

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

перший (бакалаврський)
(освітньо-науковий рівень)

на тему «Проєктування технологічного процесу виготовлення
вала-шестірні 14.01.05 фрезерного верстата моделі
6Р81Г»

Виконав: студент IV курсу, групи ВІ-91/1
спеціальності: _____
133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: _____
«Металорізальні верстати та системи»
(назва освітньої програми)

Олександр ГРИЦЕНКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Павло КУШНІРОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Андрій ДОВГОПОЛОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2023 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

«Сумський державний університет»

Інститут, факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
Освітньо-науковий
рівень перший (бакалаврський)
(назва)
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)
Освітня програма «Металорізальні верстати та системи»
(назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

Віталій ІВАНОВ

«___» _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Гриценко Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проектування технологічного процесу виготовлення
вала-шестірні 14.01.05 фрезерного верстата моделі 6P81Г

керівник проєкт Кушніров Павло Васильович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «04» квітня 2023 року № 0338 -VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «01» червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

3.1 Робоче креслення деталі «вал-шестірня 14.01.05».

3.2 Річний обсяг випуску деталей – 1000 шт.

3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «вал-шестірня 14.01.05».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі.

4.2 Розроблення робочого креслення заданої деталі

4.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

4.4 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї

4.5 Розроблення технологічного процесу виготовлення заданої деталі

4.6 Проектування верстатного пристрою

4.7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення вихідної заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою

6. Інша конструкторська та технологічна документація

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання « 01 » 03 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапу кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	2	3	4
1	Технологічна частина	20.04	
2	Проектування верстатного пристрою	25.04	
3	Оформлення пояснювальної записки	15.05	
4	Додатки (креслення деталі, розрахунок припусків, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях, специфікації на верстатний пристрій, публікації)	20.05	
5	Оформлення пояснювальної записки	28.05	
66	Оформлення презентації в PowerPoint	05.06	

Студент

_____ (підпис)

Керівник роботи (проєкту)

_____ (підпис)

Олександр ГРИЦЕНКО

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Павло КУШНІРОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Шаблон за версією 02
Затверджено наказом
№ 0298-І від 17.04.2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня *бакалавр*
(бакалавр / магістр)

зі спеціальності _133 «Галузеве машинобудування»,
освітньо-наукової програми «Металорізальні верстати та системи»
на тему: *Проектування технологічного процесу виготовлення
вала-шестірні 14.01.05 фрезерного верстата моделі 6Р81Г*

Здобувача (ки) групи ВІ-91/1 Гриценка Олександра Олександровича
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

_____ *Олександр ГРИЦЕНКО*
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник _____ доцент, к.т.н., доцент *Павло КУШНІРОВ*

_____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант¹⁾ _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Суми – 2023

Примітки:

1) Зазначається за наявності

РЕФЕРАТ

Записка: 80 с., 18 табл., 26 джерел;

У рамках бакалаврської роботи було розроблено удосконалений технологічний процес виготовлення вала-шестірні консольно-фрезерного верстата моделі 6Р81Г. Тип виробництва задано дрібносерійним (партія деталей – 1000 шт.). Проведено аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі та аналіз технологічності корпусу; проаналізовано та вибрано спосіб отримання заготовки - поковка на гарячому штампувальному пресі. Розраховані припуски на механічне оброблення для поверхні $\varnothing 12\text{к}6$.

У даній роботі пропонується удосконалений технічний процес виготовлення визначеної деталі з використанням сучасних ЧПК-верстатів. Був проведений аналіз двох технологічних операцій, зокрема токарної з ЧПК (015) та фрезерної (025). Під час цього було обґрунтовано вибір схеми базування та закріплення заготовки, підібрано необхідне технологічне оснащення та верстатне обладнання, встановлено оптимальні режими різання та виконано нормування часу. Крім того, був спроектований верстатний пристрій. Графічна частина роботи містить креслення заготовки, креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення вала-шестірні, креслення верстатного пристрою та креслення операційного налагодження для обробки вала-шестірні.

Мета роботи: проектування технологічного процесу виготовлення вала-шестірні 14.01.05 фрезерного верстата моделі 6Р81Г;

Об'єкт досліджень: деталь вал-шестірня 14.01.05;

ВАЛ-ШЕСТИРНЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЗАГОТОВКА, ПРИПУСК, ІНСТРУМЕНТ, НОРМИ ЧАСУ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Аналіз службового призначення верстата, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов експлуатації.....	9
1.1 Принцип роботи та особливості конструкції верстата	9
1.2 Привід шпинделя.....	12
1.3 Коробка швидкостей.....	13
1.4 Коробка подач	13
2 Розроблення робочого креслення заданої деталі	17
3 Аналіз технологічності конструкцій деталі.....	19
4 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї	23
5 Розроблення технологічного процесу виготовлення заданої деталі.....	30
5.1 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхонь.....	32
5.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки.....	34
5.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів	42
5.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	45
5.5 Визначення режимів різання.....	49
5.6 Технічне нормування операцій.....	50
6 Проектування верстатного пристрою	52
Висновки	63
Перелік джерел посилання	64
Додаток А	
Додаток Б.....	
Додаток В	
Додаток Г	
Додаток Д	
Додаток Е	

Вступ

Машино будівництво є однією з ключових галузей технічного прогресу країни, оскільки воно значно впливає на створення матеріальної бази суспільства. Розвиток машинобудування передбачає використання сучасних технологій, таких як обчислювальна техніка та математичне моделювання процесів механічної обробки. Також використовуються верстати з ЧПК, а також створюються гнучкі автоматичні системи на основі використання ЕОМ, що сприяє автоматизації між операційного транспорту, контролю та техніки. При проектуванні виробів використовуються різні системи проектування, такі як FUSION 360 забезпечує зручний діалог користувача з програмою, що дозволяє легко вибрати ріжучий інструмент, стадію обробки, а також забезпечує наочність операції по кадрам. На прикладі розробки технологічного процесу виготовлення деталі Вал-шестірня 14.01.05 з використанням передових технологій виготовлення можна знизити собівартість деталі та збільшити продуктивність. Для досягнення цієї мети можна використовувати верстати з ЧПК замість універсального обладнання, оскільки це спрощує трудомісткі операції. Також тип виробництва (малосерійне) спонукає до використання верстатів з ЧПК. Важливим аспектом є те, що технологічний процес має забезпечувати підвищення якості продукції, підвищення продуктивності праці та поліпшення умов праці працюючих.

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ВЕСТАТА, ВУЗЛА, ДЕТАЛІ. ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕТАЛІ ТА УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Горизонтальний консольно-фрезерний верстат 6Р81Г(рисунок 1.1) розроблено для обробки різноманітних виробів зі сталі, чавуну, кольорових металів та пластмас з використанням циліндричних, торцевих, дискових, кутових та спеціальних фрез[2].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд консольно-фрезерного верстата моделі 6Р81Г

1.1 Принцип роботи та особливості конструкції верстата

Для обертання шпинделя та здійснення механічних подач столу використовуються окремі електродвигуни. Стіл верстата 6Р81 може здійснювати швидкі переміщення у трьох напрямках.

Ручні та механічні приводи блоковані. Вимкнення механічних переміщень столу можливе за допомогою опор та ручного керування.

Для гальмування шпинделя використовується електромагнітна муфта. Завдяки підвищеній потужності електродвигунів та жорсткості верстата 6Р81

можливе оброблення виробів на високих швидкостях за допомогою твердосплавних інструментів.

Фрезерний верстат 6P81 може застосовуватись у виробництві одиночних виробів, малих серій та масовому виробництві.

Клас точності верстата - Н. Шорсткість обробленої поверхні відповідає значенням V4—V5.

