечення NX.....	97
Додаток Б. Специфікація фрезерного пристосування	99
Додаток В. Специфікація пристосування для контролю биття.....	101

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ДРЛ – дугові ртутні люмофорні

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технічне середовище

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно-гарячештампувальний прес

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

РТК – розрахунково-технологічна карта

РСП – Р – ртутна лампа типа ДРЛ; С – підвісна; П – для виробничих приміщень.

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Актуальність проблеми зниження вібрацій при обробці тонкостінних корпусних деталей стає важливою у зв'язку з постійним розвитком промисловості та підвищенням вимог до якості та точності виготовлення виробів. Однією з ключових операцій обробки металу є розточування отворів, яке часто супроводжується виникненням небажаних вібрацій. Вібрації можуть призводити до погіршення якості обробки, збільшення зносу інструменту та зменшення терміну служби обладнання.

У даній дипломній роботі проведено обґрунтування та дослідження різних методів боротьби з вібраціями, які виникають під час розточування отворів в тонкостінних корпусних деталях. Серед розглянутих підходів особливу увагу приділено використанню оправок із вбудованою антивібраційною системою.

Вибір цього методу обумовлено його потенціалом у значній мірі зменшити вплив вібрацій на процес розточування та покращити якість обробки. Антивібраційна система оправок може ефективно амортизувати вібрації, які виникають під час контакту інструменту з оброблюваним матеріалом. Це дозволяє досягти більш високої точності та рівномірності обробки, а також підвищує тривалість служби інструменту.

У роботі розглянуті результати досліджень, проведених з використанням оправок з антивібраційною системою, що сприятиме розумінню ефективності запропонованого методу та можливості його подальшого вдосконалення.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ БОРОТЬБИ З ВІБРАЦІЯМИ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ ОТВОРІВ В ТОНКОСТІННИХ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЯХ

1.1 Методи усунення вібрацій при розточуванні отворів

Багато сучасних тенденцій виробництва створюють додаткові складності для прецизійного розточування та токарних операцій, що виконуються за допомогою інструментів збільшеної довжини. Затребуваність суворіших допусків та стабільної повторюваності постійно зростає. Нові матеріали заготовок із підвищеними експлуатаційними характеристиками складніше обробляти, через що підвищується навантаження на систему обробки [1]. Для економії часу та коштів виробники виготовляють кілька деталей із однієї монолітної заготівлі. У таких випадках необхідно виконувати обробку глибоких отворів та токарну обробку складних компонентів за допомогою багатофункціональних верстатів.

Виробники, які прагнуть подолати ці труднощі, повинні вивчити всі елементи систем обробки та застосовувати методи та інструменти, які забезпечують ефективну роботу. До основних аспектів відносяться стабільність верстата, фіксація інструменту, кріплення заготовки та геометрія ріжучого інструменту. Основу точних та ефективних процесів розточування та токарної обробки з довгим вильотом утворюють міцне кріплення, надійні інструменти та правильне використання інструменту [1].

Насамперед в оновленні інструменту та технологій будуть зацікавлені виробники компонентів для нафтогазової, енергетичної та аерокосмічної галузей, оскільки в цих галузях промисловості необхідно регулярно працювати з великими складними деталями, для обробки яких потрібні інструменти збільшеної довжини. Багато деталей виготовлені із міцних сплавів, при обробці яких виникають високі зусилля різання, що спричиняють вібрацію. Практично

кожен виробник може досягти високої продуктивності та скоротити витрати для операцій розточування з довгим вильотом.

На відміну від інших операцій різання, при глибокому розточуванні ріжуча кромка працює в отворі на збільшеній відстані від з'єднання зі верстатом. Для внутрішньої токарної обробки з довгим вильотом властиві подібні умови. Операції розточування і токарної обробки можуть включати переривчасту обробку отворів (наприклад, для заготовок корпусів насосів або компресорів). Розмір вильоту інструмента визначається глибиною отвору і може викликати вигин розточувальної оправки або токарного інструменту збільшеної довжини.

Вигин збільшує зусилля, що змінюються в процесі різання і може викликати вібрацію і биття, які призводять до погіршення якості обробки поверхні, швидкого зносу або поломки ріжучих інструментів, пошкодження компонентів верстата (наприклад, шпинделів), необхідності дорогого ремонту і тривалого простою [1]. Змінні зусилля виникають через порушення балансу між компонентами верстата, недостатню жорсткість системи або вібрації елементів системи обробки. Тиск різання також змінюється при змінному навантаженні інструменту під час утворення та відламування стружки. До негативних наслідків вібрації при обробці відносяться низька якість поверхні, неточні розміри отвору, швидке зношування інструменту, зниження швидкості обробки матеріалу, збільшення виробничих витрат і пошкодження тримачів інструменту та верстатів.

Відповідно до основного принципу гасіння вібрації елементи системи обробки повинні мати максимальну жорсткість. Щоб уникнути небажаних переміщень верстата, необхідно виготовляти з жорстких важких конструкційних елементів, посилених бетоном або іншим вібропоглинаючим матеріалом. Підшипники та втулки верстата повинні бути надійно закріплені [1].

Деталі повинні бути правильно розташовані та надійно закріплені всередині верстата. Слід використовувати елементи кріплення, головними особливостями яких є простота і жорсткість. Затискачі необхідно розміщувати якомога ближче до ділянок різання. Тонкостінні або зварні заготовки, а також

заготовки з секціями, що не підтримуються, піддаються вібрації при обробці. Для підвищення жорсткості деталі можна модифікувати, проте зміни конструкції можуть призвести до збільшення маси та погіршення характеристик обробленої продукції.

Для максимальної жорсткості розточувальна або токарна оправка повинна мати мінімальну довжину, яка забезпечить обробку отвору або компонента по всій довжині. Розточні оправки повинні мати максимальний діаметр, який відповідатиме отвору та забезпечуватиме ефективне видалення стружки.

При утворенні та відламуванні стружки зусилля різання збільшується та зменшується відповідно. Такі зміни зусилля є додатковим джерелом вібрації, яка може взаємодіяти з природною вібрацією тримача інструменту або верстата, стати самопідтримуваною і навіть збільшуватися. До інших джерел такої вібрації відносяться зношені інструменти або інструменти, які не забезпечують достатньої глибини проходу. Це призводить до нестабільності операцій або резонансу, що також синхронізується з природною частотою коливань шпинделя верстата або інструменту, що згодом призводить до небажаної вібрації [1].

Довгий виліт розточувальної або токарної оправки може викликати вібрацію в системі обробки. Основний метод гасіння вібрації полягає у використанні коротких твердих інструментів. Чим більше відношення довжини оправки до діаметру, тим більша ймовірність виникнення вібрації.

Різні матеріали оправлення викликають вібрації різних рівнів. Сталеві оправки зазвичай забезпечують вібростійкість при відношенні довжини діаметру оправки до 4:1 (L/D). Важкі металеві оправки з вольфрамових сплавів характеризуються більшою щільністю порівняно зі сталлю та ефективно виконують свої функції при відношеннях L/D до 6:1 [1]. Цілісні твердосплавні оправки мають більш високу жорсткість і дозволяють працювати при відношеннях L/D до 8:1, але недоліком таких оправ є більш висока вартість (особливо в тих випадках, коли потрібна оправка великого діаметру).

Гасіння вібрації також забезпечують регульовані оправки. Вони оснащені внутрішнім інерційним віброгасником, який призначений для коливання з

резонансною частотою у протифазі з небажаною вібрацією, поглинання енергії вібрації та мінімізації вібрації. Наприклад, система Steadyline від Seco Tools (див. доповнення) оснащена попередньо налаштованим віброгасником, основою конструкції якого є демпфуючий елемент із матеріалу високої щільності, підвішений усередині оправки тримача інструменту за допомогою радіальних поглинаючих елементів. Демпфуючий елемент негайно поглинає вібрацію, яка поширюється від ріжучого інструменту корпусу оправки [1].

До більш складних і дорогих систем активного гасіння вібрації інструменту належать пристрої з електронною активацією. Такі пристрої виявляють вібрацію та за допомогою електронних приводів створюють додаткове переміщення в оправці для усунення небажаного переміщення.

Характеристики різання заготовки можуть сприяти виникненню вібрації. Твердість матеріалу, схильність до утворення наростів на кромці або деформаційному зміцненню, наявність твердих включень змінює або перериває зусилля різання, що може призвести до вібрації. При обробці певних матеріалів регулювання параметрів різання дозволяє мінімізувати вібрацію.

Ріжучий інструмент схильний до тангенційного і радіального вигину. Радіальний згин негативно впливає на точність діаметра отвору [1]. При тангенціальному згинанні пластина переміщається вниз від осі симетрії деталі. Зокрема, при розточуванні отворів малого діаметра внутрішній діаметр змінюється отвори зменшує задній кут між пластиною і отвором.

При тангенціальному згинанні інструмент переміщається вниз від осьової лінії оброблюваного компонента, через що зменшується задній кут. Радіальний вигин зменшує глибину різання, що негативно позначається на точності обробки та призводить до зміни товщини стружки. Також через зміну глибини різання змінюються зусилля різання, що може призвести до вібрації.

Характеристики різання заготовки можуть сприяти виникненню вібрації. Твердість матеріалу, схильність до утворення наростів на кромці або деформаційному зміцненню, наявність твердих включень змінює або перериває

зусилля різання, що може призвести до вібрації. При обробці певних матеріалів регулювання параметрів різання дозволяє мінімізувати вібрацію.

Ріжучий інструмент схильний до тангенційного і радіального вигину. Радіальний згин негативно впливає на точність діаметра отвору. При тангенціальному згинанні пластина переміщається вниз від осі симетрії деталі. Зокрема, при розточуванні отворів малого діаметра внутрішній діаметр змінюється отвори зменшує задній кут між пластиною і отвором.

При тангенціальному згинанні інструмент переміщається вниз від осьової лінії оброблюваного компонента, через що зменшується задній кут. Радіальний вигин зменшує глибину різання, що негативно позначається на точності обробки та призводить до зміни товщини стружки. Також через зміну глибини різання змінюються зусилля різання, що може призвести до вібрації [2].

Елементи геометрії пластини, включаючи передній кут, західний кут та радіус вершини, можуть збільшувати або зменшувати вібрацію. Наприклад, пластини з позитивним переднім кутом створюють меншу зусилля тангенціальне різання. Однак моделі з позитивним переднім кутом зменшують зазор, що може призвести до стирання та вібрації. Великий передній кут і малий кут краю забезпечують гостроту ріжучої кромки, що знижує зусилля різання. Тим не менш, гостра кромка може бути пошкоджена в результаті удару або нерівномірного зносу, через що знизиться якість обробки поверхні отвору.

Невеликий західний кут ріжучої кромки забезпечує високі осьові сили різання, тоді як великий західний кут створює силу радіальному напрямку. Осьові сили мають обмежений вплив на операції розточування, тому перевагу віддають невеликому західному куту. У свою чергу, невеликий західний кут також призводить до концентрації зусиль різання на меншій частині ріжучої кромки в порівнянні з великим західним кутом, що може негативно вплинути на термін служби інструменту. Крім того, західний кут інструменту впливає на товщину стружки та напрям сходу стружки. Для мінімізації радіальних зусиль різання необхідно, щоб радіус вершини пластини був меншим за глибину різання [2].

Видалення стружки з отвору є основною складністю при розточуванні. Геометрія пластини, швидкість різання та характеристики різання матеріалу заготівлі впливають на стружкоутворення. Для розточування кращою є коротка стружка, оскільки її легко видаляти з отвору. Крім того, така стружка зводить до мінімуму зусилля на різучій кромці. Однак геометрія пластин складної форми, призначена для руйнування стружки, зазвичай призводить до підвищеної витрати енергії і може спричинити вібрацію.

Для операцій з високоякісної обробки поверхонь може знадобитися невелика глибина різання. У цьому випадку утворюється тонша стружка, через що ускладнюється стружкоутворення. Вища швидкість подачі може забезпечити руйнування стружки, але також може збільшити зусилля різання та викликати биття, що негативно вплине на якість поверхні. Велика швидкість подачі може призвести до утворення наростів на кромці при обробці низьковуглецевих сталей. Таким чином, більш висока швидкість подачі та оптимальна подача змащувально-охолоджувального технічного середовища (ЗОТС) можуть стати рішенням для стружкоутворення при розточуванні більш куванням легованої сталі [2].

Розточування та токарна обробка глибоких отворів за допомогою інструментів збільшеної довжини є основними та найбільш поширеними процесами металообробки. Для ефективності цих операцій потрібно проводити комплексну оцінку системи обробки. Такий підхід дозволяє переконатися, що різні фактори, спрямовані на максимальне зменшення вібрації та підтримання якості продукції, у комплексі забезпечують максимальну продуктивність та рентабельність.

1.2 Боротьба з вібраціями за допомогою інструментів з пасивним гасінням

Інструменти Steadyline від Seco Tools дозволяють виконувати типові опе-

рації з довгим вильотом у два рази швидше, ніж інструменти без гасіння вібрації (рис. 1.1). Такі інструменти також підвищують якість обробки поверхні деталі, збільшують термін служби інструменту та знижують навантаження на верстат. Завдяки технології пасивного/динамічного гасіння вібрацій можна виконувати операції, які раніше були неможливі навіть за мінімальних параметрів обробки (наприклад, використання інструментів із відношенням L/D більше 6:1). Токарні та розточувальні операції для малих та великих отворів глибиною до $10D$ можна виконувати надійно та ефективно [1, 2].



Рисунок 1.1 – Звичайна оправка (а) та з антивібраційною системою (б) [1]

У системі Steadyline вібропоглинач розташований там, де найбільше відчуттів, у передній частині штанги. Поглинач гасить коливання, як тільки вони передаються від ріжучого інструменту до корпусу шини (рис. 1.2) [2]. Це запобігає їх розповсюдженню вздовж бруска, таким чином обмежуючи видалення інструменту. Результатом є більша жорсткість, яка забезпечує високу стабільність навіть у екстремальних умовах різання, що значно збільшує швидкість видалення стружки.

Робота системи динамічного/пасивного гасіння вібрації Steadyline ґрунтується на взаємодії вібраційних сил. Під час роботи зусилля різання викликає у тримачі переміщення (вібрацію). Для компенсації вібрації система Steadyline використовує властивості другого внутрішнього елемента, який має ту

саму природну частоту, що і зовнішня частина оправлення. Елемент призначений для коливання з резонансною частотою у протифазі з небажаною вібрацією, поглинання енергії вібрації та мінімізації небажаного переміщення [3].

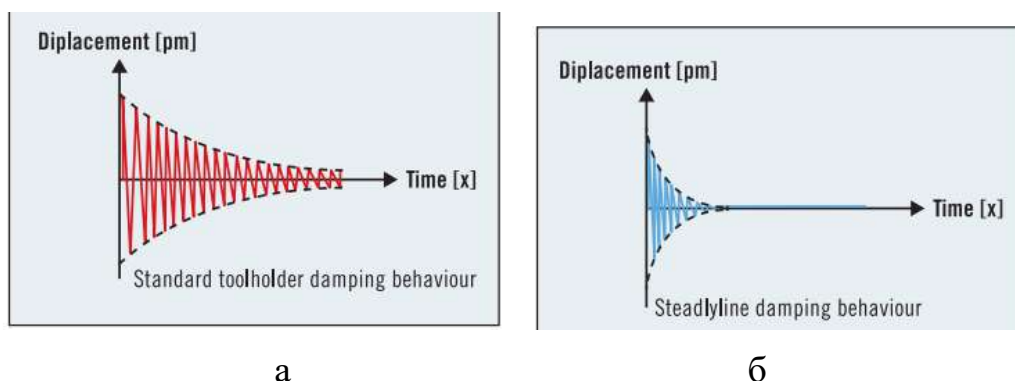


Рисунок 1.2 – Демпфійна поведінка звичайної оправки (а) та оправки з антивібраційною системою (б) [1]

В системі Steadyline вібропоглинаючий елемент розташований у передній частині оправки – на ділянці з найбільшою ймовірністю вигину. Елемент може миттєво погасити вібрацію, яка поширюється від ріжучого краю до корпусу оправлення. Система Steadyline також включає короткі компактні ріжучі головки Seco GL, які дозволяють розташувати ріжучу кромку близько до демпфуючого елемента для максимального поглинання вібрації. Система підходить для різних операцій і особливо корисна при чорновому та чистовому розточуванні, обробці контурів, пазів і кишень [4]. Головки розточувального та токарного інструменту можна швидко замінювати за допомогою з'єднання GL, яке забезпечує точність центрування та повторюваність 5 мікрон, а також можливість орієнтації головки 180°.

Якщо стандартний інструмент виходить з ладу, Steadyline забезпечує точність та надійність при операціях з довгим вильотом, знижує навантаження на шпиндель, підвищує швидкість знімання металу (рис. 1.3), забезпечує якісну обробку поверхні (рис. 1.4) та збільшує термін служби інструменту.

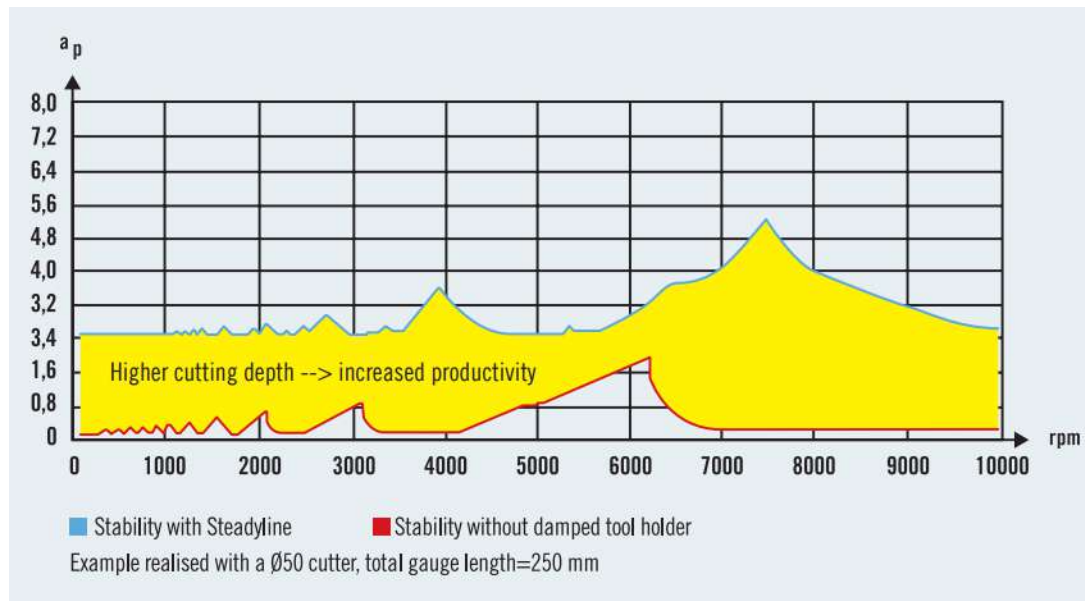


Рисунок 1.3 – Порівняння між класичною модульною системою та тримачем Steadyline [1]

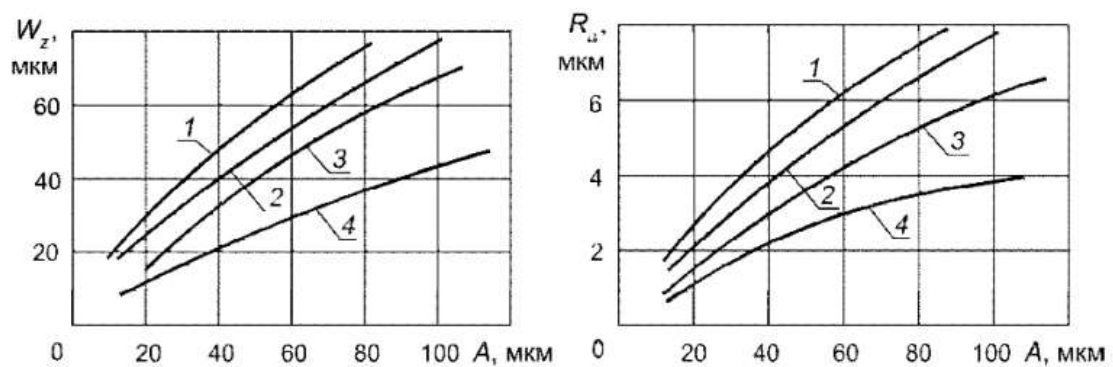


Рисунок 1.4 – Залежність хвилястості W та шорсткості R_a від амплітуди коливань [2]

Ці дані (рис. 1.3) представляють вимірювання максимальної глибини, на якій тримач є стабільним, на різних швидкостях [5]. За заданої швидкості оптимальна глибина різання тримача Steadyline може бути в 2-4 рази вищою, ніж у модульній системі, а обробка поверхні значно покращується. Більш високі оберти також можуть бути досягнуті в стабільних умовах.

Запропонований метод боротьби з вібраціями, з використанням оправок з антивібраційною системою, необхідно практично відпрацювати при виготовленні тонкостінних корпусних деталях. Для цього далі в роботі буде розроблено технологічний процес виготовлення тонкостінної деталі «Корпус».

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Корпус» (рис. 2.1) є основною частиною датчика переміщень консолі. В корпусі розміщені основні деталі датчика. Корпус призначений для позиціювання та утримання всіх деталей датчика. Через деталь «Корпус» датчик міцно приєднується до вихідної рухомої ланки консолі. Деталь «Корпус» виконана з корозійностійкої жароміцної сталі 14X17H2, фізичні та хімічні властивості якої наведено в таблицях 2.1, 2.2. Технічні вимоги до деталі: твердість – 28...32 HRC, покриття – Хім. Пас. пром., основні відхилення за Н12, h12, $\pm IT12/2$.

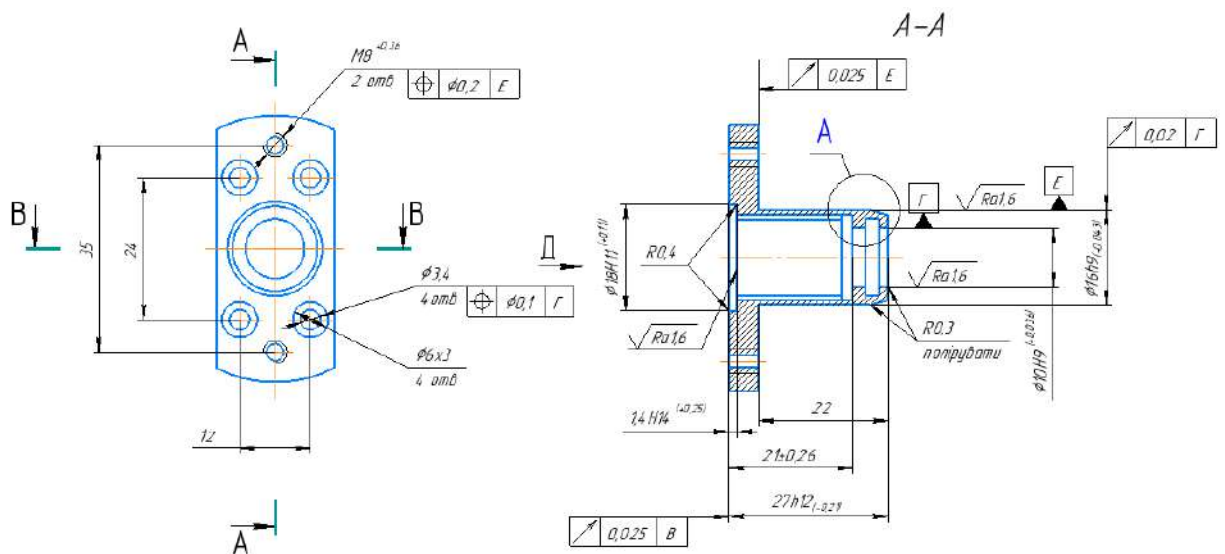


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі

Таблиця 2.1 – Фізичні властивості сталі 14X17H2 [6]

Властивість	Значення
Щільність	7850 кг/м ³
Межа міцності при розтягуванні	835 МПа
Межа плинності	635 МПа
Відносне подовження	16 %
Ударна в'язкість	750 кДж/м ²

Таблиця 2.2 – Відсоток хімічних елементів в сталі 14X17H2 [6]

C	Fe	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu
0,11...0,17	78	до 0,8	до 0,8	1,5...2,5	до 0,025	до 0,03	16...18	до 0,2	до 0,3

2.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Враховуючи масу деталі 0,03 кг та програми випуску, яка дорівнює 2000 шт. Попередньо тип виробництва визначаємо згідно нормативних документів [7, 8] як серійний. Також обираємо поточну форму організації робіт для виконання операцій технологічного процесу (ТП).

Кількість партії оброблюваних деталей визначаємо згідно формули:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (2.1)$$

де N – річна програма випуску, $N=2000$ шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $\alpha=3\dots5$;

A – кількість робочих днів на рік, $A=250$ днів.

$$n = \frac{5 \cdot 2000}{250} = 40 \text{ шт}$$

2.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Враховуючи масу деталі 0,03 кг та програми випуску, яка дорівнює 2000 шт, аналізуючи конструкцію деталі, її матеріал в якості методів отримання заготовки обираємо наступні методи:

- 1) штампуванням на кривошипному гарячештампованому пресі (КГШП);
- 2) прокат.

Для заготовки отриманої на КГШП встановлюємо наступні параметри [9]: клас точності – Т1; група сталі – М1; ступінь складності – С1; нахили для зовнішніх поверхонь – 5° ; зовнішні радіуси заокруглень – $2 \dots 3$ мм, внутрішні радіуси заокруглень – $4 \dots 6$ мм. Припуски приймаються згідно [10]: для розмірів до 50 мм – 1,9 мм. Для заготовки з прокату припуск обираємо 2,5 мм.

Ескізи заготовок отриманих методом штамповки на КГШП та з прокату наведені на рис. 2.2, 2.3.

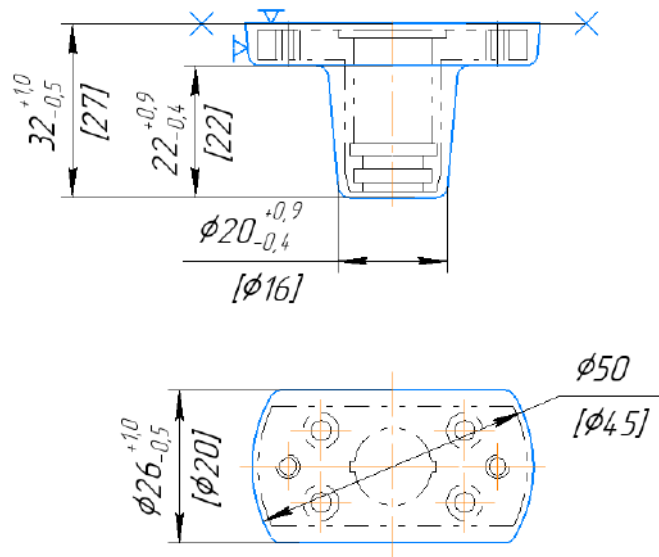


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки отриманої на КГШП

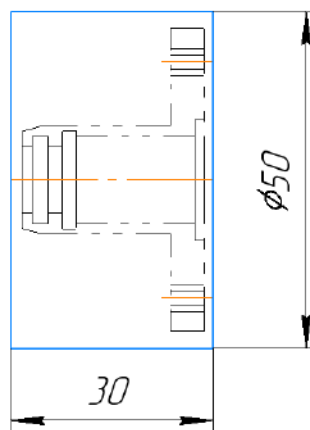


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки з прокату

Маси заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення (Додаток А).

Собівартість виготовлення однієї заготовки:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (2.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [10];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [10];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [10];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [10];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [10];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [10];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [10].

$$B_{\text{кгшп}} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (0,14 - 0,03) \cdot \frac{140}{1000} = 0,7 \text{ грн}$$

$$B_{\Pi} = \frac{2540}{1000} \cdot 0,46 - (0,46 - 0,03) \cdot \frac{140}{1000} = 1,1 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (2.3)$$

$$\eta_{\text{кгшп}} = \frac{0,03}{0,14} = 0,21$$

$$\eta_{\Pi} = \frac{0,03}{0,46} = 0,06$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Прокат
Вага заготовки	Q	кг	0,14	0,46
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3500	2540
Коефіцієнти	K_T		1,0	
	K_M		1,51	
	K_C		0,77	
	K_3		1,27	
	K_{Π}		1,0	
Вартість 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення заготовки	B_3	грн	0,7	1,1
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,21	0,06

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (B_{\text{КГШП}} - B_{\Pi}) \cdot N, \quad (2.4)$$

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (1,1 - 0,7) \cdot 2000 = 800 \text{ грн}$$

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{КГШП}} - \eta_{\Pi})}{\eta_{\text{КГШП}} \cdot \eta_{\Pi}} \cdot N \quad (2.5)$$

$$M_e = \frac{0,03 \cdot (0,21 - 0,06)}{0,21 \cdot 0,06} \cdot 2000 = 714,3 \text{ кг}$$

Враховуючи те, що собівартість отримання заготовки штампування на КГШП нижча ніж прокатом та коефіцієнт використання матеріалу вищий, то обираємо цей варіант для виготовлення заготовки.

2.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

2.4.1 Вибір технологічних баз

При чорновому точінні в якості чорнових баз обираємо необроблені поверхні: зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 45$, крайній торець та центровий отвір (рис. 2.1).

При чистовому точінні в якості баз обираємо вже оброблені попередньо поверхні: зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 16$ та $\varnothing 45$, торці фланцю, центральний отвір.

Для довбальної операції в якості баз використовуємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 16$ та торець фланцю.

Для фрезерування фланцю в якості баз призначаємо: зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 16$ та торець фланцю.

Для свердлильної операції в якості баз використовуємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 16$ та торець фланцю.

Для круглошліфування в якості баз використовуємо базування на центральний отвір.

При такому призначенні баз забезпечується точність обробки, тому що установочні та вимірювальні бази співпадають.

2.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Перетворення грубих за формою, розмірами та шорсткістю поверхонь заготовок на готові деталі економічно доцільно здійснювати за кілька переходів (стадій) обробки. Кількість переходів, їх послідовність та зміст визначають при проектуванні маршруту обробки поверхні (МОП). МОП – це певна послідовність технологічних переходів обробки поверхні заготівлі, необхідні досягнення

заданих показників якості цієї поверхні в деталі. МОП є технологічною основою ТП механічної обробки, оскільки саме у МОП, у технологічних переходах закладаються фізико-механічні, хіміко-термічні тощо. процеси на поверхню заготовлі. Перед розробкою МОП проведемо нумерацію поверхонь деталі (рис. 2.4).

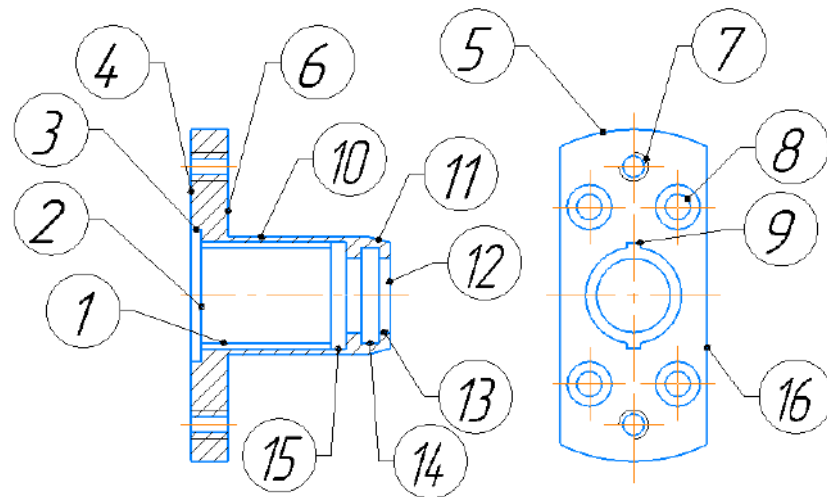


Рисунок 2.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (2.7)$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (2.8)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні $\varnothing 16_{-0,043}$ уточнення дорівнюють:

$$\varepsilon_d = \frac{1,5}{0,043} = 34,9;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{1,6} = 15,6;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,02} = 25;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (2.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 34,9 = 3,08 \rightarrow 3$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску – IT17 $\rightarrow$ h12 $\rightarrow$ h10 $\rightarrow$ TO $\rightarrow$ h9;

2) Для шорсткості – Ra25 $\rightarrow$ Ra6,3 $\rightarrow$ Ra3,2 $\rightarrow$ TO $\rightarrow$ Ra1,6

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, термічна обробка (ТО), шліфування.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=180$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [11].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1500}{180} = 8,3;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,9.$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=70$ мкм; $T_{Ra2}=1,6$ мкм [11].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{180}{70} = 2,6;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 8,3 \cdot 2,6 = 21,6 < \varepsilon_d = 34,9;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 2 = 7,8 < \varepsilon_{Ra} = 15,6.$$

Четвертий перехід – шліфування: $T_{D4}=43$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [11].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{70}{43} = 1,6;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 21,6 \cdot 1,6 = 34,9 < \varepsilon_d = 34,9;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 7,8 \cdot 2 = 15,6 < \varepsilon_{Ra} = 15,6.$$

Проведемо розрахунок уточнень для поверхні – $27_{(-0,21)}$:

$$\varepsilon_d = \frac{1,5}{0,21} = 7,1;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{3,2} = 7,8;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,025} = 20;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою (2.9):

$$k = 2 \cdot \lg 20 = 2,6 \rightarrow 2$$

ПШТЯ:

1) Для допуску – IT17→ h14→h12 → TO;

2) Для шорсткості – Ra25→ Ra6,3 →Ra3,2 →TO.

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, TO.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=520$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [11].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1500}{520} = 2,9;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,9.$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=210$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [11].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{520}{210} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 2,9 \cdot 2,5 = 7,1 < \varepsilon_d = 7,1;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 2 = 7,8 < \varepsilon_{Ra} = 7,8.$$

Цим же методом виконуємо розрахунок для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня Ø16 _(-0,043) Ra1,6	Td	34,9	3,08	3	$\Delta IT = IT17 - h9 = 8$ $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h9$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6$	1	Заготовка-штамповка	1500	25	-	-
	Ra	15,6				2	Точіння чорнове	180	6,3	8,3	3,9
						3	Точіння чистове	70	3,2	2,6	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування	43	1,6	1,6	2
Торцюва поверхня 27 _(-0,21) Ra3,2	Td	7,1	2,6	2	$\Delta IT = IT17 - h12 = 5$ $IT17 \rightarrow h14 \rightarrow h12$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2$	1	Заготовка-штамповка	1500	25	-	-
	Ra	7,8				2	Точіння чорнове	520	6,3	2,9	3,9
						3	Точіння чистове	210	3,2	2,5	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Внутрішня циліндрична поверхня Ø10 ^(+0,036) Ra0,4	Td	10	2	4	Δ IT = H14 – H9 = 5 H14 → H12→ H10 → H9 Ra6,3 → Ra3,2→ Ra1,6→ Ra0,8	1	Заготовка-штамповка	-	-	-	-
	Ra	7,9				2	Свердління	360	6,3	-	-
						3	Розсвердлення	150	3,2	2,5	2
						4	Зенкерування	58	1,6	2,5	2
						5	Термічна обробка	-	-	-	-
						6	Розгортання	36	0,8	1,6	2
Торцова поверхня 22(±0,105) Ra0,8	Td	7,1	1,4	2	Δ IT = IT17– JS12 = 5 IT17 → H14 → H12 Ra25 → Ra6,3→ Ra3,2	1	Заготовка-штамповка	1500	25	-	-
	Ra	7,8				2	Точіння чорнове	520	6,3	2,9	3,9
						3	Точіння чистове	210	3,2	2,5	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
Внутрішня циліндрична поверхня Ø13 ^(+0,043) Ra1,6	Td	10	2	4	Δ IT = H14 – H9 = 5 H14 → H12→ H10 → H9 Ra12,5 → Ra6,3→ Ra3,2→ Ra1,6	1	Заготовка-штамповка	-	-	-	-
	Ra	7,8				2	Свердління	430	12,5	-	-
						3	Розсвердлення	180	6,3	2,5	2
						4	Розточування	70	3,2	2,5	2
						5	Термічна обробка	-	-	-	-
						6	Розгортання	43	1,6	1,6	2

2.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Під технологічним маршрутом виготовлення деталі (МВД) розуміється послідовність виконання технологічних операцій з визначенням змісту операцій, вибором обладнання та технологічного оснащення для їх виконання. Для деталі «Корпус» МВД має вигляд:

- 1) I етап – отримання заготовки;
 - ТО;
- 2) II етап – механічна обробка:
 - чорнова токарна обробка;
 - чистова токарна обробка;
 - протяжка;
 - фрезерна обробка;
 - свердлильна обробка;
- 3) III етап – мийка, контроль.
- 4) IV етап – ТО;
- 5) V етап – механічна обробка:
 - шліфування;
- 6) VI етап – мийка, контроль.