Таблиця 1.1 – Основні параметри і розміри верстата 6Г81

Основні параметри	Данні
1	2
1. Клас точності за ГОСТ 8-71 та ГОСТ 8-82	Н
2. Розміри робочої поверхні столу (довжина х ширина), мм	1000 х 250
3. Найменша та найбільша відстань від осі шпинделя до столу	50...370
4. Відстань від осі шпинделя до хобота, мм	142
5. Число Т-подібних пазів Розміри Т-подібних пазів	3
6. Найбільше переміщення столу поздовжнє (вісь X), мм	630
7. Найбільше переміщення стола поперечне (вісь Y), мм	200
8. Найбільше переміщення столу вертикальне (вісь Z), мм	320
9. Найбільший кут повороту столу, град	±45
10. Ціна одного поділу шкали повороту столу, град	1
11. Частота обертання шпинделя, об/хв	31,5...160

Продовження таблиці 1.1

1	2
---	---

12. Кількість швидкостей шпинделя	18
13. Конус шпинделя	45
14. Швидкий хід столу поздовжній та поперечний, мм/хв	3150
15. Швидкий хід стола вертикальний, мм/хв	1050
16. Число ступенів робочих подач столу	16
17. Межі робочих подач. Поздовжніх та поперечних, мм/хв	25..800
18. Межі робочих подач. Вертикальних, мм/хв	8,3...266,7
19. Електродвигун приводу головного руху, кВт	5,5
20. Електронасос охолоджувальної рідини Тип	X14-22M
21. Електронасос охолоджувальної рідини, кВт	0,12
22. Продуктивність насоса СОЖ, л/хв	22
23. Габарити верстата (довжина ширина висота), мм	1480 x 1990 x 1630
24. Маса верстата, кг	2280

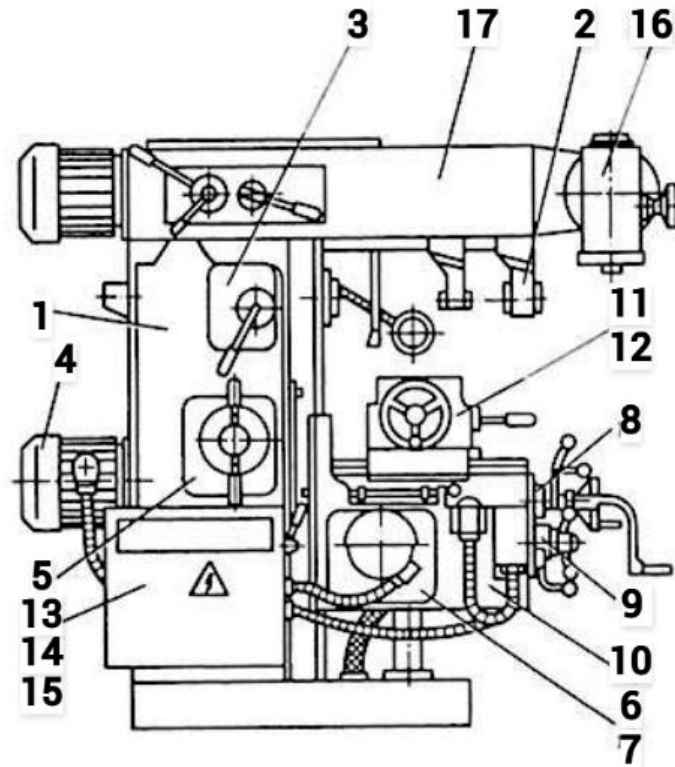


Рисунок 1.2 - Розташування складових частин консольно-фрезерного верстата 6P81Г

1. Станина
2. Серезки
3. Привід шпинделя
4. Коробка швидкостей
5. Перемикання коробки швидкостей
6. Коробка подач
7. Редуктор
8. Коробка реверсу
9. Перемикання подач
10. Консоль
11. Стіл
12. Система змащення столу та консолі
13. Система охолодження
14. Електрошафа
15. Електроустаткування

1.2 Привід шпинделя

Передача обертання шпинделя здійснюється за допомогою клинопасової передачі, яка розташована в задній частині станини під захисною кришкою. Обертання передається від шківів, що має спільну вісь зі шпинделем, за допомогою кулачкової муфти або двох зубчастих передач. Опору шпинделя забезпечують радіально-завязані роликові підшипники: два розташовані спереду і один кульковий в задній опорі. Регулювання зазору в передніх підшипниках можливе лише при повному розбиранні шпинделя. Інформацію щодо цього процесу можна знайти в розділі "Регулювання верстатів".

1.3 Коробка швидкостей

Коробка швидкостей, має привід від електродвигуна, кріпиться до станини за допомогою фланцевого з'єднання. При цьому корпус коробки входить у порожнину станини, яка заповнена мастилом. На корпусі коробки встановлений плунжерний мастильний насос, який приводиться в рух за допомогою ексцентрика. Для доступу до насоса з правого боку станини є вікно з кришкою. Перемикання швидкостей в коробці здійснюється за допомогою кулачка, який має криволінійні пази на своїх торцях. Вал кулачка з'єднується муфтою з валом шкали та рукоятками перемикання, які розташовані зовні станини. Сполучна муфта може бути вільно знята з вала кулачка, коли кришка перемикання відкріплюється від станини. При розбиранні коробки швидкостей важливо відмітити положення кулачка і положення шкали частоти обертання, щоб правильно відновити їх взаємозв'язок при збиранні.

1.4 Коробка подач

Коробки передач з'єднуються з корпусом двигуна гвинтами, і знаходяться в порожнині консолі. Шестірні різних передач зчіплюються між собою та з валом коробки передач, що дає можливість передавати різні швидкості руху до коліс автомобіля. Крім того, у коробці передач можуть бути такі функції як реверс, муфта зчеплення та прискореного ходу. У разі необхідності, такі функції можуть бути включені ручним керуванням через рукоятки, що знаходяться на консолі водія. Для перемикання передач в коробці передач використовується ковзний механізм зі

шкалою та рукояткою перемикання. Цей механізм може бути укріплений спереду консолі та зніматися для зручності обслуговування. Перед розбиранням коробки передач, необхідно правильно відзначити взаємозв'язок шкали передач та положення ковзного механізму, щоб зберегти його налаштування та зібрати коробку передач правильно.

Під час виготовлення деталі необхідно враховувати внутрішні напруження, тому вона піддається термічній обробці з метою їх зняття (48...52HRC). Основні елементи деталі представлені на зображенні.

Вал-шестірня 14.01.05 (позиція на рисунку) входить до складу коробки подач консольно-фрезерного верстата 6P81Г і призначений для створення крутного моменту.

Вал має наступні характеристики:

Маса: 0,185 кг.

Матеріал: сталь 40Х ДСТУ 7806:2015.

Максимальні габаритні розміри:

Діаметр (D): 36,6 мм.

Довжина (L): 86 мм.

У процесі виготовлення даної деталі застосовується термообробка (48 ... 52 HRC), що дозволяє зняти внутрішні напруження. Основні базові поверхні деталі зображені на рисунку 1.2.

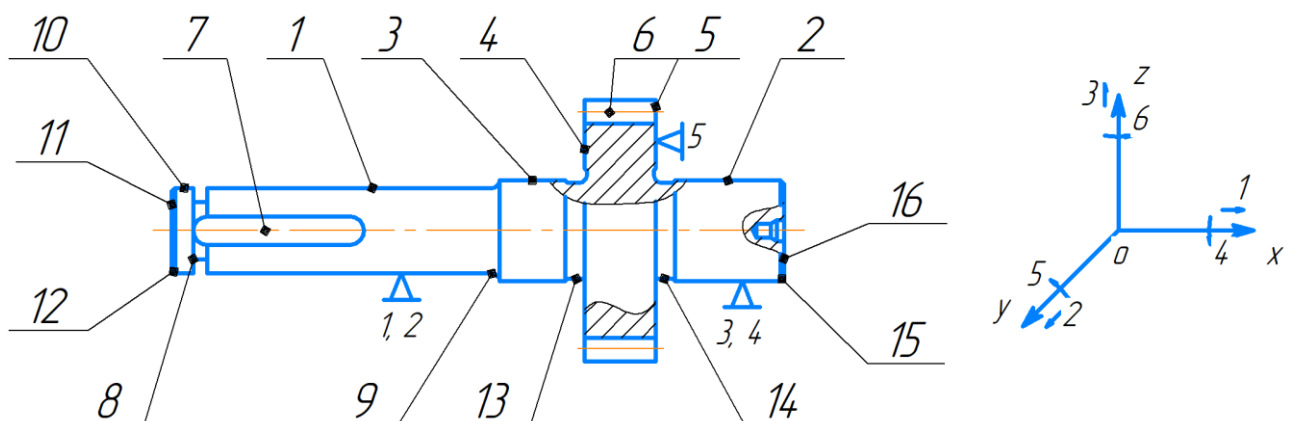


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі «Вал-шестірня»