Маршрут виготовлення деталі наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715003.002.

2.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для поверхні – $\varnothing 16_{(-0,039)}$, припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом:

- 1) для заготовки: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [11];

Просторові відхилення заготовки:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (2.10)$$

де $\rho_{зм} = 0,3$ мм – відхилення від соосності [11];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (2.11)$$

де $\Delta_{кор} = 1,5$ мкм/мм кривизна поковки [6].

$$\rho_{кор} = 1,5 \cdot 27 = 40 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,3^2 + 0,040^2} = 0,302 \text{ мм}.$$

2) для чорнового точіння: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [11];

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мкм} \quad (2.12)$$

де $K_{ут} = 0,06$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки по [6].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 302 = 30 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення дорівнює $\varepsilon_2 = 0,45$ мм [11].

3) для чистового точіння: $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [11];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 18 = 1,2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = K_{ут} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_2 = 0,04 \cdot 450 = 18 \text{ мкм}$$

4) для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (2.14)$$

де $\Delta_{\text{кор}} = 0,1$ мкм/мм кривизна після ТО [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 27 = 3 \text{ мкм}$$

5) для шліфування: $Rz_5=10$ мкм та $h_5=15$ мкм [11];

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (3 + 0,7) = 0,1 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 18 = 0,5 \text{ мкм}.$$

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (2.15)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{302^2 + 450^2}) = 1803 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{18^2 + 18^2}) = 210 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{3,7^2 + 0,5^2}) = 87 \text{ мкм};$$

Максимальний розмір поверхні:

$$d_5^{\max} = d_5^{\min} + ES_{d5} \quad (2.16)$$

$$d_5^{\max} = 16 + 0 = 16 \text{ мм}$$

Максимальний розмір для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (2.17)$$

$$d_3^{\max} = 16 + 0,07 + 0,087 = 16,157 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 16,157 + 0,18 + 0,21 = 16,547 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 16,547 + 1,803 + 1,5 = 19,45 \rightarrow 19,5 \text{ мкм}.$$

Мінімальний розмір поверхні:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (2.18)$$

$$d_5^{\min} = 16 - 0,043 = 15,957 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 16,157 - 0,07 = 16,087 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 16,547 - 0,18 = 16,367 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 19,5 - 1,5 = 18 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (2.19)$$

$$2z_2^{\max} = 195 - 16,367 = 3,133 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 16,547 - 16,087 = 0,46 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 16,157 - 15,957 = 0,2 \text{ мм};$$

Перевірка правильності розрахунків технологічних розмірів:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (2.20)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (2.21)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (2.22)$$

$$2z_0^{\max} = 19,5 - 15,957 = 3,543 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 18 - 16 = 2 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 1,5 + 0,043 = 1,543 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 3,543 - 2 = 1,543 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 18,5^{+1}_{-0,5}$ мм.

Схема розташування допусків, припусків та технологічних розмірів наведено на рис. 2.5 та таблиці 2.5.

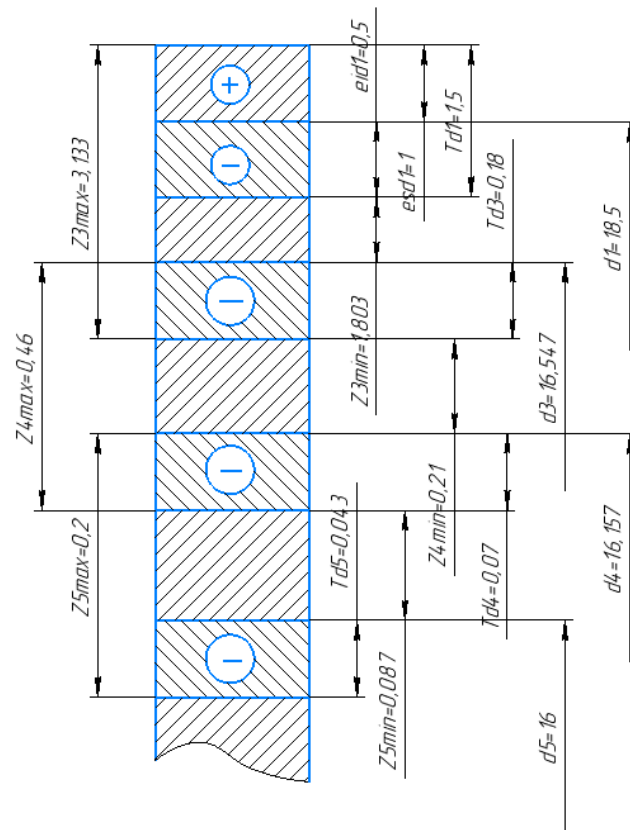


Рисунок 2.5 – Схема розташування припусків та технологічних розмірів

Для поверхонь $27_{-0,21}$, $\varnothing 10^{(+0,036)}$, $\varnothing 13^{(+0,043)}$ припуски призначаємо табличним методом. Згідно цього методу припуски на всі переходи призначаються по таблицям довідкової літератури [10].

Для поверхні $27_{-0,21}$:

- 1) Чорнове точіння: $2Z^{min} = 2$ мм;
- 2) Чистове точіння: $2Z^{min} = 1$ мм;

Для поверхні $\varnothing 10^{(+0,036)}$:

- 1) Свердління: $2Z^{min} = 5$ мм;
- 2) Розсвердлення: $2Z^{min} = 4$ мм;
- 3) Зенкерування: $2Z^{min} = 0,28$ мм;

4) Розгортання: $2Z^{min}=0,2$ мм.

Для поверхні $\varnothing 13^{(+0,043)}$:

5) Свердління: $2Z^{min} = 5$ мм;

6) Розсвердлення: $2Z^{min} = 4$ мм;

7) Зенкерування: $2Z^{min}=0,28$ мм;

8) Розгортання: $2Z^{min}=0,2$ мм.

Таблиця 2.5 – Припуски та міжопераційні розміри

Характерис- тика поверхонь	МОП		До- пуск мм	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки		$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
Ø16 _(-0,043) Ra=1,6 ↑=0,02	17	Заготовка	1,5	19,5	18	-	-	Ø18,5 ⁺¹ _{-0,5} Ø 16,547 _{-0,18} Ø 16,157 _{-0,07} - Ø16 _{-0,043}
	-	Точін. чорн.	0,18	16,547	16,367	3133	1803	
	12	Точін. чист.	0,07	16,157	16,087	460	210	
	10	ТО	-	-	-	-	-	
	9	Шліфування	0,043	16	15,957	200	87	
	63,543-2=1,5+0,043		1,543=1,543		3,543	2		
27 _(-0,21) Ra3,2 ↑=0,02	17	Заготовка	1,5	32,0	30,5	-	-	31 ⁺¹ _{-0,5} 28,52 _{-0,52} 27 _{-0,21} -
	-	Точін. чорн.	0,52	28,52	28	4020	2000	
	14	Точін. чист.	0,21	27	26,79	1730	1000	
	12	ТО	-	-	-	-	-	
	5,23-3,52=1,5+0,21		1,71=1,71		5,23	3,52		
	Ø10 ^(+0,036) Ra0,8 ↑=0,02	17	Заготовка	-	-	-	-	
14		Свердл.	0,36	5,36	5	5360	5000	
12		Розсвердл.	0,15	9,15	9	4150	4000	
10		Зенкерув.	0,058	9,858	9,8	858	800	
-		ТО	-	-	-	-	-	
9		Розгорт.	0,036	10,036	10	236	200	
5,036-4,64=0,396		0,36+0,036=0,396		4,64	5,036			
Ø13 ^(+0,043) Ra1,6 ↑=0,025	17	Заготовка	-	-	-	-	-	— Ø 5 ^{+0,36} Ø 9 ^{+0,15} Ø 12,8 ^{+0,07} - Ø 13 ^{+0,043}
	14	Свердл	0,36	5,36	5	-	-	
	12	Розсвердл.	0,15	9,15	9	5360	5000	
	10	Розточ.	0,07	12,87	12,8	4150	4000	
	-	ТО	-	-	-	3870	3800	
	9	Розгорт.	0,043	13,043	13	243	200	
	8,043-7,64=0,403		0,36+0,043=0,403		7,64	8,043		

2.6 Розрахунок режимів різання

2.6.1 Операція 025 – токарна з ЧПК

Обробка виконується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) Schaublin 125 RT-ID16186. Операційний ескіз токарної операції наведений на рис. 2.6. В якості пристосування використовується патрон двохкулачковий та цетр. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстата

Характеристика	Значення
Система управління	FANUC 18i-T
Максимальний діаметр точіння над станиною (мм)	200
Максимальний діаметр точіння над супортом (мм)	115
Діаметр отвору в шпинделі (мм)	24
Величина робочого переміщення по вісі X (мм)	180
Величина робочого переміщення по вісі Z (мм)	400
Інструментальних місць в револьвері (шт)	8
Тип інструментального револьвера	VDI 20
Обороти шпинделя (об/хв)	5000
Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В)	1830 x 1260 x 1700
Вага верстата (кг)	1500

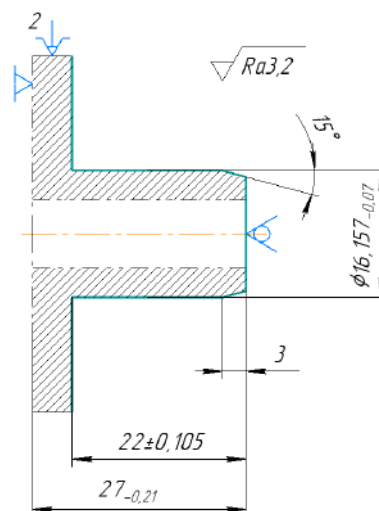


Рисунок 2.6 – Операційний ескіз

Інструмент: різець підрізний $\varphi=95^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\gamma=8^\circ$; $r=0,8$ мм, 25x16x140, ВК6 ГОСТ 18880-73 [12];

Глибина різання:

$$h = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (2.23)$$

де $D_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$ – операційний розмір деталі, мм.

$$h = \frac{16,547 - 16,157}{2} = 0,2 \text{ мм}$$

Глибина різання на один прохід:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (2.24)$$

де h – припуск на обробку, мм;

i – кількість проходів.

$$t = \frac{0,2}{2} = 0,1 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (2.25)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,48$ мм/об [13];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{Sp} \cdot K_{Si} \cdot K_{Sn} \cdot K_{Sm} \cdot K_{Sl} \cdot K_{Se} \quad (2.26)$$

де K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує спосіб кріплення ріжучої пластини,

$$K_{Sp} = 1,0 \text{ [8];}$$

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує діаметр до обробки і після, $K_{Sd} = 0,62$ [13];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{Si} = 0,8$ [13];

K_{Sn} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі, $K_{Sn} = 1,0$ [13];

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу,

$$K_{S_M} = 0,8 \text{ [13];}$$

K_{S_ℓ} – коефіцієнт, що враховує відношення вильоту різця до його довжини, $K_{S_\ell} = 0,74$ [13];

K_{S_ε} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{S_\varepsilon} = 1,0$ [13].

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,29$$

$$S_0 = 0,48 \cdot 0,29 = 0,12 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,1$ мм/об.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (2.27)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T = 241$ м/хв [13];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_{\text{и}}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_0} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{HB}} \cdot K_{V_\varepsilon} \cdot K_{V_{\text{ж}}} \quad (2.28)$$

де K_{V_M} – коефіцієнт, що враховує матеріал, $K_{V_M} = 0,85$ [13];

$K_{V_{\text{и}}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{V_{\text{и}}} = 0,8$ [13];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{V_j} = 1,0$ [13];

K_{V_0} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_0} = 0,9$ [13];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента,
 $K_{V_T} = 0,7$ [13];

$K_{V_{HB}}$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу,
 $K_{V_{HB}} = 1,0$ [13];

K_{V_ε} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{V_\varepsilon} = 1,0$ [13];

$K_{V_{\text{ж}}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{V_{\text{ж}}} = 1,0$ [13].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,43$$

$$V = 241 \cdot 0,43 = 125 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.29)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 125}{3,14 \cdot 45} = 884 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_d = 900$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою:

$$V_d = \frac{n_d \cdot \pi \cdot D}{1000} \quad (2.30)$$

$$V_d = \frac{900 \cdot 3,14 \cdot 45}{1000} = 127 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу L_{px} , мм розраховується за формулою:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (2.31)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання [13];

$l_{пер}$ – перебігу [13].

$$L_{px} = 2 + 3,1 + 19 + 14,4 + 2 = 40,5 \text{ мм}$$

Основний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (2.32)$$

$$t_o = \frac{40,5}{0,1 \cdot 900} \cdot 2 = 0,9 \text{ хв}$$

2.6.2 Операція 075 – шліфувальна

Шліфування виконуємо на круглошліфувальний верстат TSCHUDIN НТГ 610. Операційний ескіз зображено на рис. 2.7. Технічні характеристики верстата:

- 1) Висота центрів – 100 мм;
- 2) Максимальний діаметр шліфування – $\varnothing 200$ мм;
- 3) Максимальна довжина шліфування – 680 мм;
- 4) Розміри шліфувального круга – 250 x 20 x 76 мм;
- 5) Частота обертання шліфувального круга – 2300 об/хв;
- 6) Частота обертання деталі – 1...500 об/хв.

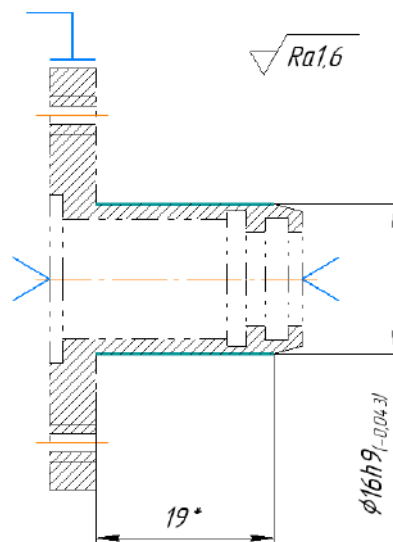


Рисунок 2.7 – Операційний ескіз

Інструмент: шліфувальний круг 1 250x20x76 15A 40Н СТ1 6 К8 А 45м/с
ГОСТ 2424-82 [11].

Пристосування: центри, хомутик повідковий.

Припуск на обробку $z=0,2$ мм (табл. 2.4).

Подача радіальна розраховуємо по формулі (2.25) (2.26):

де S_T – табличне значення подачі, $S_T=0,008$ мм/об [13];

K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга, $K_D=0,42$ [13];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі, $K_R=0,85$ [13];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга, $K_T=1,0$ [13];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск, $K_h=1,0$ [13];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT}=0,5$ [13];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі, $K_M=1,0$ [13].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,0014 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{рад}}=0,0025$ мм/об.

Табличне значення швидкості різання:

- для круга – $V_{\text{ш.кр.}}=45$ м/с [13];
- для деталі – $V_{\text{ш.дет.}}=50$ м/хв [13].

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.кр.}} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (2.33)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (2.34)$$

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot 45 \cdot 60}{3,14 \cdot 250} = 3439 \text{ об/хв};$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 16} = 995 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n_{\text{ш.кр.}}=2300$ об/хв, $n_{\text{дет.}}=500$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (2.30):

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 500}{1000} = 25 \text{ м/с.}$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 2300}{1000 \cdot 60} = 30 \text{ м/с};$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (2.35)$$

де k – коефіцієнт уточнення, $k=1,7$.

z – припуск під шліфування, мм.

$$T_o = \frac{0,2 \cdot 1,7}{500 \cdot 0,0025} = 0,27 \text{ хв.}$$

2.6.3 Операція 050 – свердлильна з ЧПК

Для свердління отворів у фланці корпусу обираємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК Optimill F4. Операційний ескіз зображено на рис. 2.8. Технічні характеристики верстата наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстату

Характеристика	Значення
Потужність	8,5 кВт
Частота обертів шпинделя	50...9000 об/хв
Конус шпинделя	BT 30
Максимальний діаметр торцевої фрези	60 мм
Максимальний діаметр кінцевої фрези	30 мм
Розмір стола, Д х Ш	690 х 210 мм
Відстань шпиндель-стіл	90...390 мм
Кількість інструмента	8
Переміщення	
Вісь X	310 мм
Вісь Y	200 мм
Вісь Z	300 мм
Робоча подача (оси X, Y, Z)	10 000 мм/хв
Маса станка	1800 кг

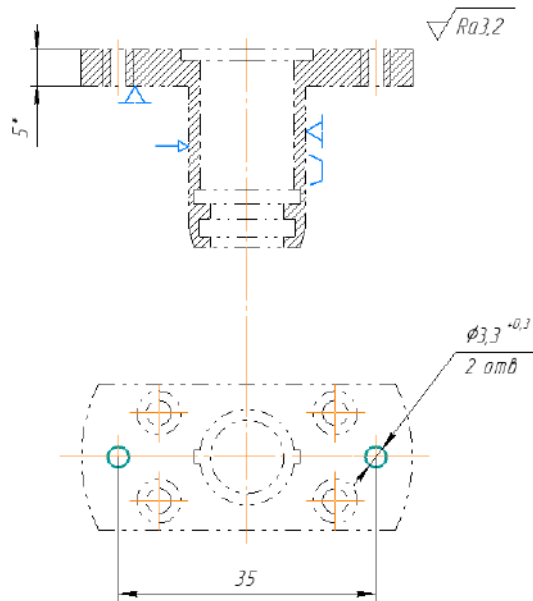


Рисунок 2.8 – Операційний ескіз

Інструмент: свердло спіральне діаметром 3,3 мм з Р6М5 за ГОСТ 10902-77 [11].

Прийняття: кондуктор

Розраховуємо подачу по формулі (2.25), (2.26):

де $S_{\text{табл}}$ – табличне значення подачі, $S_{\text{табл}}=0,12$ [13],

K_{S1} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{S1}=1,0$ [13];

$K_{Sж}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість системи, $K_{Sж}=0,8$ [3];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента, $K_{Si}=1,0$ [13];

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує наскрізний отвір, $K_{Sd}=1,0$ [13];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу, $K_{SM}=1,0$ [13].

$$S_p = 0,12 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,096 \text{ мм/об.}$$

Приймаємо $S=0,05$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання (2.27), (2.28):

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення, $V_{\text{табл}}=21,8$ м/хв [13].

K_{VM} – коефіцієнт, що враховує матеріал, $K_{VM}=1$ [13];

K_{VI} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента, $K_{VI}=0,91$ [13];

K_{Vd} – коефіцієнт, що враховує наскрізний отвір, $K_{Vd}=0,9$ [13];

K_{VI} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{VI}=1,0$ [13];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує стійкість інструмента, $K_{VT}=1,0$ [13];

K_{VO} – коефіцієнт що враховує вплив ЗОТС, $K_{VO}=1,0$ [13].

$$V_p = 21,8 \cdot 1 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 17,9 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання розраховуємо за формулою (2.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 17,9}{3,14 \cdot 3,3} = 1727 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n=1700$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (2.30):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 3,3 \cdot 1700}{1000} = 17,6 \text{ м/хв};$$

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{l+l_1+l_2}{n \cdot S} \cdot i \quad (2.36)$$

де l – довжина свердління, мм;

l_1 – величина врізання, мм;

l_2 – довжина перебігу, мм.

$$l_1 = \frac{D_{CB}}{2 \operatorname{tg} 120/2}, \text{ мм} \quad (2.37)$$

$$l_1 = \frac{3,3}{2 \operatorname{ctg} 120/2} = 2,8 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{2,8+5+2}{1700 \cdot 0,05} \cdot 2 = 0,23 \text{ хв.}$$

2.6.4 Операція 040 – фрезерна з ЧПК

Для фрезерування фланцю деталі призначаємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК Optimill F4. Операційний ескіз операції наведений на рис. 2.9.

Інструмент: кінцева фреза D=10 мм, z=4, P6M5 ГОСТ 17025-71 [11].

Подачу повздовжню $S_z^{\text{табл}}=0,04$ мм/зуб обираємо за довідковою літературою [12].

Глибина різання: $t=(26-20)/2=3$ мм.

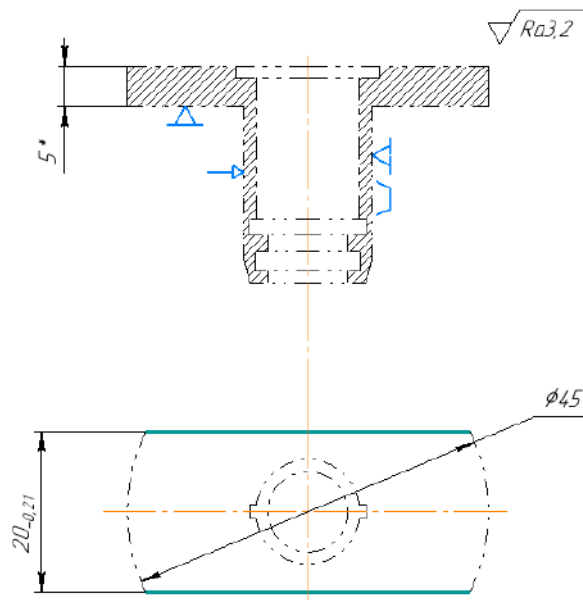


Рисунок 2.9 – Операційний ескіз

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_{zy} \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{V\Pi}, \text{ м/хв} \quad (2.38)$$

де C_v, q, x, y, u, p, t – показники ступеня [12];

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу [12];

$K_{VI}=1$ – коефіцієнт, враховуючий властивості матеріалу ріжучої частини інструмента [12];

$K_{VII}=1$ – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки [12];

$T=80$ хв – період стійкості інструменту;

D_ϕ – діаметр фрези.

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n = \left(\frac{750}{650} \right)^{0.9} = 1.13 \quad (2.39)$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 10^{0.3}}{120^{0.26} \cdot 2^{0.3} \cdot 0.022^{0.25} \cdot 5^0 \cdot 4^0} \cdot 1.13 \cdot 1 \cdot 1 = 16,7 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (2.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 16,7}{3,14 \cdot 10} = 531,8 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d=500$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (2.30):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 500}{1000} = 16 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу інструменту за формулою:

$$S_m = S_z \cdot n \cdot z \quad (2.40)$$

$$S_{m \text{ повз}} = 0,04 \cdot 500 \cdot 4 = 80 \text{ мм/хв}$$

Обираємо за паспортом верстата $S_{m \text{ повз}}=80$ мм/хв.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_1+l_2}{S_{\text{повз}}} i, \text{ хв} \quad (2.41)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

i – кількість проходів;

l_1 – величина врізання, мм.

l_2 – величина перебігу, мм.

$$l_1 = 0,5 \cdot D_\phi \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D_\phi} \right) \right), \text{ мм} \quad (2.42)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 10 \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 2}{10} \right) \right) = 4 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{2+45+2}{80} \cdot 4 = 2.45 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

Номер та назва операції	Номер	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кіль- кість прохо- дів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
015 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	120	900
020 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	120	900
	02	2,5	1	0,3	25	2500
	03	2	1	0,3	25	2000
025 Токарна з ЧПК	01	0,2	2	0,1	127	900
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	105	900
	02	0,5	4	0,1	105	3000
	03	2,4	1	0,05	110	2500
035 Довбальна	01	1,2	2	0,1	5	-
040 Фрезерна з ЧПК	01	3	4	80	16	500
045 Свердлильна з ЧПК	01	1,7	2	0,2	25	2500
	02	1,3	2	0,3	35	2000
050 Свердлильна з ЧПК	01	1,65	2	0,05	17,6	1700
075 Круглошліфувальна	01	0,2	80	0,0025	30/25	2300/500
080 Токарна з ЧПК	01	0,05	2	ручн	150	1200
085 Токарна з ЧПК	01	0,1	1	0,05	120	750
	02	0,1	1	0,2	35	500
	03	0,1	1	0,2	35	500

2.7 Технічне нормування операцій

2.7.1 Технічне нормування операції 025

Допоміжний час на операцію:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}} , \quad (2.43)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі [14];

$t_{\text{уп}}$ – час на управління верстатом [14];

$t_{\text{пр.рух.}}$ – час пришвидшених рухів [14];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, хв.

$$t_{\text{доп}} = 0,3 + 0,1 + 0,3 + 0,1 = 0,8 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (2.44)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,9 + 0,8 = 1,7 \text{ хв}$$

Додатковий час:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (2.45)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [14].

$$t_{\text{дод}} = 1,7 \cdot 0,1 = 0,17 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (2.46)$$

$$t_{\text{шт}} = 1,7 + 0,17 = 1,87 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей:

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} + t_{пз3} \quad (2.47)$$

де $t_{пз1}$ – час, що включає наладку верстату, інструменту, пристосування [9];

$t_{пз2}$ – час на отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи [9].

$$t_{пз} = 15 + 5 = 20 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (2.48)$$

де n – розмір партії деталей, що запускаються у виробництво (п. 2.2).

$$t_{шт-к} = 1,87 + \frac{20}{40} = 2,37 \text{ хв}$$

2.7.2 Технічне нормування операції 075

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (2.43):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{вст} = 0,3 \text{ хв}$ [14];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{мд} = 0,5 \text{ хв}$ [14];

$t_{контр}$ – час на вимірювання $t_{контр} = 0,1 \text{ хв}$ [14].

$$t_{доп} = 0,3 + 0,5 + 0,1 = 0,9 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (2.44):

$$t_{оп} = 0,27 + 0,9 = 1,17 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (2.45):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [14].

$$t_{\text{дод}} = 1,17 \cdot 0,1 = 0,12 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (2.46):

$$t_{\text{шт}} = 1,17 + 0,12 = 1,29 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (2.47):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 10 \text{ хв}$ [14];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 12 \text{ хв}$ [14].

$$t_{\text{пз}} = 10 + 12 = 22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (2.48):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,29 + \frac{22}{40} = 1,84 \text{ хв}$$

2.7.3 Технічне нормування операції 050

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (2.43):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,45 \text{ хв}$ [14];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,6 \text{ хв}$ [14];

$t_{\text{контр}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{контр}} = 0,15 \text{ хв}$ [14].

$$t_{\text{доп}} = 0,45 + 0,6 + 0,15 = 1,2 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (2.44):

$$t_{оп} = 0,23 + 1,2 = 1,43 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (2.45):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [14].

$$t_{дод} = 1,43 \cdot 0,1 = 0,14 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (2.46):

$$t_{шт} = 1,43 + 0,14 = 1,57 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 13 \text{ хв}$ [14];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, $t_{пз2} = 14 \text{ хв}$ [14].

$$t_{пз} = 15 + 10 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (2.48):

$$t_{шт-к} = 1,57 + \frac{25}{40} = 2,2 \text{ хв}$$

2.7.4 Технічне нормування операції 040

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (2.43):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,2$ хв [14];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,5$ хв [14];

$t_{\text{контр}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{контр}} = 0,12$ хв [14].

$$t_{\text{доп}} = 0,2 + 0,5 + 0,12 = 0,82 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (2.44):

$$t_{\text{оп}} = 2,45 + 0,82 = 3,27 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (2.45):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [14].

$$t_{\text{дод}} = 3,27 \cdot 0,1 = 0,33 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (2.46):

$$t_{\text{шт}} = 3,27 + 0,33 = 3,6 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (2.47):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 10$ хв [14];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 8$ хв [14].

$$t_{\text{пз}} = 10 + 8 = 18 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (2.48):

$$t_{\text{шт-к}} = 3,6 + \frac{18}{40} = 4,05 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Токарна з ЧПК	2,5	0,8	0,33	3,63	20	4,13
020 Токарна з ЧПК	3,5	0,8	0,43	4,73	20	5,23
025 Токарна з ЧПК	0,9	0,8	0,17	1,87	20	2,37
030 Токарна з ЧПК	8,5	0,8	0,93	10,23	20	10,73
035 Довбальна	1,2	0,6	0,18	1,98	30	2,73
040 Фрезерна з ЧПК	2,45	0,82	0,33	3,60	18	4,05
045 Свердлильна з ЧПК	5,3	1,2	0,65	7,15	25	7,78
050 Свердлильна з ЧПК	0,23	1,2	0,14	1,57	25	2,2
075 Круглошліфувальна	0,27	0,9	0,12	1,29	22	1,84
080 Токарна з ЧПК	1,2	0,8	0,20	2,20	20	2,70
085 Токарна з ЧПК	2,5	0,8	0,33	3,63	20	4,13

2.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

2.8.1 Операція 025 – токарна з ЧПК

Для токарної операція 025 керуючу програму (КП) розробимо за допомогою програми Siemens.NX. Для цього розробимо 3D моделі деталі та заготовки (рис. 2.10).

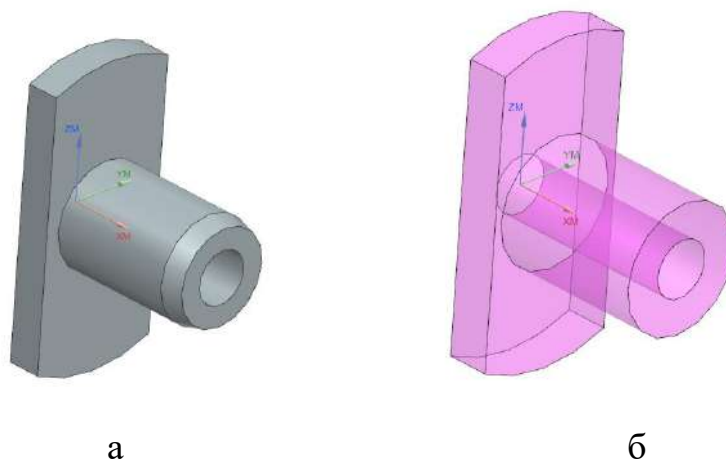


Рисунок 2.10 – 3D модель деталі (а) та заготовки (б)

В програмі визначаємо робочу геометрію WORKPIECE (рис. 2.11).

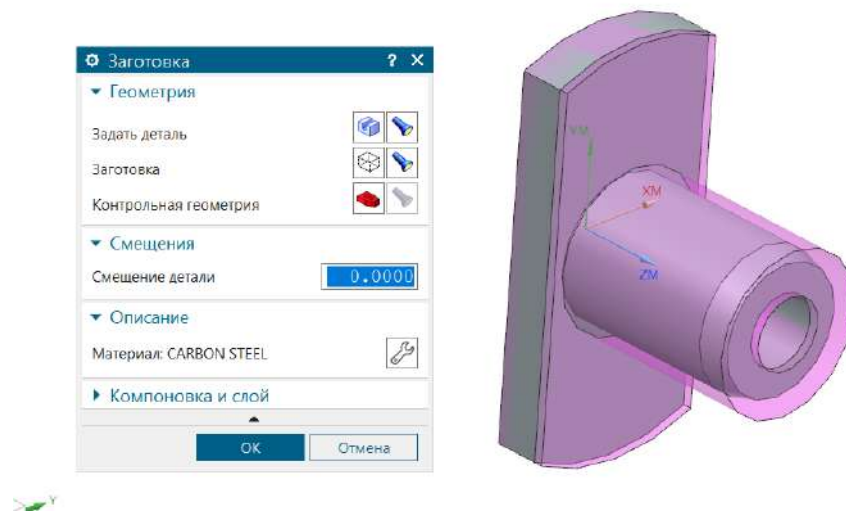


Рисунок 2.11 – Робоча геометрія

Генеруємо токарний переріз (рис. 2.12).

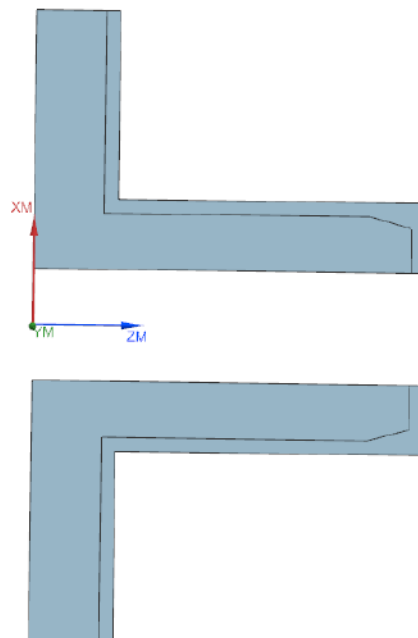


Рисунок 2.12 – Токарний переріз

Задаємо розташування точки початку руху інструментів, створюємо весь необхідний інструмент (рис. 2.13).

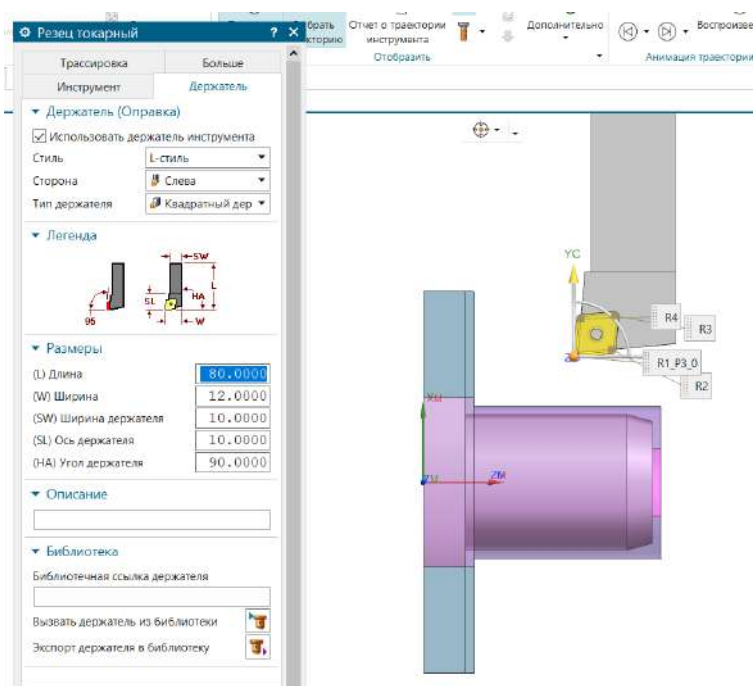


Рисунок 2.13 – Створення інструменту

Створюємо перший перехід – точіння зовні. Траєкторія приведена на рис. 1.14, візуалізація обробки на рис. 2.15.