Завдання поверхні 1, 2 та 5 є правильне розташування деталі в механізмі. По поверхні 1 вал запресований в підшипнику 201 (поз. 10), а по поверхні 2 деталь встановлена в кришці (поз. 5) з гарантованим зазором 0,005...0,030 мм, що забезпечує функціонування як підшипника ковзання. По поверхні 3 вал також повинен бути оброблений за допомогою деталі кришки (поз. 1) зі зазором 0,005...0,030 мм. Поверхні 4 та 5 повинні мати торцевий зазор між шестірнею та кришками (поз. 1, 5) від 0,010 до 0,020 мм, який забезпечується завдяки підбору та доведенню корпусу (поз. 6) і самого валу-шестірні (поз. 7). Усі ці поверхні взаємодіють для забезпечення рівномірного без заїдань обертання валу.

Ця конструкція зубчастого механізму складається з поверхні 6, яка має зубчасту форму для створення крутного моменту. Разом з зубами валу-шестірні (поз.8) при спільному обертанні переміщують рідину, що розташована в западинах зубів, в камеру нагнітання. На поверхні 1 також розташована манжета (поз.23) та колесо циліндричне прямозубе (поз.3). Через шпонку (поз.16), встановлену в паз валу по поверхні 7, крутний момент передається від колеса до механізму.

У канавку (поверхню 8) встановлена фіксуюча шайба (поз. 19), яка забезпечує надійну фіксацію колеса циліндричного прямозубого (поз. 3) на валу.

Дана деталь вузла має обмежену кількість ступенів свободи - п'ять. Основні конструкторські бази, що входять до комплекту, складаються з двох поверхонь: 1 та 2 - подвійна напрямна база (ПНБ), а також опорна база (ОБ), яка є 5 поверхнею.

Всі поверхні можна поділити за чотирма видами:

Виконавчі поверхні деталі є тими, що дозволяють їй виконувати свою основну функцію. Наприклад, зубчаста поверхня 6 забезпечує передачу крутного моменту від валу до шестірні, що дозволяє деталі виконувати своє службове призначення безпосередньо. Це може бути досягнуто за допомогою різноманітних механічних з'єднань, таких як зубчасті колеса, шестірні, гвинтові пари та інші. Всі ці елементи можуть мати різні форми та конструкції, що залежать від їх призначення та умов експлуатації.

Основні конструкторські бази - це поверхні, які визначають положення деталі у вузлі. В устрої такими базами є поверхні 1, 2 та 5, які є подвійною напрямною

базою (ПНБ) та опорною базою (ОБ) відповідно. Ці поверхні забезпечують взаємодію з іншими деталями в системі та дозволяють правильно розмістити деталь у механізмі.

За допомогою допоміжних конструкторських баз, які представлені на поверхнях 3, 4, 7 та 8, визначається положення та приєднання деталей до основної деталі. Ці поверхні забезпечують точне розміщення деталей та допомагають у забезпеченні правильної роботи вузла в цілому.

Поверхні 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 та 16 є вільними поверхнями, які не контактують з іншими деталями, але визначають важливі характеристики деталі, такі як геометрія, розмір, вага і жорсткість. Вони відіграють важливу роль у процесі конструювання, дозволяючи точно визначити параметри деталі та її взаємодію з іншими елементами виробу.

Таблиця 1.2 - Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступінь свободи	Найменування бази
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
Вакансія	IV	

Таблиця 1.3 - Матриця зв'язків

		X	Y	Z
ПНБ	L	0	1	1
	α	0	1	1
ОБ	L	1	0	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

2 РОЗРОБЛЕННЯ РОБОЧОГО КРЕСЛЕННЯ ЗАДАНОЇ ДЕТАЛІ

Конструктивні бази деталі, виходячи із конструктивних особливостей (рисунок 2.1) [3]:

- Основні поверхні є поверхні які призначенні для посадки під підшипники
- Виконавчі поверхні є поверхні призначені для передачі крутного моменту це шестірня, та шпонки.
- Допоміжні поверхні є поверхні циліндри, пази, кінці валу.

У даному випадку, інші поверхні деталі, які не контактують з поверхнями інших деталей, є вільними і визначають лише конструктивну форму деталі. Вони не мають впливу на з'єднання або взаємодію з іншими компонентами системи.

Дві базові поверхні, що використовується у нашому випадку, має діаметр $\varnothing 12_{k6}$, що вказує на геометричну форму поверхні та її точність. Ці поверхня використовується як вихідний пункт для вимірювання та встановлення розмірів і положення інших деталей. Невідпрацьована поверхня заготовки має діаметр

Обидві поверхні виконують важливу роль у формуванні деталі та впливають на її функціональні характеристики. Правильна обробка і забезпечення відповідних геометричних параметрів допоможуть досягти високої якості та взаємодії з іншими деталями в системі.

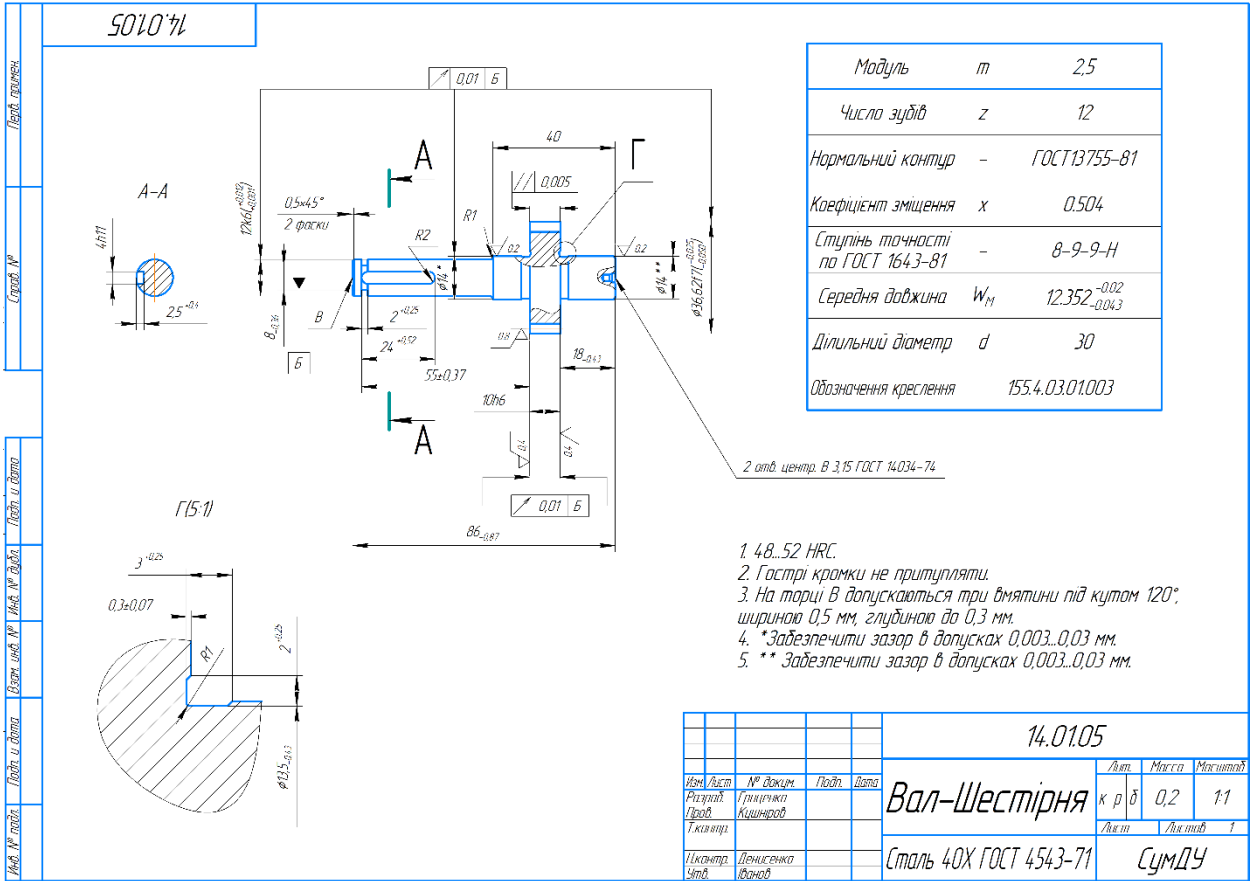


Рисунок 2.1 – Креслення деталі «Вал-шестірня»