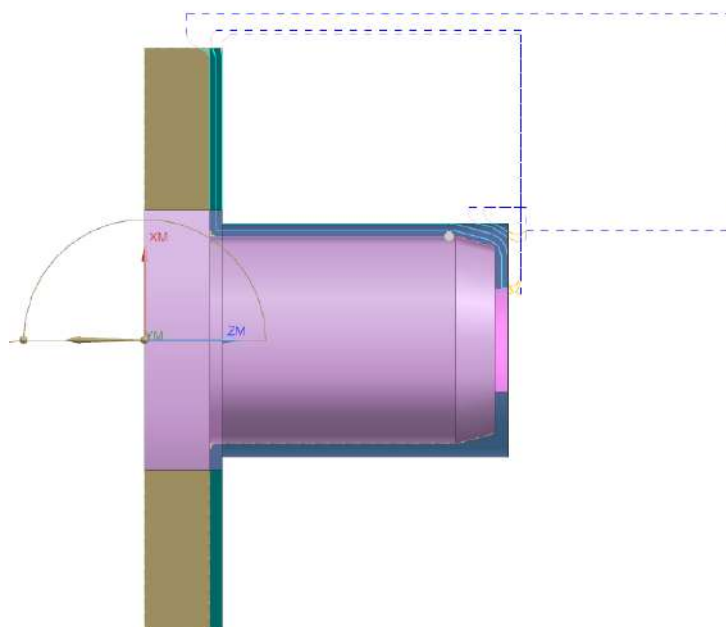


Рисунок 2.14 – Траєкторія обробки

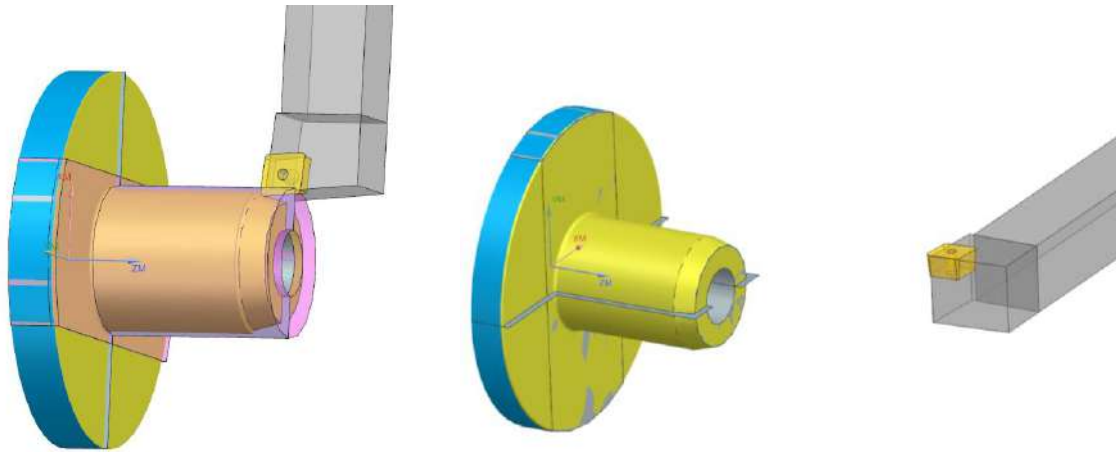


Рисунок 2.15 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП токарної операції в модулі Siemens.NX наведено в графічній частині дипломного проекту НУЗП 715004.002.

2.8.2 Операція 050 – фрезерна з ЧПК

Для фрезерної операції №050 КП розробимо за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки показано на рис. 2.16.

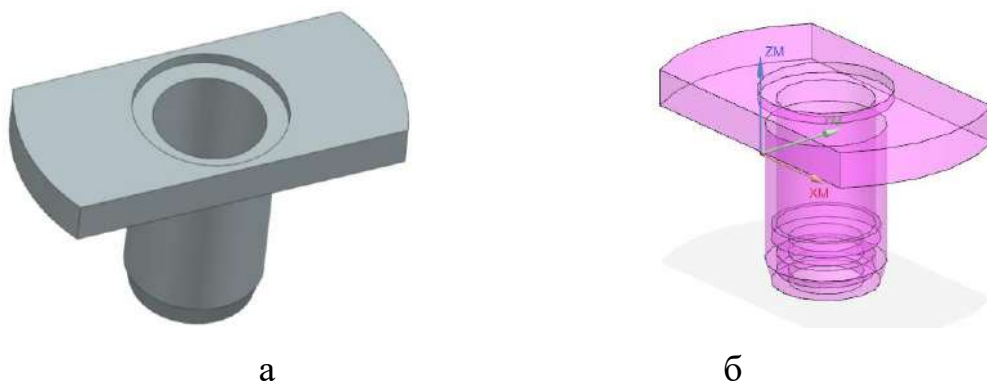


Рисунок 2.16 – 3D модель деталі (а) та заготовки (б)

Створюємо робочу геометрію, контрольну геометрію, інструмент (рис. 2.17, 2.18).

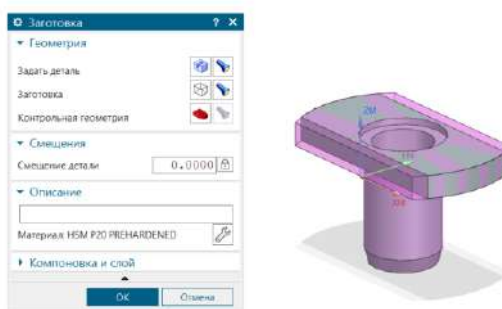


Рисунок 2.17 – Визначення робочої геометрії

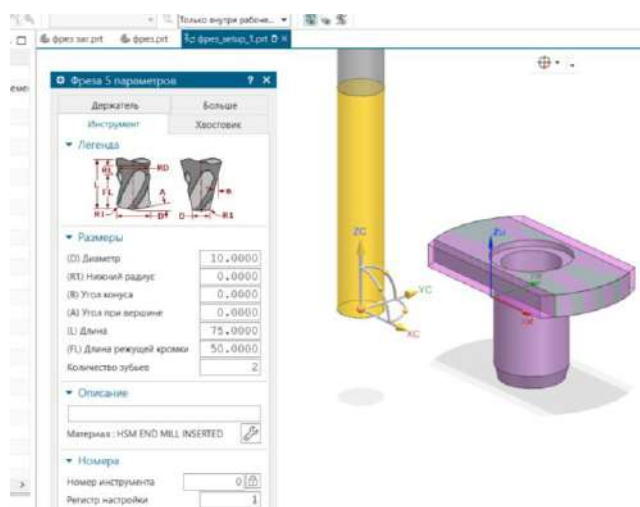


Рисунок 2.18 – Створений інструмент

Розроблюємо перший перехід – фрезерування шпонкового пазу (рис. 2.19). Візуалізація обробки показано на рис. 2.20.

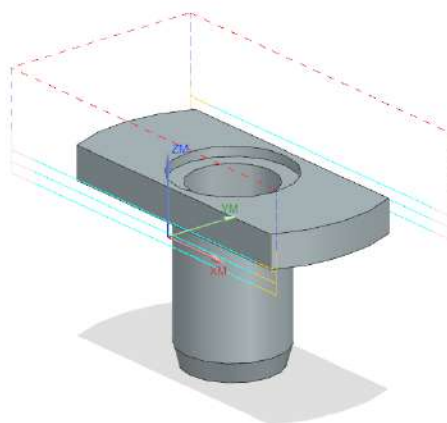


Рисунок 2.19 – Траєкторія обробки

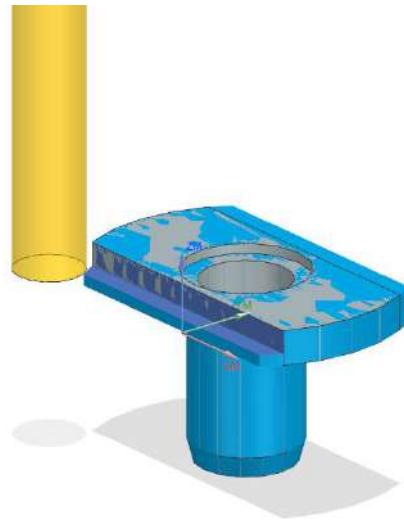


Рисунок 2.20 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП фрезерної операції в модулі Siemens.NX наведено в графічній частині дипломного проекту НУЗП 715004.002.

2.8.3 Операція 055 – свердлильна з ЧПК

Для свердлильної операції №055 КП розробимо за допомогою програми Siemens.NX. 3D модель деталі та заготовки приведено на рис. 2.21

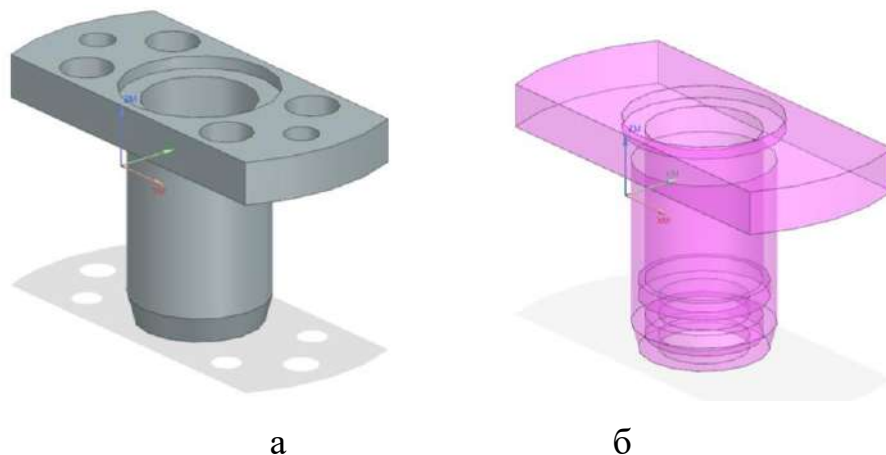


Рисунок 2.21 – 3D модель деталі (а) та до заготовки (б)

Визначаємо робочу геометрію, контрольну геометрію (рис. 2.22), створюємо інструмент (рис. 2.23).

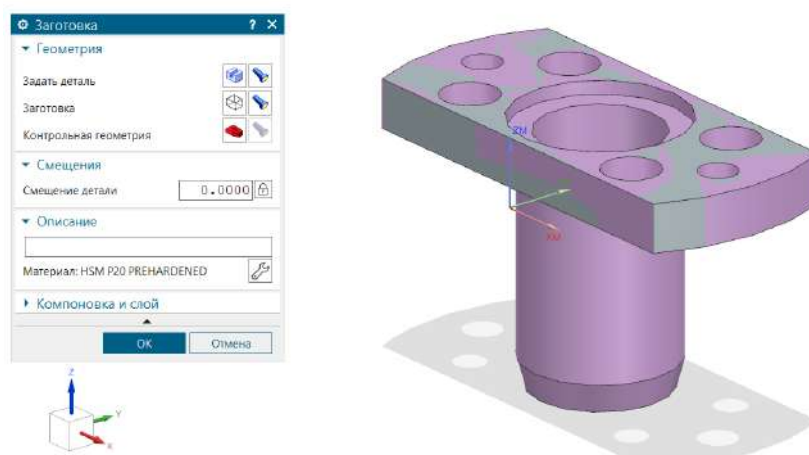


Рисунок 2.22 – Визначення робочої геометрії

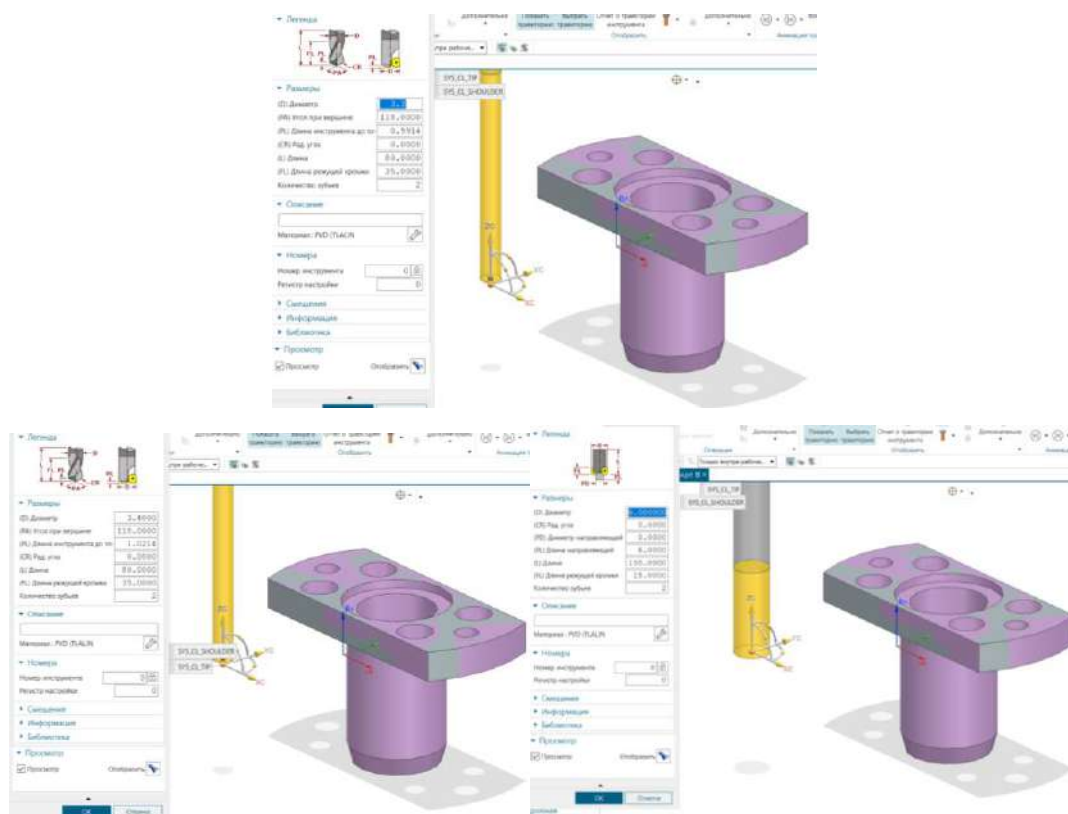


Рисунок 2.23 – Створений інструмент

Розроблюємо перший перехід – свердління двох отворів. Траєкторія обробки показана на рис. 2.24, візуалізація на рис. 2.25.

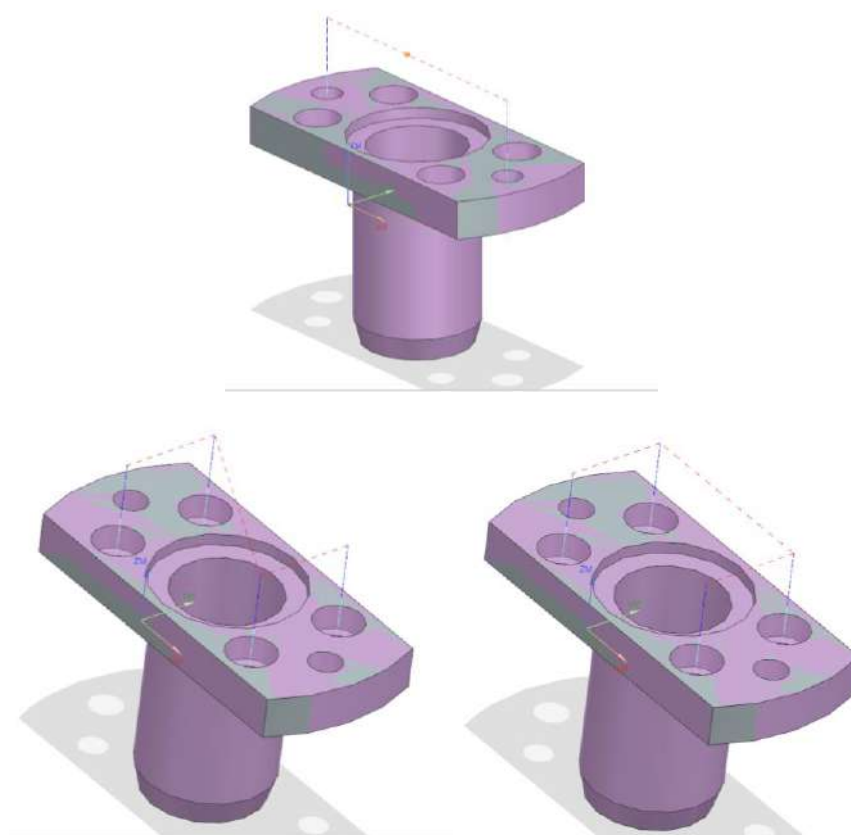


Рисунок 2.24 – Траєкторія обробки

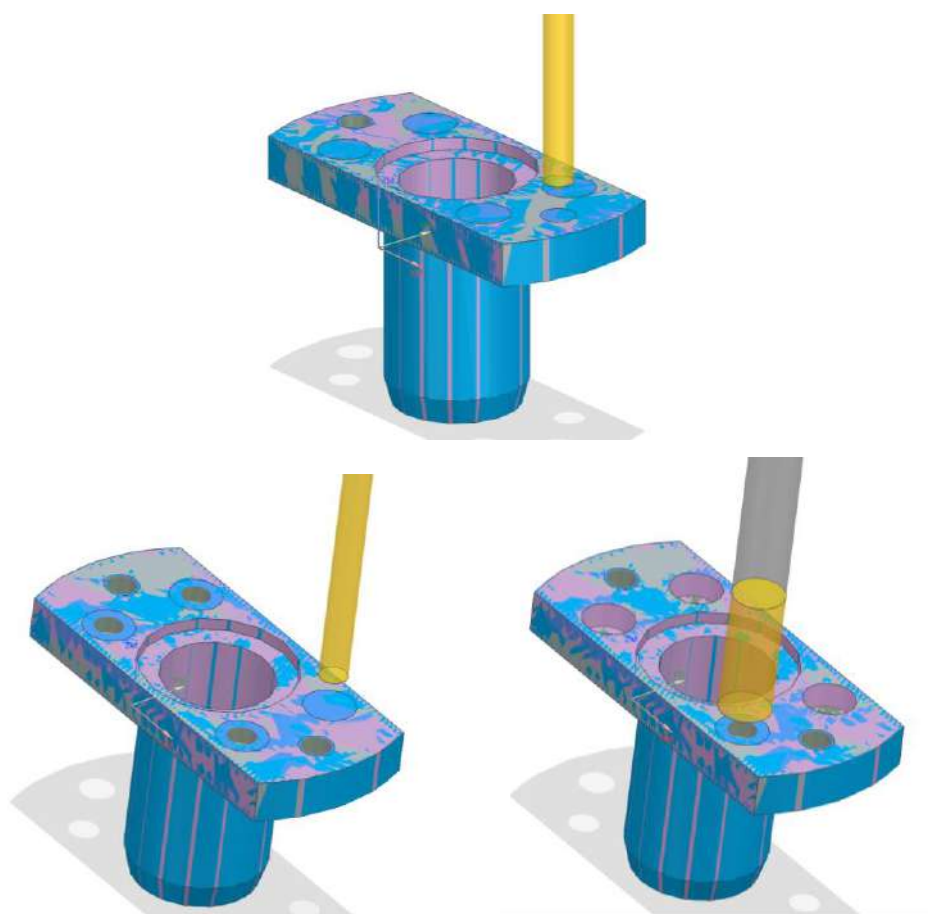


Рисунок 2.25 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП свердлильної операції в модулі Siemens.NX наведено в графічній частині дипломного проекту НУЗП 715004.002.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Проектування робочого пристосування

3.1.1 Конструкція та принцип роботи пристосування

Спроековано пристосування (рис. 3.1), яке призначено для базування та фіксації деталі під час свердління двох отворів.