3 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ ДЕТАЛІ

На основі вивчення робочого креслення деталі (рисунок 2.2) можна зробити висновок. Усі вимоги технічного завдання та деталей враховані, а на кресленні присутні всі необхідні проекції, розміри, допоміжні види та інші деталі, що дають повну інформацію про деталь та її параметри. Крім того, на кресленні вказані точні розміри та їх допустимі відхилення, а також відповідна шорсткість поверхні. Враховуючи всі ці фактори, можна зробити висновок, що деталь повинна бути виготовлена з високою точністю та відповідати всім вимогам технічного завдання. При аналізі можна відзначити наступне:

- всі поверхні вказуються з відповідними розмірами і точністю, відповідно до їх шорсткості, яка також проставлена на робочому кресленні;
- враховуючи службове призначення деталі, можна побачити, що конструктор правильно задав числові значення точності взаємного розташування її поверхонь, форми і точності виконання розмірів;
- матеріал, з якого виготовляється деталь, - сталь 40Х ДСТУ 7806:2015;
- після чорнової обробки деталь термічно обробляється, щоб зняти внутрішні напруження та отримати більш точні розміри на остаточній стадії обробки.

На кресленні деталі вказані допуски взаємного розташування поверхонь, які необхідні для забезпечення правильного функціонування деталі:

1й допуск передбачає радіальне биття зовнішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 12k6$; $\varnothing 36,62f7$; $\varnothing 14$ із зазором 0,005 ... 0,030 мм, по базі Б від вісі деталі з допуском 0,01 мм.

2й допуск визначає торцеве биття 10h6 торцевих поверхонь шестірні з відхиленням від вісі деталі на 0,01 мм, щодо бази Б.

3й допуск встановлює допуск паралельності торцевих поверхонь шестірні 10h6 з відхиленням 0,005 мм.

Допуск на торцеве та радіальне биття є важливим для правильного встановлення валу в вузлі. Це дозволяє забезпечити оптимальне взаємодію поверхонь валу і деталі, що його приймає. Допуск на паралельність торцевих поверхонь і торцеве биття щодо бази Б також важливий для забезпечення умов

співвісності при складанні вузла (рис. 2). Це означає, що поверхні торців мають бути паралельними одна одній та на однаковій відстані від вісі деталі. Дотримання цих допусків допомагає забезпечити надійну та стабільну роботу вузла та попередити можливі поломки або пошкодження.

Якість деталей залежить від якості їх поверхневого шару, яка вимірюється шорсткістю поверхонь. Для забезпечення необхідної шорсткості на робочому кресленні всі поверхні можна поділити на чотири групи з різними значеннями Ra: 6,3 мкм, 0,8 мкм, 0,4 мкм та 0,2 мкм. Кожна група відповідає певному рівню якості поверхневого шару деталі, і вибір конкретної групи залежить від вимог до якості та призначення деталі. Важливо дотримуватись вимог до шорсткості, щоб забезпечити оптимальну працездатність та тривалість експлуатації деталей.

Правильна обробка поверхонь деталі залежить від кількості стадій обробки (чорнова, напівчистова, чистова), а також жорсткості технологічної системи. Щоб забезпечити необхідну шорсткість поверхонь, необхідно забезпечити жорстке закріплення різального інструменту, заготовки та пристрій на верстаті. Окрім того, важливо використовувати правильну швидкість різання та подачу, а також належну якість різального інструменту. Всі ці чинники допомагають досягти необхідної шорсткості поверхні, що є важливим для досягнення необхідної якості деталі та її взаємодії з іншими елементами системи.

На кресленні даної деталі міститься 5 технічних вимог, серед яких:

1. Твердість поверхні після термообробки повинна бути в діапазоні 48...52 одиниці по Роквелу. Ця вимога необхідна для забезпечення міцності та зносостійкості деталі, оскільки вона буде піддається великим крутним моментам у вузлі, де вона використовується.
2. Гострі кромки необхідно залишити без притуплення. При обробці гострих кромок інструментом може виникнути ризик утворення задирок на циліндричній поверхні, які можуть призвести до подряпин по посадкових місцях з точною посадкою (в середньому 6 клас точності поверхні). Такі подряпини є неприпустимими, оскільки можуть знизити надійність та якість роботи вузла.

3. На торці В допускається наявність трьох вм'ятин під кутом 120° , шириною 0,5 мм та глибиною 0,3 мм. Це можливо внаслідок установки деталі в центрах під час технологічних операцій, що може залишити слід від рифленого центру. Хоча це може створювати незначні пошкодження поверхні, це допускається згідно з вимогами МКР.
 4. При обробці деталі 1141.013.16.000 необхідно забезпечити наявність зазору в межах від 0,005 до 0,030 мм. Ця технічна вимога дозволяє забезпечити необхідну функціональність та взаємодію з іншими елементами системи.
 5. При обробці деталі 1141.013.15.000 необхідно забезпечити наявність зазору в межах від 0,005 до 0,030 мм. Це дозволить забезпечити необхідну точність та функціональність деталі, а також взаємодію з іншими елементами системи.
- Пункти 4 і 5 передбачають необхідність підгонки двох розмірів $\varnothing 14$ мм з дотриманням зазору в межах 0,005 ... 0,030 мм для приєднання деталей.

Проте, до недоліків можна віднести відсутність пункту в технічних вимогах щодо допусків на вільні розміри, які зазначені на кресленні.

Тому, пропонується додати пункт: "Незазначені граничні відхилення розмірів по H14, h14, $\pm IT14 / 2$."

На основі вище перерахованих пунктів можна розробити базовий технологічний процес (таблиця 3.1) деталі «Вал-шестірня».

Таблиця 3.1 – Базовий технологічний процес

№ операції	Назва операції	Короткий зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
005	Обробка тиском	–	Верстат для гарячого штампування
010	Технічний контроль	–	Стіл ВТК

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
015	Токарна	Точити діаметри: $\varnothing 12,2$; $\varnothing 14,1$; $\varnothing 36,8$	16К20

		Точити фаски та канавки.	
020	Промивання	-	Спеціальні ванни
035	Технічний контроль	-	Стіл ВТК
040	Фрезерувальна	Фрезерування шпонкового паза ($v=4h11, l=24^{+0,25}$)	6Д91
045	Слюсарна	-	Слюсарний верстат
050	Зубофрезерна	Нарізання зубів шестірні ($m=2.5, z=12$)	5К301П
055	Слюсарна	-	Слюсарний верстат
060	Промивання	-	Спеціальні ванни
065	Термічна	-	Муфельна піч
070	Гідропіскоструйна	-	Спеціальна установка
075	Круглошліфувальна	Чистове шліфування поверхонь $\varnothing 12k6$; $\varnothing 14$; $\varnothing 36,62f7$.	ЗУ10В
080	Зубошліфувальна	-	5891С
085	Промивання	-	Спеціальні ванни
090	Технічний контроль	-	Стіл ВТК

4 ВИБІР СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВКИ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЕЇ

На сьогоднішній день заводські заготовки для виробництва отримують шляхом відрізання сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 (низьколегована сталь) з відповідного розміру прокату, за яким наступною виконується вільне кування на молотах. Цей метод, хоча і є поширеним, має деякі обмеження щодо точності розмірів отриманих заготовок. В результаті цього методу в поковках можуть бути помітні великі припуски та напуски. Необхідно зазначити, що спосіб отримання заготовок повинен бути максимально економічним при врахуванні заданого обсягу випуску деталей. Оскільки точність розмірів у даному методі виробництва є низькою, важливо забезпечити ефективність та економічність процесу, адаптуючи його до конкретних вимог та обсягів виробництва. Продовжуючи вибір способу отримання заготовок, виробництво має враховувати баланс між точністю розмірів, економічністю та придатністю для подальшої обробки деталей. Можуть бути розглянуті інші методи отримання заготовок, які дозволяють досягти більшої точності розмірів при збереженні економічності та відповідності обсягу виробництва.

При виготовленні заготовок, крім мінімальної металоємності та трудомісткості, також висуваються певні вимоги з точки зору подальшої механічної обробки. Деякі з цих вимог включають:

1. Мінімальні припуски на обробку: Зменшення припусків дозволяє знизити собівартість виробництва шляхом скорочення кількості проходів та переходів під час обробки. Це сприяє підвищенню продуктивності та ефективності процесу виготовлення.

2. Раціональне розташування ливарних і штампувальних ухилів: Правильне розташування ухилів у заготовках дозволяє забезпечити якісне формування деталей під час ливарних та штампувальних операцій. Це може включати оптимальне розташування виходів розплавленого металу або раціональну орієнтацію штампованих виробів для досягнення необхідної форми та якості.

3. Підвищена точність розмірів: Досягнення високої точності розмірів у заготовках є важливим для подальшої механічної обробки. Це дозволяє забезпечити належну взаємозамінність деталей, зменшити необхідність у додаткових обробках та удосконалити якість кінцевого виробу.

4. Мінімізація або повне усунення дефектного шару, який має вплив як на припуски, так і на стійкість різального інструменту. Дефектний шар може виникати під час обробки заготовок і мати негативний вплив на якість та точність виробу.

Одним з наслідків дефектного шару є збільшення припусків.

Це пов'язано з тим, що дефектний шар, як правило, має неправильну форму або нерівномірну поверхню, що вимагає більшого обсягу матеріалу для подальшої обробки з метою досягнення необхідних розмірів та форми деталі. З іншого боку, дефектний шар може впливати на стійкість різального інструменту. Наявність нерівностей, тріщин або нежелательних змін у структурі матеріалу заготовки може призводити до швидшого зносу або ламкості різального інструменту, що зменшує тривалість його служби та вимагає частішої заміни.

Дотримання цих вимог сприяє покращенню якості та ефективності виробництва заготовок, забезпечує економічні переваги та спрощує подальшу механічну обробку деталей.

Пропоную використати більш продуктивний метод отримання заготовки - штампування на КГШП (кривошипний гаряче штампувальний прес) та індукційний спосіб нагріву заготовки.

Штампування - це процес обробки металу шляхом впливу тиску, під час якого формування заготовки відбувається шляхом використання спеціального інструменту - штампа. Штампування дозволяє створювати заготовки складної форми з високою якістю поверхні. Використання КГШП для штампування має численні переваги.

При штампуванні на КГШП, добре спроектована конструкція штампів дозволяє зменшити зсув половин штампа, зменшити припуски (на 20...30%), напуски, штампувальні ухили (в 2-3 рази), а також допуски. Це призводить до збільшення коефіцієнта використання матеріалу та покращує якість та точність

отриманих деталей. Крім того, використання КГШП допомагає підвищити продуктивність праці, оскільки штампування на цьому пресі забезпечує швидке формування заготовок.

Індукційний спосіб нагріву заготовки також є ефективним, оскільки він дозволяє швидко і рівномірно нагрівати матеріал, забезпечуючи необхідну гнучкість та пластичність для штампування. Цей метод дозволяє досягнути оптимальних температур для формування заготовок і забезпечує високу якість та повторюваність процесу штампування.

Виконаємо розрахунок заготовки штамповки. Величина припусків і допусків на заготовку визначається по [10].

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріал заготовки - Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015

C - 0,36...0,44%

Cr - 0,8...1,1%

Si - 0,17...0,37%

Ni < 0,3%

Mn - 0,50...0,80%

Cn < 0,3%

1) Клас точності поковки - Т3 [10].

2) Група стали - М2 [10].

3) Коефіцієнт орієнтовною маси поковки для даної деталі: $K_P = 1,3...1,6$ [10]. Приймаємо $K_P = 1,5$

Розрахункова маса поковки, кг:

$$M_{\Pi} = m_d \cdot K_P, \quad (4.1)$$

де m_d - маса деталі (0,185 кг)

$$M_{\Pi} = 0,185 \cdot 1,5 = 0,277 \text{ кг}$$

4) Розміри фігури (вал), що описує поковку:

$$M_{\phi} = \frac{\pi \cdot D_{\phi}^2}{4} \cdot l_{\phi} \cdot \gamma$$

$$M_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 38,2^2}{4} \cdot 90,3 \cdot 7,85 \cdot 10^{-3} = 0,82 \text{ кг}$$

Відношення маси поковки до маси фігури, що описує:

$$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ф}}} = \frac{0,28}{0,82} = 0,34$$

5) Для $C > 0,32$ до $0,63$ включно ступінь складності $C2$ [10].

6) Вихідний індекс - 7 [10].

7) Додаткові припуски:

- зміщення по поверхні штампа - $0,1$ мм [10];

- відхилення від площинності і прямолінійності - $0,2$ мм [10].

8) Розміри поковки і її допустимі відхилення:

- діаметр $37 + (1,1 + 0,1) \times 2 = 39,4$ мм;

- діаметр $14 + (1,1 + 0,1) \times 2 = 16,4$ мм;

- діаметр $12 + (1,1 + 0,1) \times 2 = 14,4$ мм;

- товщина $40 + (1,1 + 0,2) \times 2 = 42,6$ мм;

- товщина $18 - 1,1 - 0,2 + 1,1 + 0,2 = 18$ мм;

- товщина $10 + (1,1 + 0,2) \times 2 = 12,6$ мм;

- довжина $86 + (1,1 + 0,2) \times 2 = 88,6$ мм

Припуски і допуски зведені в табл. 5.1.

9) Маса заготовки обчислюється за формулою, кг:

$$M_3 = V_3 \cdot \gamma \quad (4.2)$$

де V_3 —об'єм заготовки, як сума складових елементарних фігур, обчислюється за формулою:

$$V_3 = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$M_3 = 0,029 \cdot 7,85 = 0,23 \text{ кг}$$

Таблиця 4.1 - Припуски і допуски на заготовку, мм

Найменування поверхні	Розмір	Припуск на сторону	Допуски	Додаткові припуски	Розмір заготовка
Зовнішня	Ø37f7	1,1	+0,6 -0,3	0,1	39,4
Зовнішня	Ø14h6	1,1	+0,6 -0,3	0,1	16,4
Зовнішня	Ø12k6	1,1	+0,6 -0,3	0,1	14,4
Лінійна	40±0.31	1,1	+0,6 -0,3	0,2	42,4
Лінійна	18 _{-0.43}	1,1	+0,6 -0,3	0,2	18
Лінійна	10h6	1,1	+0,6 -0,3	0,2	12,6
Лінійна	86 _{-0.87}	1,1	+0,6 -0,3	0,2	88,6

Ескіз заготовки поковки наведений на рис.5.1.