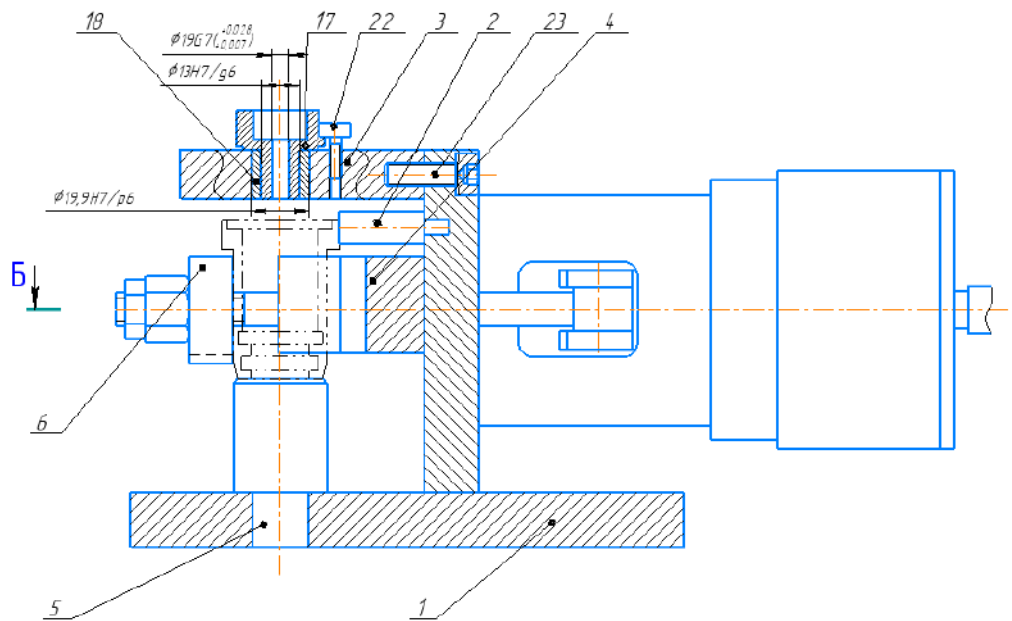


Рисунок 3.1 – Пристосування для свердління

Пристосування складається з корпусу 1, на якому встановлена призма 4. В пристосуванні змонтований гідроциліндр для створення сили закріплення деталі. Також на пристосуванні мається установ 2 для базування фланцю деталі під час обробки. Після встановлення деталі на призму 4 в гідроциліндр подається рідина під тиском. Шток 9 рухається праворуч та тягне планку 6, яка притискає деталь. Після обробки тиск рідини подається в іншу частину гідроциліндру, шток 9 рухається ліворуч та планка 6 звільняє деталь.

3.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.

Похибка встановлення – різниця граничних відхилень вимірювальної бази щодо встановленого розміру ріжучого інструменту. Похибку встановлення розрахуємо за формулою [15]:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (3.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення

Похибку базування визначимо зі схеми встановлення деталі (рис. 3.2). Деталь встановлюється по $\varnothing 16_{-0,07}$ на призму з кутом 90° .

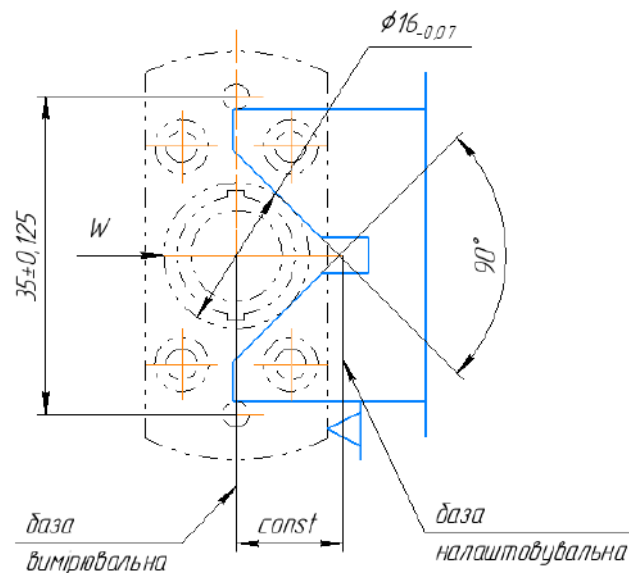


Рисунок 3.2 – Схема установки у призму

Похибка базування розраховуємо [15]:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = k \cdot T_d \quad (3.2)$$

де k – коефіцієнт базування,

T_d – допуск на діаметр.

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,7 \cdot 0,07 = 0,049 \text{ мм}; \quad (3.3)$$

При закріпленні деталі на призмі похибка дорівнює нулю, так як напрям сили затиску перпендикулярний розміру обробки.

Похибка встановлення згідно формули (3.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,049^2 + 0^2} = 0,049 \text{ мм}$$

Розрахуємо пристосування на точність, для цього визначимо виконавчі розміри розміщення кондукторної втулки (рис. 3.3).

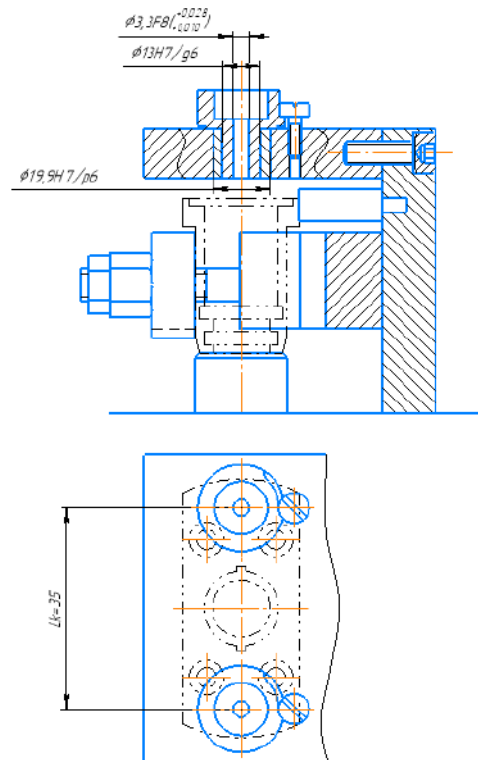


Рисунок 3.3 – Схема розрахунку розміру установка

Розраховуємо допуск на розмір кондукторної втулки L_k , L_d [15]:

$$T_k \leq T_d - k \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2} \quad (3.4)$$

де $T_d=0,25$ мм – повне поле допуску розмір обробки;

k – коефіцієнт, враховуючий відхил відстані складових величин від закону нормального розподілу, і залежить від кількості складових похибок, $k=1$;

Δ_1 – частка похибки обробки, яка залежить від зміщення осі свердла щодо осі отвору змінної втулки;

Δ_2 – частка похибки обробки, яка залежить від зміщення осі змінної втулки щодо постійної:

Δ_3 – частка похибки обробки, викликана зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок, $\Delta_3=0,01$ мм;

Δ_4 – частка похибки обробки, яка залежить від величини допустимого зносу, $\Delta_4=0,015$ мм;

Δ_5 – частка похибки обробки, що враховує перекіс інструменту в процесі обробки:

$$\Delta_2 = S_{2\text{max}} = d_{\text{max}} - d_{0\text{min}} \quad (3.5)$$

$$\Delta_2 = 13,018 - 12,983 = 0,035 \text{ мм}$$

$$\Delta_5 = \frac{\Delta_1 \cdot (H + 2a)}{H} \quad (3.6)$$

де a – відстань від кондукторної втулки до деталі;

$$\Delta_1 = S_{1\text{max}} = d_{\text{зм.max}} - d_{\text{св.min}} \quad (3.7)$$

$$\Delta_1 = 3,328 - 2,37 = 0,058 \text{ мм}$$

$$a = (0,5 - 0,8) d_{\text{св}} \quad (3.8)$$

$$a = 0,8 \cdot 3,3 = 2,5 \text{ мм}$$

$$\Delta_5 = \frac{0,058 \cdot (14 + 2 \cdot 2,5)}{14} = 0,092 \text{ мм}$$

$$T_k \leq 0,25 - 1 \cdot \sqrt{0,049^2 + 0^2 + 0,035^2 + 0,01^2 + 0,015^2 + 0,092^2} = 0,13 \text{ мм}$$

$$\frac{T_k}{2} \leq \frac{0,13}{2} \Rightarrow \pm 0,05$$

Виконавчий розмір установка:

$$L_k = L_d \pm \frac{T_k}{2} \quad (3.9)$$

$$L_k = 35 \pm 0,05$$

3.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу

Визначення моменту різання:

$$M_{kp} = 10 C_m D^q s^y K_p \quad (3.10)$$

де C_m , q , y , K_p – коефіцієнти [12].

$$K_p = \left(\frac{650}{750} \right)^{0,75} = 0,92$$

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 3,3^2 \cdot 0,05^{0,7} \cdot 0,92 = 0,4 \text{ Нм}$$

Згідно схеми (рис. 3.4) [16] визначимо всі моменти та сили, що діють в закріпленні:

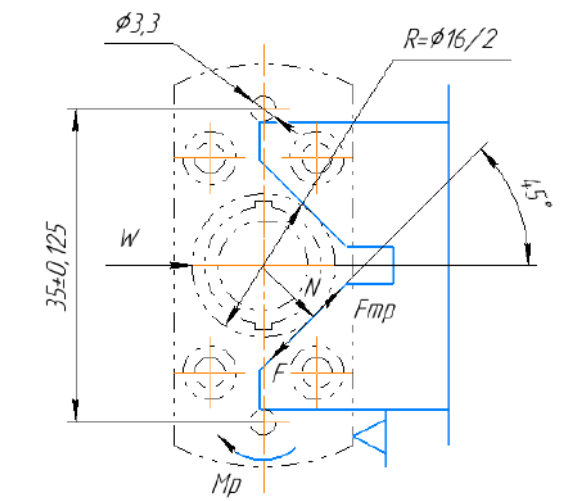


Рисунок 3.4 – Схема до визначення сили закріплення [16]

Сила закріплення:

$$\begin{aligned}
 \sum M_o &= 0 \\
 F_{\text{тр}} &= F \\
 M_p &= F \cdot R \\
 F_{\text{тр}} &= fN \\
 N &= W \cos \alpha \\
 W \cos \alpha &= M_p / R \\
 W &= \frac{M_p}{R f \cos \alpha}
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

де f – коефіцієнт тертя.

Дійсна сила закріплення [16]:

$$W_{\partial} = k \cdot W \tag{3.12}$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення.

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \tag{3.13}$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу $k_0=1,5$;

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці $k_1=1$;

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту $k_2=1,7$.

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання $k_3=1,2$;

k_4 – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами $k_4=1$;

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток $k_5=1$;

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту $k_6=1$.

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,06$$

Сила закріплення згідно формули (3.12):

$$W = \frac{0,4}{0,008 \cdot 0,15 \cdot \cos 75} = 417 \text{ Н}$$

$$W_0 = 3,06 \cdot 417 = 1442,7 \text{ Н}$$

Мінімальний діаметр штока:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (3.14)$$

де α – коефіцієнт затягування;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 40Х.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 1442,7}{3,14 \cdot 100}} = 6,4 \rightarrow 12 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (3.15)$$

де p – тиск в гідросистемі;

η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1442,7}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,85} + 18^2} = 27 \rightarrow 40 \text{ мм}$$

3.2 Проектування контрольного пристосування

3.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування (рис. 3.5) складається зі корпусу 5, на якому встановлюється два центри 1, 2 та стійка індикаторна 3. Контрольне

пристосування призначено для контролю радіального биття $\varnothing 16$ рівне $0,02$ мм. Центри 1, 2 мають можливість повздовжнього переміщення та перезакріплення. Штанга має можливість обертатися та змінювати відстань по висоті індикаторного годинника по відношенню до осі деталі.

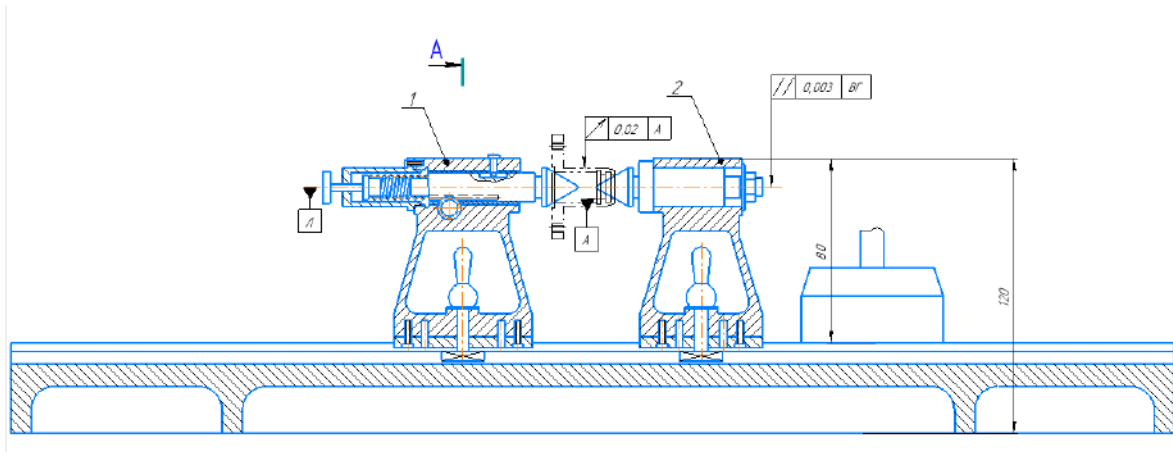


Рисунок 3.5 – Контрольне пристосування

Перед початком контролю деталь по отвору встановлюють в центри 1, 2. Ніжка індикаторного годинника встановлюється на контрольований діаметр. Шляхом обертання деталі в центрах 1, 2 по індикаторному годиннику знімають значення биття.

3.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою [16]:

$$\varepsilon_{\text{вим}} = \varepsilon_{\text{uy}} + \varepsilon_{\text{уп}} + \varepsilon_{\text{им}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{ис}}^2 + \varepsilon_{\text{зп}}^2 + \varepsilon_{\text{си}}^2 + \varepsilon_{\text{др}}^2} \quad (3.16)$$

де $\varepsilon_{\text{им}}$ – похибка, спричинена неточністю еталону. У цьому пристрої еталон не використовується $\varepsilon_{\text{им}}=0$;

$\varepsilon_{нб}$ – похибка базування, при збіганні настроювальної та вимірювальної бази, $\varepsilon_{нб}=0$;

$\varepsilon_{ис}$ – похибка закріплення, при не затисканні деталі в пристосуванні, $\varepsilon_{ис}=0$;

$\varepsilon_{иу}$ – частка похибки конструкції пристосування $\varepsilon_{иу}=0,0015\text{мм}$;

$\varepsilon_{зп}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності, $\varepsilon_{зп}=0,006\text{мм}$;

$\varepsilon_{си}$ – похибка засобу вимірювання, $\varepsilon_{си}=0,001\text{мм}$;

$\varepsilon_{др}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів, $\varepsilon_{др}=0,0015\text{мм}$.

$$\varepsilon_{ип}=\Delta_{рд}+\Delta_{ру}+\Delta_{рн}+\Delta_{рк}+\Delta_{ра} \quad (3.17)$$

$\Delta_{рд}=0$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів;

$\Delta_{ру}=0$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів;

$\Delta_{рн}=0$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів;

$\Delta_{рк}=0$ – похибка від зміщення точки контакту важелів;

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі.

$$\varepsilon_{ип}=0+0+0+0+0,0002=0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{узм} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008\text{мм}$$

$$\varepsilon_{вим} = 0,008\text{мм} \leq [\varepsilon_{вим}] = 0,02\text{мм}$$

Умова придатності виконується, пристрій можна використовувати для даної контрольної операції.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ

4.1 Найефективніші компоненти для інтелектуальної автоматизації. Промислові роботи FANUC.

Якісні роботи для обслуговування верстатів підвищують ефективність багатьох виробничих операцій, зокрема лиття під тиском і в піщані форми, різання, обробки та збирання невеликих деталей. Провідні виробники мають рішення для кожного виробничого сценарію та всіх розмірів виробничих ділянок. Більш того, вони надають широкий спектр віддалених і локальних послуг із підтримки й обслуговування саме тоді, коли це вам потрібно.

FANUC пропонує найширший асортимент промислових роботів (рис. 4.1) серед всіх виробників – понад 100 моделей [17]. Роботами FANUC зручно керувати і вони легко адаптується до виробничих потреб завдяки спеціалізованим оснащенням. Вантажопідйомність до 2,3 т, максимальний радіус робочої зони до 4,7 м і стандартна інтеграція роблять їх ідеальним рішенням фактично для всіх галузей виробництва.



Рисунок 4.1 – Промислові роботи для токарних робіт [17]

Кожне виробництво має специфічні потреби, які часто приховують широкі можливості. Саме тому FANUC прагне знайти оптимальне та продуктивне рішення для всіх завдань, хоч би якими вони були. FANUC

завжди готовий поділитися знаннями про виробничі процеси та рішення з автоматизації, щоб показати нові можливості та шляхи розвитку.