На кресленні заготовки необхідно вказати наступні технічні вимоги:

1. Поковка Гр.ІІ - 285...331 НВ ДСТУ 2263-93.
2. Поковка штампована ДСТУ 2263-93 на КГШП, клас точності Т3, група стали М2, ступінь складності С2, вихідний індекс 7.
3. Допустима величина торцевого задирки 0,1 мм.
4. Зсув площині роз'єму штампа 0,1 мм. 5. Маркувати: номер замовлення, матеріал, номер позиції

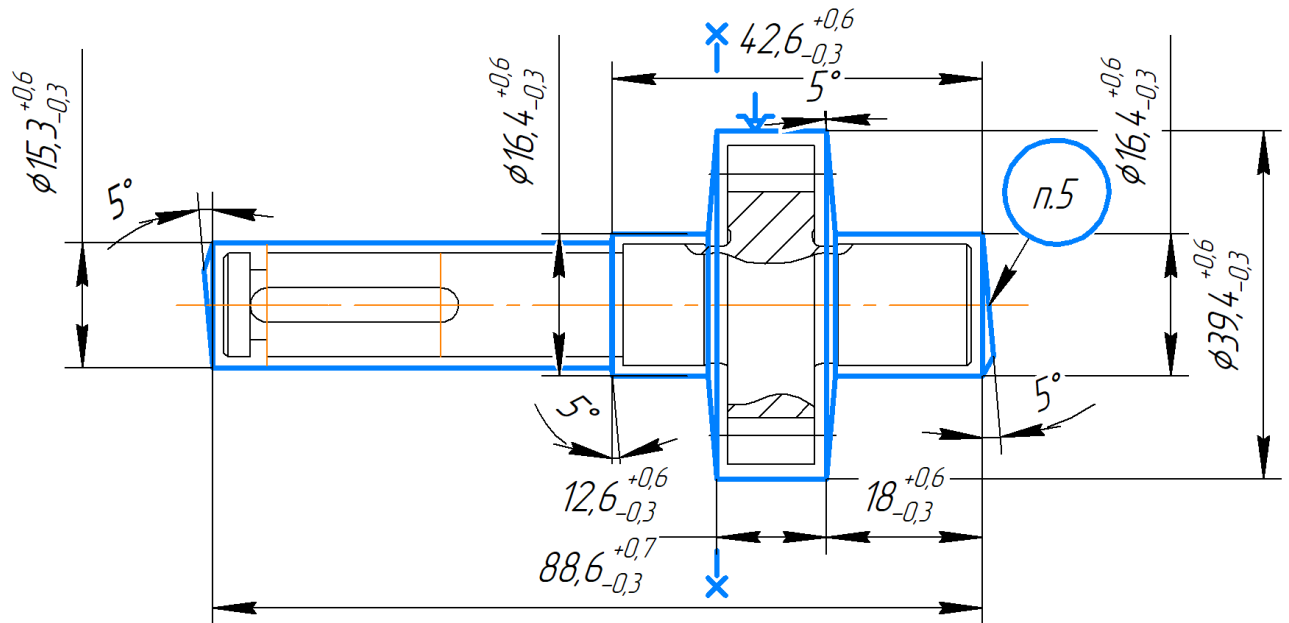


Рисунок 4.1 – Ескіз заготовки поковки

Розрахунок вартості заготовки обчислимо [7] за формулою, грн :

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} Q * k_t * k_c * k_b * k_m * k_n \right) - (Q - q) * \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (4.3)$$

де C_i – базова вартість 1 тонни заготовки, грн., $C_i = 43700$ грн.;

Q – маса заготовки, кг, $Q_{\text{загIII}} = 0,23$ кг; $Q_{\text{загK}} = 0,373$ кг;

k_t – коефіцієнт, що залежить від точності штамповок по [10], при нормальній точності приймаємо $k_t = 1$;

k_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності, по [10] група складності С2, тому $k_c = 0,87$ [7];

k_b – коефіцієнт, що залежить від матеріалу і маси штампування [7], $k_b = 2$ при $Q_2 = 0,23$ кг, $k_b = 1,64$ при $Q_1 = 0,373$ кг;

k_m – коефіцієнт, що враховує марку матеріалу штампування, $k_m = 1,13$ [7];

k_n – коефіцієнт, що враховує обсяг виробництва штамповок, $k_n = 0,8$ [7];

q – маса готової деталі, кг, $q = 0,185$ кг; $S_{\text{відх}}$ – ціна 1 тонни відходів, грн, $S_{\text{відх}} = 100$ грн.

$$S_{\text{загIII}} = \left(\frac{43700}{1000} 0,23 * 1 * 0,87 * 2 * 1,13 * 0,8 \right) - (0,23 - 0,185) * \frac{100}{1000} = 15,8 \text{ грн}$$

$$S_{\text{загK}} = \left(\frac{43700}{1000} 0,373 * 1 * 0,87 * 1,64 * 1,13 * 0,8 \right) - (0,373 - 0,185) * \frac{100}{1000} = 21 \text{ грн}$$

Собівартість штампованої заготовки нижче собівартості заготовки отриманої методом кування:

$$15,8 < 21$$

Визначимо річний економічний ефект від впровадження нового методу отримання заготовки куванням на КГШП:

$$E_{\text{заг}}=(S_{\text{загК}}- S_{\text{загШ}})*N \quad (4.4)$$

$$E_{\text{заг}}=(21-15,8)*1000=5200 \text{ грн}$$

Згідно з проведеними розрахунками, ефективність нового методу отримання заготовки становить 5200 гривень на рік.

5 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАДАНОЇ ДЕТАЛІ

Після детального аналізу базового технічного процесу було виявлено, що він в даний момент є дуже затратним і не економічним. Це викликає необхідність у впровадженні модернізованого технічного процесу (таблиця 5.1), який є економічно вигіднішим і технологічно більш ефективним порівняно з базовим.

Модернізований технічний процес дозволить покращити якість виготовлення продукту, знизити витрати на енергію та матеріали, скоротити час виробництва і забезпечити більш точне управління виробничим процесом. Це сприятиме зростанню ефективності виробництва, збільшенню конкурентоспроможності компанії і забезпеченню стійкого розвитку.

Таблиця 5.1 – Запропонований технологічний процес

№ операції	Назва операції	Короткий зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
005	Обробка тиском	Штапування	Верстат для гарячого штапування
010	Технічний контроль	-	Стіл ВТК
015	Токарна з ЧПК	Обробка циліндричних та торцевих поверхонь за два установа	Gildemeister CTX 400 S2
020	Промивання	-	Спеціальні ванни
025	Технічний контроль	-	Стіл ВТК
030	Фрезерна з ЧПК	Фрезерування шпонкового паза (v=4H11, l=24)	HAAS EC-1600ZT-5AX
035	Зубофрезерна з ЧПК	Нарізання зубів шестірні (m=2.5, z=12)	HAAS EC-1600ZT-5AX
040	Слюсарна	-	Верстат слюсарний
045	Промивка	-	Спеціальні ванни

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
050	Термічна обробка	-	Піч
055	Промивка	-	Спеціальні ванни
060	Технічний контроль	-	Стіл ВТК

Опис даного технологічного процесу:

005 Заготівельна операція –заготовка нагрівається до високої температури, що забезпечує йому пластичність. Потім нагрітій заготовці надається форма, застосовуючи штамп та матрицю. У процесі штампування матеріал стискається, а зайвий матеріал видаляється.

010 Контроль ОТК – здійснюємо контроль всіх розмірів заготовки відносно вимог, зазначених у кресленні.

015 Токарна операція з ЧПК – установ А: установлюємо на верстат. Заготовка повинна мати виступ від кулачків патрона, який складає 40 мм. Після установки проводимо операцію торцювання, додатково виконуємо центрування.

$\varnothing 14_{+0.003}^{+0.03}$ довжиною L=12 мм, шорсткість Ra = 0.2 мкм точим проточку $\varnothing 8$ мм, довжиною L=2мм та канавку $\varnothing 13,5$ мм за кресленням, та фаски за кресленням.

Проводимо обробку торцюванням $\varnothing 39,4$ мм, за кресленням.

Установ Б: оброблюємо поверхні діаметра $\varnothing 12k6$ довжиною L=46 мм, дотримуючись шорсткості Ra = 0.2 мкм, $\varnothing 14_{+0.003}^{+0.03}$ довжиною L=18мм шорсткістю Ra = 0.2 мкм, $\varnothing 36,62f7h$ довжиною 10h6 мм витримуючи шорсткість Ra = 0.8 мкм, та канавку $\varnothing 13,5$ мм за кресленням, та фаски за кресленням.

Використовується спеціалізований верстат Gildemeister CTX 400 S2, який забезпечує високу точність та якість обробки.

020 Промиваюча операція– промивання від залишків смакуючи-охолоджувальної рідини, та видалення залишків стружки та обрізів. Використовується спеціальне обладнання.

025 Контроль ОТК – здійснюємо контроль всіх розмірів заготовки відносно вимог, зазначених у кресленні.

030 Фрезерна операція з ЧПК – фрезеруємо шпоночний паз ($v=4H11$, $l=24$). Виконуємо операцію на верстаті HAAS EC-1600ZT-5AX.

035 Фрезерна операція з ЧПК – фрезеруємо модульною фрезою зубчасте колесо ($m=2.5$, $z=12$). Виконуємо операцію на верстаті HAAS EC-1600ZT-5AX.

040 Слюсарна операція – механічне притуплення гострих кромки по кресленню. Використовується слюсарний верстат.

045 Промиваюча операція– промивання від залишків смакуючи-охолоджувальної рідини, та видалення залишків стружки та обрізів. Використовується спеціальне обладнання.

050 Термічна обробка – загартовування валу-шестірни по кресленню. Використовувати спеціальне обладнання.

055 Промиваюча операція– промивання від залишків рідин які використовувалися під час термічної обробки та підготовки для наступної операції. Використовується спеціальне обладнання

060 Контроль ОТК – здійснюємо контроль всіх розмірів заготовки відносно вимог, зазначених у кресленні.

5.1 Розрахунок припусків на механічне оброблення поверхонь

Величина допуску має значний вплив на вартість виготовленої деталі. Надмірно великий допуск призводить до збільшення трудових витрат на виготовлення деталі. З іншого боку, надмірно малий допуск створює ризик отримати браковану деталь.

Розглянемо приклад розрахунку припуску для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 12k6$ при чистовому точінні. Необхідні данні для розрахунку на ЕОМ зведемо в таблицю 5.1. Значення R_{zi-1} та H_i визначаємо з [7,8]

- для поковки: $R_{zi-1} = 160$ мкм; $H_{i-1} = 200$ мкм;

- після чорнового точіння: $R_{zi-1} = 50$ мкм; $H_{i-1} = 50$ мкм;

- після напівчистового точіння: $R_{zi-1} = 25$ мкм; $H_{i-1} = 25$ мкм;

- після чистового точіння: $R_{zi-1} = 5$ мкм; $H_{i-1} = 10$ мкм.

Величини відхилень заготовки ρ_{i-1} розраховувалися за формулою з [7], мкм:

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\text{ВИГ}}^2 + \rho_{\text{ЗМ}}^2}, \quad (5.1)$$

де $\rho_{\text{ВИГ}}$ – величина вигину штамповки, мкм;

$\rho_{\text{ЗМ}}$ – величина зміщення ступенів штамповки, мкм.

$$\rho_{\text{ВИГ}} = \Delta_{\text{К}} * l = 500 \text{ мкм},$$

де $\Delta_{\text{К}}$ – питома кривизна заготовки на 1 мм довжини, мкм;

l – довжина, мм.

$$\rho_{i-1} = \sqrt{500^2 + 200^2} = 538,5 \text{ мкм},$$

Остаточні значення величин просторових відхилень визначаємо з урахуванням коефіцієнта уточнення K_y [7], мкм:

$$\rho_{\text{ост}} = \rho_{i-1} * K_y, \quad (5.2)$$

де $K_{y1} = 0,06$ – для чорнового точіння;

$K_{y2} = 0,04$ – для напівчистового точіння;

$K_{y3} = 0,02$ – для чистового точіння.

Результати:

$$\rho_{\text{точ.чорн.}} = 0,06 \times \rho_{\text{заг}} = 0,06 \times 538,5 = 32,3 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{точ.напівчист.}} = 0,04 \times \rho_{\text{заг}} = 0,04 \times 538,5 = 21,5 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{точ.чист.}} = 0,02 \times \rho_{\text{заг}} = 0,02 \times 538,5 = 10,77 \text{ мкм}.$$

Значення похибок установки у ε при обробці заготовки в самоцентруючому патроні рівні [7, 8]:

- для чорнового точіння 80 мкм;
- для напівчистового точіння 40 мкм;
- для чистового точіння 0 мкм;
- для круглого шліфування 0 мкм.

Для подальших розрахунків припусків і операційних розмірів заготовки використовується комп'ютерна система. Результати цих розрахунків наведені у (див. додаток В). З отриманих результатів видно, що припуски на діаметр $\varnothing 12\text{к6}$, обчислені за допомогою комп'ютерної системи, дещо більші, ніж зазначено у (див. додаток В).

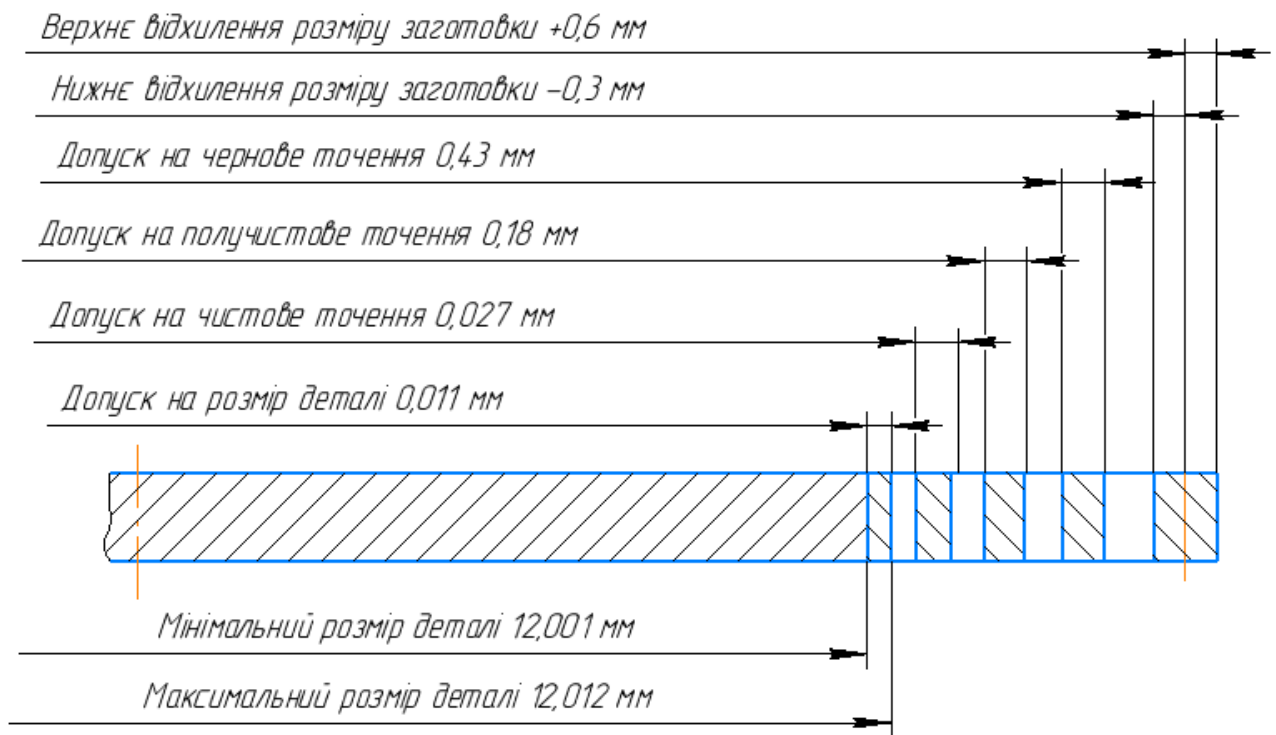


Рисунок 5.1 – Схема полів і допусків

5.2 Аналіз та обґрунтування схем базування й закріплення заготовки

Відповідно до модернізованого технологічного процесу, необхідно провести аналіз схем базування та закріплення даної заготовки на верстаті. Вибір правильної схеми базування та закріплення впливає не лише на якість і точність оброблених поверхонь, але й на вибір відповідного верстатного обладнання. При розгляді схеми базування необхідно враховувати принцип сталості, що передбачає однакове розташування базових точок, а також принцип єдності технологічної, конструкторської і вимірювальної баз. Значущими факторами також є зручність закріплення заготовок та можливість виконання багатьох інструментальних операцій на поверхнях заготовки.