FANUC пропонує широкий модельний ряд роботів – від компактних моделей для чистих приміщень до важких гігантів. Це дає змогу легко знайти маніпуляційного робота для будь-яких потреб: перекладання, дозування, палетування, пакування, переміщення деталей, обслуговування верстатів або збирання [17]. Компетентні постачальники пропонують як прості автономні рішення, так і комплексні системи будь-якого масштабу, здатні автоматизувати переміщення на всіх етапах виробництва в будь-якій галузі. Завдяки незмінно високій швидкості комплексні рішення збільшують виробіток і скорочують цикли, підвищуючи продуктивність до максимуму.

До переваг промислових роботів FANUC належать:

1) Компактні та оснащені до шести осей (рис. 4.2), деякі типи роботів ідеально підходять для автоматизованого догляду за невеликими автономними верстатами. Більше того, їх потужний контролер здатний контролювати всю комірку, а також додаткові периферійні осі [17].



Рисунок 4.2 – Завантаження деталей роботом [17]

2) Оскільки на більшості виробничих потужностей простір і так обмежений, багато роботів, які обслуговують машини, займають невелику площу. Вони також оснащені захистом від води та пилу в стандартній комплектації та кабелями, які проходять через зап'ястя, щоб уникнути шкоди. У деяких виробників навіть є невеликі моделі, які вставляються прямо в верстат.

3) Можливо використовувати роботів для ряду додаткових завдань, пов'язаних із виробництвом деталей, таких як контроль якості, перевірка специфікацій і перевірка поверхні.

4) Швидша зміна інструменту. Завдяки широкому діапазону варіантів монтажу станції зміни інструменту, включно з монтажем зверху, деякі типи роботів служать високоефективними засобами зміни інструменту. Здатність працювати з величезним набором інструментів, ці моделі можуть працювати з будь-якою кількістю інструментів незалежно від їх ваги [17].

5) Завдяки ряду варіантів кріплення на рейках, підлозі, стіні та стелі, щоб заощадити простір і розширити робочу зону вашого робота, деякі моделі роботів ідеально підходять для обслуговування кількох верстатів, збільшуючи продуктивність і максимізуючи час виробництва.

6) Щоб прискорити процеси, пов'язані з бункерами для запчастин, рішення для збору бункерів на основі бачення дозволяють роботам ідентифікувати, вибирати та завантажувати деталі з контейнера (рис. 3.3). Ця автоматизована технологія обслуговування машин, яка часом може похвалитися безвідмовною роботою 99,97%, значно прискорює навіть найскладніші завдання з комплектування [18].

7) Догляд за машинами – це робота, яку більшість людей не бажають виконувати. Хороші роботи, навпаки, забезпечують безперебійне виробництво протягом 720 годин, багатозадачність між осередками, завантаження та розвантаження деталей і здатність підключати до восьми машин.

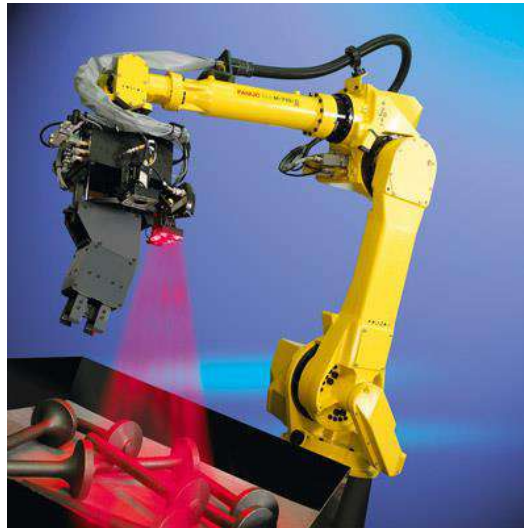


Рисунок 4.3 – Ідентифікація деталей [18]

Завбільшки з людську руку, роботи LR Mate – це найкращі компактні рішення для швидкого переміщення та обробки деталей вагою до 14 кг, які підходять майже для всіх галузей: від харчової до металообробної. Моделі різняться між собою різними радіусами робочої зони та швидкістю зап'ястя. Маніпуляційних роботів серії LR Mate (рис. 4.4) [18] можна інтегрувати з інтелектуальними системами (наприклад, системами технічного зору та датчиками зусилля), збільшуючи їхню точність і продуктивність, а також оснащувати додатковим обладнанням для зварювання, фарбування або роботи в чистій кімнаті.

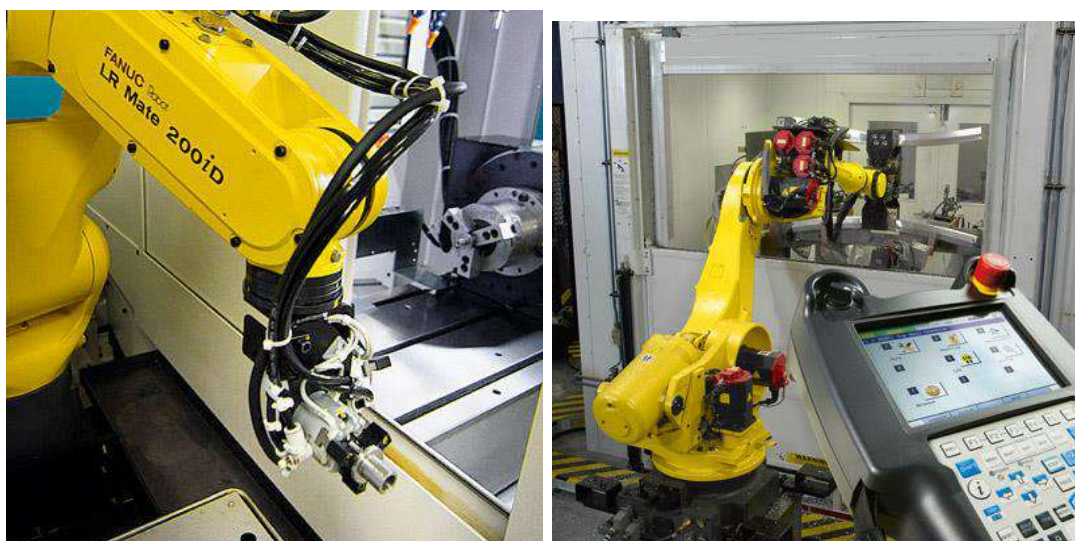


Рисунок 4.4 – Роботи серії LR Mate [18]

5. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Призначення деталі «Корпус» надійно фіксувати елементи датчика у корпусі та міцно його приєднати до вихідної рухомої ланки консолі. При роботі корпус повинен витримувати зусилля на згин до 1000 Н. Розрахунок деталі «Корпус» на міцність проведено за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX. З початку для проведення розрахунку було створено 3D модель деталі (рис. 5.1)

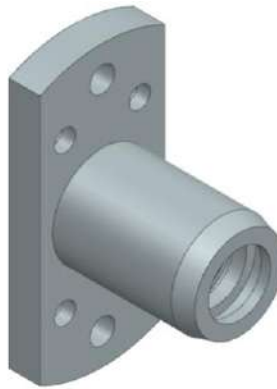


Рисунок 5.1 – Модель деталі

Потім модель корпусу для виконання розрахунку було розбито на сітку кінцевих елементів (рис. 5.2).

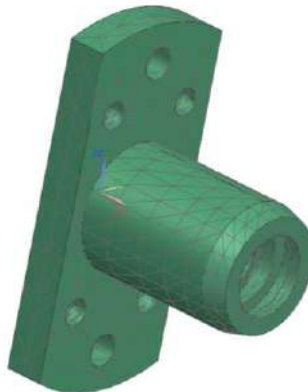


Рисунок 5.5 – Модель деталі розбита на сітку кінцевих елементів

5.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

В місцях кріплення корпусу до консолі по чотирьом отворам було накладено обмеження руху. А по циліндричній частині було прикладене зусилля згину (рис. 5.3).

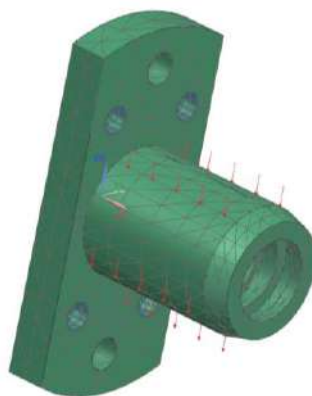


Рисунок 5.3 – Схема прикладення обмежень

Після виконання розрахунку в програмному забезпеченні Siemens.NX напружено-деформованого стану корпусу було отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 5.4).

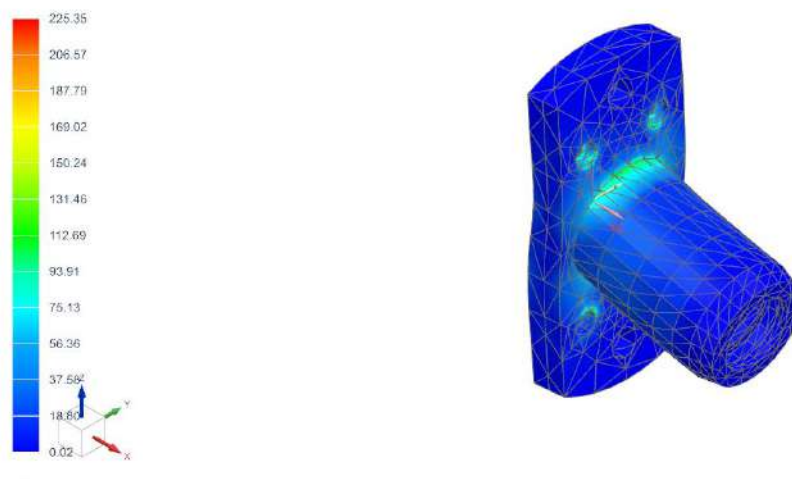


Рисунок 5.4 – Результат розрахунку напружено-деформованого стану

5.3 Оптимізація геометрії деталі

Проведений розрахунок напружено-деформованого стану деталі «Корпус» виявив небезпечний переріз, який знаходиться біля основи циліндричної частини. Максимальне напруження в цьому перерізі дорівнює 225,35 МПа.

Перевірка запасу міцності деталі проводимо по розрахунку коефіцієнту запасу міцності, який визначається за наступною формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} \quad (5.1)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності для сталі 14X17H2 $[\sigma]=635\text{МПа}$ [6];

$\sigma_{\max}$ – максимальне напруження.

$$k = \frac{635}{225,35} = 2,8$$

Проведена перевірка виявила 2,8 рази перевищення запасу міцності деталі «Корпус». Тому конструкцію деталі ті її розміри можна вважати прийнятими.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» було замінено обробку на універсальних токарних верстатах обробкою на верстатах з ЧПК (табл. 6.1). Розрахунок здійснимо згідно [19].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія			
Модель верстата	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	Schaublin 125 RT-ID16186	Schaublin 125 RT-ID16186	Schaublin 125 RT-ID16186	Schaublin 125 RT-ID16186
Штучний час $t_{шт}$, хв	15	15	10	10	8	8	3,63	4,73	1,87	10,23
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	107152						569788			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань H_a , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	13	13	13	13	13	13	12	12	12	12

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_6 \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

де m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі;

t_{umi} – норма штучного часу виконання i -ої операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

K_6 – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $K_6=0,39$;

$k_{дон}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{дон.} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{дон}$	$k_{соц}$	$З_о$, грн
010	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
015	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
020	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
025	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
030	Токарна	8	76,6	1,2	1,4	17,16
035	Токарна	8	76,6	1,2	1,4	17,16
					Σ	141,56

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{дон}$	$k_{соц}$	$З_о$, грн
015	Токарна	3,63	57,5	1,2	1,4	5,84
020	Токарна	4,73	57,5	1,2	1,4	7,62
025	Токарна	1,87	57,5	1,2	1,4	3,01
030	Токарна	10,23	57,5	1,2	1,4	16,47
					Σ	32,94

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою:

$$З_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар.н}} \cdot Ч_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2028$ год;

m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{\text{тар}}$, грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_o$, грн
015	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
020	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
025	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
030	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	24,57
						Σ	98,29

Визначимо амортизаційні відрахування на обладнання за формулою:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{Ц_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

де $Ц_{\text{ін}ij}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, грн/шт;

$t_{\text{шт}ij}$ – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв;

η_m – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{\text{маш}}/t_{\text{шт}}$;

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв;

n_{in} – номенклатура інструментів на i -ої операції;

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.7, 6.8.

Таблиця 6.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	15	107152	14,2	4015	0,95
015	Токарна	15	107152	14,2	4015	0,95
020	Токарна	10	107152	14,2	4015	0,63
025	Токарна	10	107152	14,2	4015	0,63
030	Токарна	8	107152	14,2	4015	0,51
035	Токарна	8	107152	14,2	4015	0,51
					Σ	4,17

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
015	Токарна	3,63	569788	12,2	4015	1,05
020	Токарна	4,73	569788	12,2	4015	1,36
025	Токарна	1,87	569788	12,2	4015	0,54
030	Токарна	10,23	569788	12,2	4015	2,95
					Σ	5,9

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	Найменування інструменту	C_i , грн	n_{in}	T , хв	n_j	η_{MI}	S_{in} , Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	15	Різець прохід.	150	2	60	10	0,4	1,36

Продовження табл. 6.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
015	Токарна	15	Різець. прохід.	180	2	60	10	0,4	1,64
020	Токарна	10	Свердл.	250	2	60	12	0,4	1,28
025	Токарна	10	Різець. розт.	200	1	45	20	0,4	0,85
030	Токарна	8	Різець. прохід	250	2	60	12	0,4	1,03
035	Токарна	8	Різець. канав.	150	1	45	20	0,4	0,51
								Σ	6,66

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{мп}	S _{ін} грн
015	Токарна	3,63	Різець прохід.	350	1	180	4	0,4	0,56
020	Токарна	4,73	Різець прохід.	200	1	180	4	0,4	0,20
			Свердл.	250	1	180	4	0,4	0,28
025	Токарна	1,87	Різець прохід.	150	1	180	4	0,4	0,12
030	Токарна	10,23	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,67
			Різець розт.	350	1	180	4	0,4	0,31
			Різець канав.	300	1	180	1	0,4	0,74
								Σ	2,89

Визначимо витрати на електроенергію за формулою:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_W \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

k_q – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$ – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу,
 $k_w=1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_g – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт},$ хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_b	S_e
010	Токарна	15	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,52
015	Токарна	15	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,52
020	Токарна	10	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,35
025	Токарна	10	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,35
030	Токарна	8	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,88
035	Токарна	8	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,88
										Σ	15,5

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт},$ хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_b	S_e
015	Токарна	3,63	3,45	12	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,94
020	Токарна	4,73	3,45	12	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,52
025	Токарна	1,87	3,45	12	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,00
030	Токарна	10,23	3,45	12	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	5,46
										Σ	10,92

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.6)$$

де C_{mo} – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$C_{то}$, грн	K_p	C_p	S_p , грн
010	Токарна	107152	0,02	0,64	0,69
015	Токарна	107152	0,02	0,64	0,69
020	Токарна	107152	0,02	0,64	0,69
025	Токарна	107152	0,02	0,64	0,69
030	Токарна	107152	0,02	0,64	0,69
035	Токарна	107152	0,02	0,64	0,69
				Σ	4,11

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$C_{то}$, грн	K_p	C_p	S_p , грн
015	Токарна	569788	0,02	0,78	4,44
020	Токарна	569788	0,02	0,78	4,44
025	Токарна	569788	0,02	0,78	4,44
030	Токарна	569788	0,02	0,78	4,44
				Σ	17,78

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ін} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (6.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад та поломки інструменту, $\varphi = 1,3$;

$C_{гн}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ін}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{ін} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{ін} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_m – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{гн}$, грн/год	n_i	$t_{ін}$, хв	K_T	T_M	m	S_n грн
015	Токарна	Різець прохід.	3,2	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
020	Токарна	Різець прохід.	2,2	50,9	6	4	0,9	180	1	0,05
		Свердл.	1,8	50,9	6	4	0,9	180	4	0,01
025	Токарна	Різець прохід.	1,6	50,9	6	4	0,9	180	1	0,04
030	Токарна	Різець прохід.	6,2	50,9	6	4	0,9	180	4	0,03
		Різець розт.	2,2	50,9	6	5	0,9	180	4	0,02
		Різець канав.	1,6	50,9	6	5	0,9	180	1	0,04
									Σ	0,2

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг} \quad (6.8)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{н1} = 141,56 \cdot 0,2 = 28,31 \text{ грн}$$

$$I_{н2} = 32,94 \cdot 0,2 = 22,53 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у табл. 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	141,56	32,94
Заробітна плата наладчика	Z_n		98,29
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	4,17	5,9
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	6,66	2,89
Витрати на електроенергію	S_e	15,5	10,92
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	4,11	17,78
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,2
Витрати інші	I_n	28,31	6,59
Технологічна собівартість	C_T	200,31	175,51

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою:

$$E_{ур} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{ур} = (200,31 - 175,51) \cdot 2000 = 49600 \text{ грн}$$

Згідно проведених розрахунків оцінки очікуваної економічної

ефективності впровадження вдосконаленої технологічної обробки деталі «Корпус» з заміною обробки на універсальних верстатах обробленням на верстатах з ЧПК дає змогу зекономити 185740 грн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Вибір системи освітлення дільниці по виготовленню корпусів

Для системи освітлення дільниці по виготовленню корпусів застосовуємо комбіноване (загальне поєднане з місцевим) освітлення 600 Лк, згідно з розрядом зорових робіт, фону, контрасту об'єкта з фоном, системи освітлення. [20]. При комбінованому освітленні доля загального складає $E_n=200\text{Лк}$.

У якості джерел штучного освітлення використовуємо лампи газорозрядні дугові ртутні люмофорні (ДРЛ) 1000 з світловим потоком $\Phi_{\text{л}}=59000$ лм та потужністю 1000Вт. Газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ у системі загального освітлення в залежності від потужності використовуються на висоті 6–12 м.

Обираємо тип світильника РСП: Р – ртутна лампа типа ДРЛ; С – підвісна; П – для виробничих приміщень. Для обраних ламп з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і класу освітлювального приміщення за вибухопожежонебезпекою [20]. Світлотехнічні характеристики світильників становлять: відношенням світлового потоку, що випромінюється світильником у нижню півсферу до повного світлового потоку світильника становить 80%; напівширока крива сили світла. Світильники, за своїм конструктивним виконанням, згідно ГОСТ 14254–80 мають ступінь захисту IP23. Застосовуємо коефіцієнт світильника $L/h=1,6$ [20]. Обираємо коефіцієнт запасу рівним $k_3=1,6$, який враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення [20]. Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення при цьому дорівнює $z=1.15$ [20].

Коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення дільниці приймаємо: стеля – $\rho_{\text{с}}=70\%$; стіни – $\rho_{\text{ст}}=50\%$; підлога – $\rho_{\text{п}}=30\%$. Чисельне значення індексу приміщення визначаємо за рівнянням:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (7.1)$$

де А – довжина приміщення, А=54 м;

В – ширина приміщення, В=18 м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, h=8 м.

$$i = \frac{54 \cdot 18}{6,2(54 + 18)} = 2,2$$

Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p)(L/h)} \quad (7.2)$$

$$N_p = \frac{18}{(8 - 0.8)1.6} = 1.6 \rightarrow 2$$

Максимально припустиму відстань між рядами світильників дорівнює:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} \quad (7.3)$$

$$L_{max} = \frac{18}{2} = 9\text{м}$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею дорівнює:

$$h = \frac{L_{max}}{L/h} \quad (7.4)$$

$$h = \frac{9}{1.6} = 6.6\text{м}$$

Висота звисання світильника від стелі (рис. 7.1) дорівнює:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (7.5)$$

$$h_3 = 8 - 0,8 - 5,6 = 1,6\text{м}$$

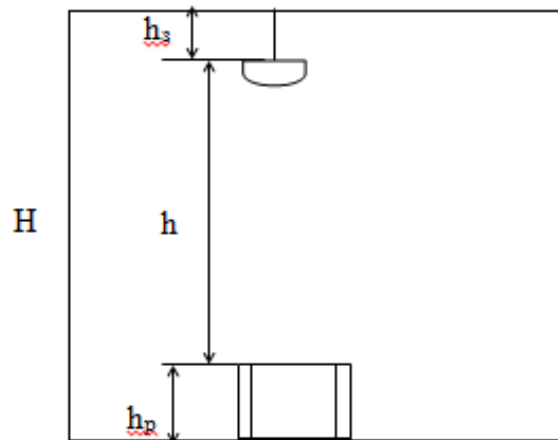


Рисунок 7.1 – Схема розміщення світильників над робочою поверхнею.

Визначимо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні згідно формули:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n S k_3 z}{\eta} \quad (7.6)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 54 \cdot 18 \cdot 1,6 \cdot 1,15}{0,65} = 550301,5\text{лм}$$

Загальна кількість світильників:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} \quad (7.7)$$

$$N^* = \frac{54 \cdot 18}{9^2} = 12$$

Розрахунковий світловий потік лампи визначимо згідно формули:

$$\Phi_L^* = \frac{\Phi_\Sigma}{N_L} \quad (7.8)$$

де N_L – загальна кількість ламп у приміщенні

$$N_L = N^* n$$

де n – кількість ламп у світильнику, $n=1$

$$N_L = 12 \cdot 1 = 12$$

$$\Phi_L^* = \frac{550301,5}{12} = 45858,5 \text{ лм}$$

Коефіцієнт пропорційності дорівнює:

$$m = \frac{\Phi_L^*}{\Phi_L} \quad (7.9)$$

$$m = \frac{45858,5}{59000} = 0.78$$

Оптимальна кількість світильників у приміщенні дорівнює:

$$N = N^* m \quad (7.10)$$

$$N = 12 \cdot 0.78 = 9,4 \rightarrow 10$$

Визначимо загальну розрахункову освітленість E_p згідно формули:

$$E_p = \frac{\Phi_L N_{\phi l} \eta}{S k_3 z} \quad (7.11)$$

де $N_{\phi l} = N_\phi \cdot n$ – фактична кількість ламп у приміщенні.

$$E_p = \frac{59000 \cdot 10 \cdot 0,65}{18 \cdot 54 \cdot 1,6 \cdot 1,15} = 214$$

$$E_p = 214 \text{ Лк} = (-10\% \dots +20\%) \cdot 200 \text{ Лк}$$

Загальна потужність освітлювальної установки дорівнює:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{фл}} P_{\text{л}} \quad (7.12)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність вибраної стандартної лампи

$$P_{\Sigma} = 10 \cdot 1000 = 10000 \text{ Вт}$$

Ескіз розташування світильників на плані приміщення, враховуючи розмір світильників зображений на рис. 7.2.

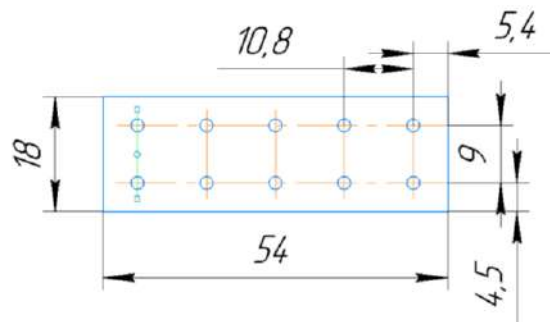


Рисунок 7.2 – Схема розміщення світильників у виробничому приміщенні:

ВИСНОВКИ

Було розроблено технологічний процес виготовлення тонкостінної деталі «Корпус». Було економічно обґрунтовано отримання заготовки на КГШП, розраховано масу заготовки 0,14 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,21. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 800 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення, економія склала 49600 грн.

Для токарної, фрезерної та свердлильної операцій з ЧПК були розроблені керуючі програми в програмному забезпеченні NX.

Автоматизовано токарні операції шляхом застосування промислових роботів FANUC.

Було спроектовано робоче пристосування для свердлильної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття зовнішнього діаметра.

Досліджено методи боротьби з вібраціями при розточуванні отворів в тонкостінних корпусних деталях. Проведено обґрунтування та дослідження різних методів боротьби з вібраціями, які виникають під час розточування отворів в тонкостінних корпусних деталях. Серед розглянутих підходів для обробки деталі «Корпус» прийняте використання оправок із вбудованою антивібраційною системою.

Спроектовано систему освітлення ділянки по виготовленню корпусів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Решение актуальных проблем при обработке с длинным вылетом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.secotools.com/article/89275?language=ru> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.
2. Леонов С.Л. Влияние деформаций, износа инструмента и вибраций на шероховатость при растачивании. / Леонов С.Л., Шаяхметов Е.Я. // Технические науки – от теории к практике. 2016. – Т. 8. – №56. – С. 82-88.
3. Антивибрационные расточные резцы со сменными токарными головками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iscar.de/newarticles.aspx/countryid/33/newarticleid/2344> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.
4. Жесткость и вибрации при токарной обработке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stankomach.com/o-kompanii/articles/zhestkost-i-vibracii-pri-tokarnoj-obrabotke.html> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.
5. Антивибрационные инструменты, борштанги, оснастка или простым языком о сложных понятиях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://carbide-tool.ru/damping_vibration_tools (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.
6. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
7. Богуслаев В.О. Основы технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаев, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
8. ГОСТ 14.312-74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.

9. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.

10. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.

11. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.

12. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.

13. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.

14. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

15. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

16. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальностей: 131 «Прикладна механіка» освітня програма «Технології машинобудування» 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання /укл.: Е.В. Вишнепольський, О.Б. Козлова – Запоріжжя: НУЗП, 2020. – 70 с.

17. Промислові роботи FANUC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.fanuc.eu/ua/uk/%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.

18. A Range of Recent FANUC Robotics Projects [Electronic resource]. – Regime of access: <https://www.pattiengineering.com/blog/range-recent-fanuc-robotics-projects/> (date of the application: 13.11.2023). – Header from the screen.

19. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 41 с.

20. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с., 3 рис., 12 табл.

ДОДАТОК А

Визначення маси деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення Simence.NX

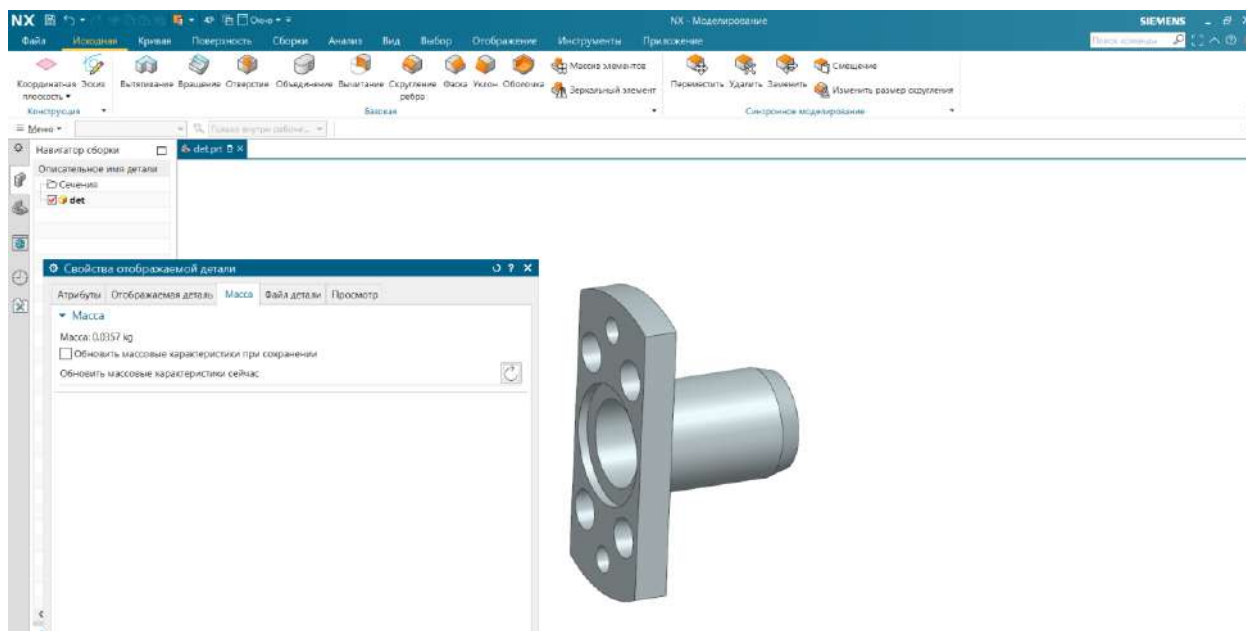


Рисунок А.1 – Маса деталі

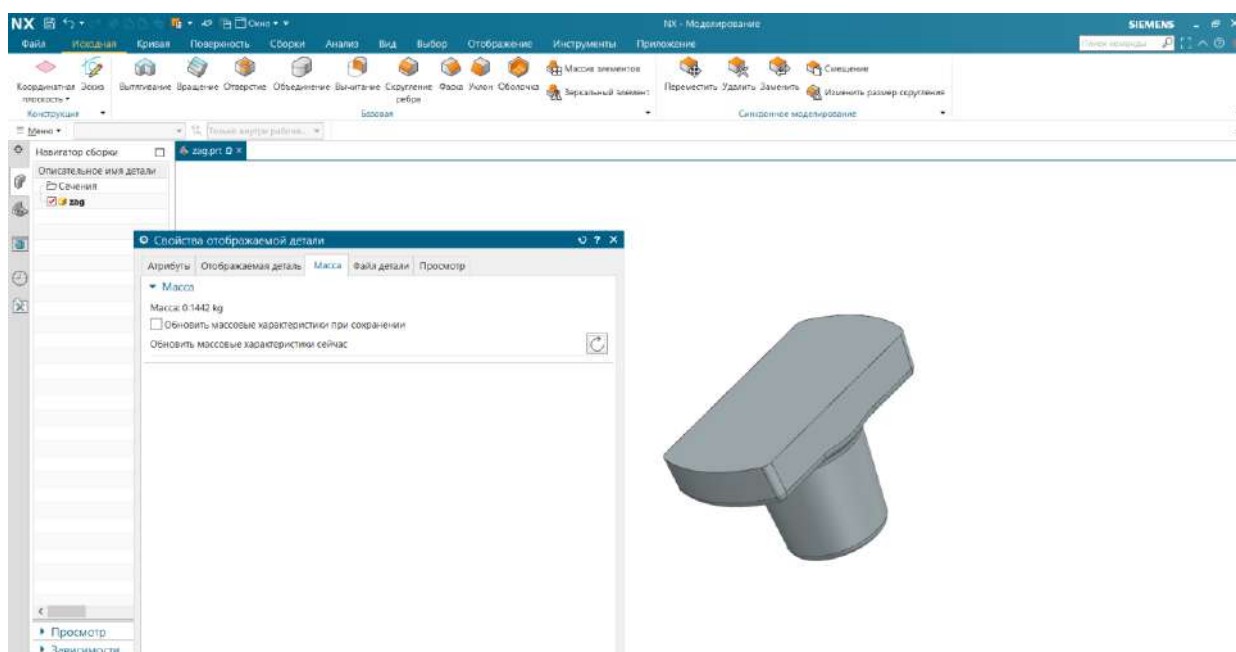


Рисунок А.2 – Маса штамповки на КГШП

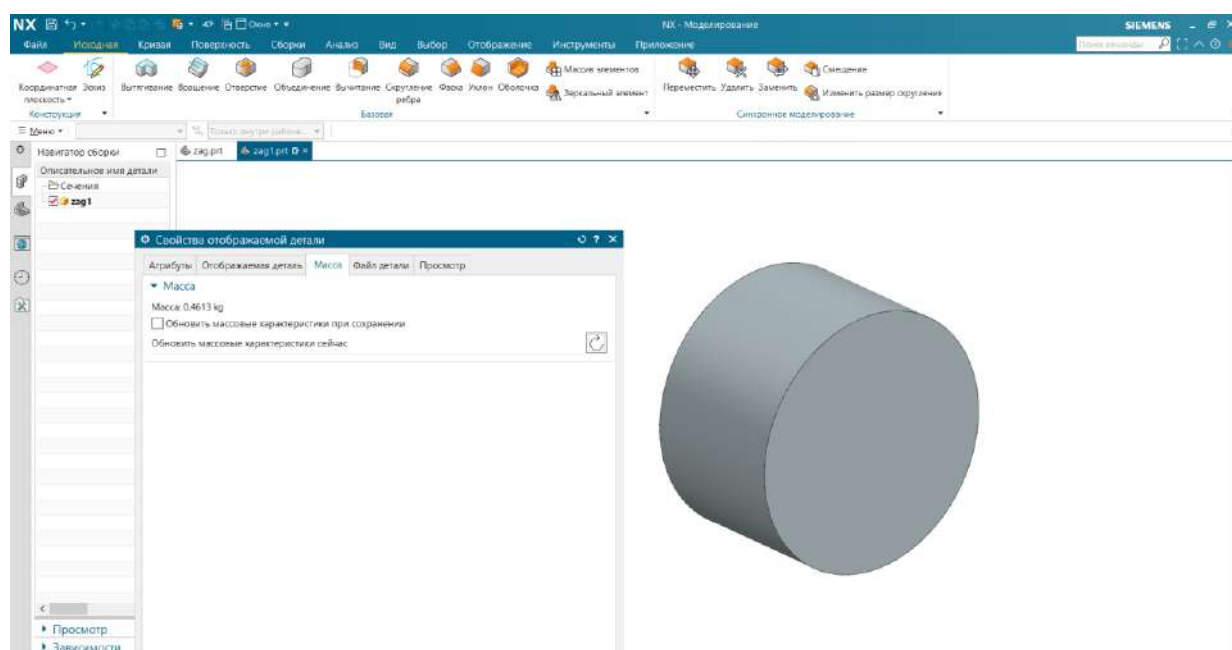


Рисунок А.3 – Маса заготовки з прокату

ДОДАТОК Б Специфікація робочого пристосування

Перед. примен.		Формат	Знак	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
					НУЗП 293226.002	Складальне креслення		
						<u>Сборочные единицы</u>		
				1		Корпус	1	
						<u>Детали</u>		
				2		Плита	1	
				3		Упор	1	
				4		Призма	2	
				5		Палец	1	
				6		Планка	1	
				7		Корпус	1	
				8		Корпус	1	
				9		Штак	1	
				10		Коромисло	1	
				11		Штуцер кутовий	1	
				12		Штуцер	1	
				13		Кришка	1	
				14		Цапфа	1	
				15		Вісь	3	
		НУЗП 293226.002						
		Изм./лист	№ докум.	Подп.	Дата			
		Разработ.	Винченко					
		Проб.	Тришин					
		Н.контр.	Дядя					
		Утв.	Дядя					
		Пристосування для свердління 2х отворів під різьбу $\Phi 3,3\text{мм}$				Лист	Лист	Листов
						1	1	2
						НУЗП		
						зр. М-112м		
		Копирвал				Формат А4		

[illegible]

ДОДАТОК В

Специфікація контрольного пристосування

Формат Зона Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.				
		Документация		
	НУЗП 402153.002	Складальне креслення	1	
Спроб. №		Сборочные единицы		
	1	Корпус лівого центру	1	
	2	Корпус правого центру	1	
	3	Стійка індикатора	1	
	4	Ручка	1	
Підп. і дата		Детали		
	4	Основа	1	
	6	Плита	1	
Инд. № д.д.д.				
Взам. инд. №		Стандартные изделия		
	7	Гвинт М10х40 ГОСТ 1491-70	4	
	8	Штифт 10х50 ГОСТ 3128-70	2	
Підп. і дата				
Инд. № подл.	НУЗП 402153.002			
	Изм. / лист	№ докум.	Подп.	Дата
	Разраб. Винченко			
	Проб. Тришин			
	Н.контр. Дядя			
Инд. № подл.	Утв. Дядя			
Пристосування для контролю биття			Лист 1	Листов 1
			НУЗП М-112м	

Контроль

Формат А4