Аналіз та обґрунтування схеми базування та закріплення заготовки на операції 015 на верстаті Gildemeister CTX 400 S2.

Операція 015 включає обробку циліндричних поверхонь і торців заготовки з використанням двох установок. Основною метою цієї операції є досягнення високої точності оброблених поверхонь, яка відповідає 14 квалітету. Обробка циліндричних поверхонь передбачає створення рівномірного діаметру і гладкості

поверхні. Також важливо забезпечити правильну геометрію циліндричних поверхонь, що включає правильну круглість та циліндричність. Операція обробки торців заготовки також має важливе значення для отримання точних розмірів і геометрії. Точність оброблених торців допомагає забезпечити правильне посадку деталі, уникнути зазорів або перекосів.

На операцію 015 заготовка надходить після заготівельної операції 005, що не включає попередню обробку поверхонь. Для забезпечення правильного базування і закріплення заготовки на цій операції, ми будемо використовувати трикулачковий самоцентруючий патрон.

При схемі базування №1 (А) головною базою буде циліндрична поверхня $\varnothing 16,4$ мм, а по другій (Б) $\varnothing 39,4$ мм.

При установі А – оброблювана циліндрична поверхня $\varnothing 15$ мм.

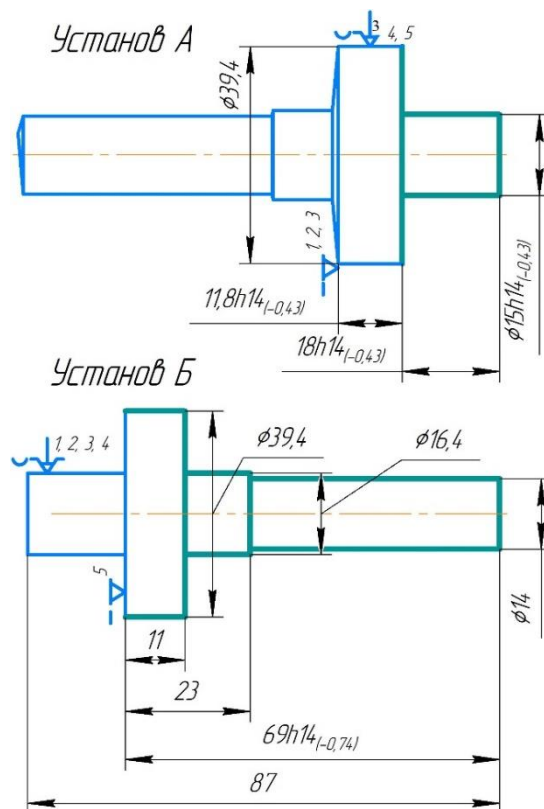


Рисунок 5.2 – Базування заготовки на операції 015 по схемі №1

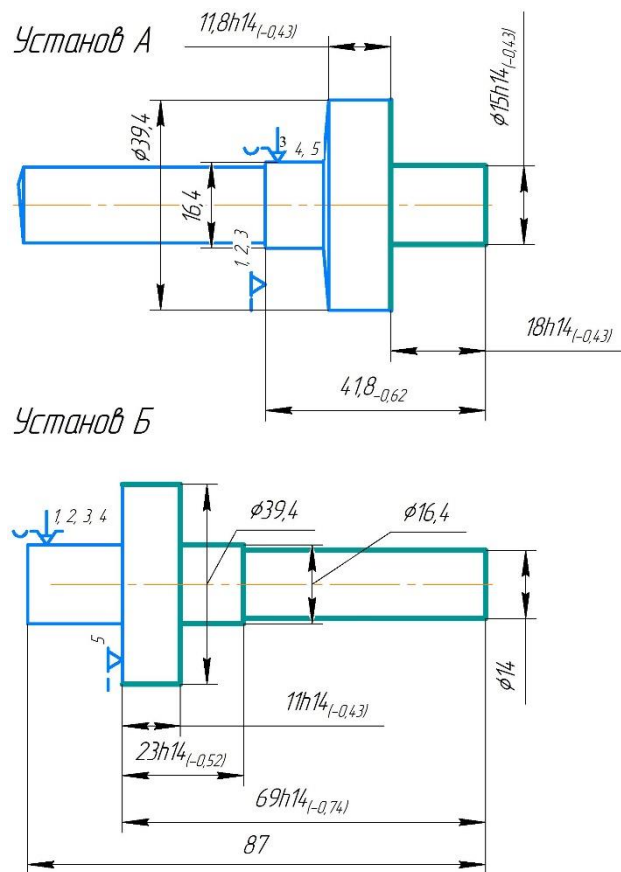


Рисунок 5.3 – Базування заготовки на операції 015 по схемі №2

Таблиця 5.3 – Таблиця відповідностей для установка А

Зв'язки	Ступінь свободи	Найменування бази
1,2,3	I, V, VI	УБ
4,5	II, III	ПОБ
Вакансія	IV	

Таблиця 5.4 – Матриця зв'язків установка А

		X	Y	Z
УБ	L	1	0	0
	α	0	1	1
ПОБ	L	0	1	1
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

Розташування опорних поверхонь при двох схемах базування можна побачити на рисунках 5.3 і 5.4. Для кращого уявлення про відповідність між опорними поверхнями та заготовками використовуються таблиці відповідностей і матриці зв'язків.

Для установки А розташування опорних поверхонь представлені в таблицях 5.3 і 5.4. Таблиця 5.3 містить відповідність між опорними поверхнями та позиціями на верстаті, що допомагає правильно закріпити заготовку. Таблиця 5.4 включає матрицю зв'язків, яка показує можливість базування заготовки відповідно до опорних поверхонь.

Для установки Б розташування опорних поверхонь представлені в таблицях 5.5 та 5.6. Таблиця 5.5 містить відповідність між опорними поверхнями та позиціями на верстаті, а таблиця 5.6 включає матрицю зв'язків для базування заготовки.

Таблиця 5.5 – Таблиця відповідностей для установка Б

Зв'язки	Ступінь свободи	Найменування бази
1,2,3,4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
Вакансія	IV	

Таблиця 5.6 – Матриця зв'язків установка Б

		X	Y	Z
ОБ	L	0	1	1
	α	0	1	1
ПНБ	L	1	0	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

При установці заготовки в патроні, похибка базування в радіальному напрямку вважається нульовою, тобто $\varepsilon_{6П} = 0$. Однак, для знаходження похибки базування в осьовому напрямку потрібно врахувати вплив суми допусків на розміри складових ланок упору за обидві схеми базування. Згідно з формулою, похибка базування в осьовому напрямку при установці упору за першою та другою схемами є сумою допусків на розміри складових ланок і визначається наступним чином:

Установ А

$$\varepsilon_6^{IA} = \Sigma T d_{Icx}^A = 0.43 + 0.43 = 0,86 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6^{IIA} = T d_{IIcx}^A = 0,62 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6^{IIA} = \Sigma T d_{Icx}^A + T d_{IIcx}^A = 0.62 + 0.43 = 1,05 \text{ мм};$$

Установ Б

$$\varepsilon_6^{IB} = T d_{Icx}^B = 0,74 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6^{IIB} = T d_{IIcx}^B = 0,84 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_6^{IIB} = \Sigma T d_{Icx}^B + T d_{IIcx}^B = 0.74 + 0.84 = 1,61 \text{ мм};$$

При порівнянні двох способів базування заготовки видно, що похибка базування за першою схемою є меншою, ніж за другою схемою. З урахуванням цього факту приймається рішення про використання базування заготовки за першою схемою (рис. 5.2). Тепер перейдемо до аналізу та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки на шпонково-фрезерній операції 030. На даній операції потрібно отримати паз 4Н11(+0,075).

Вибір методу установки і закріплення заготовки на верстаті залежить від конфігурації заготовки, серійності виготовлення і прийнятих методів обробки.

Методи установки і закріплення заготовки на столі верстата мають значний вплив на точність оброблених поверхонь та загальну тривалість обробки.

Для отримання даного паза розглянемо дві схеми базування в пристосуванні. У обох випадках заготовка буде встановлена в призмі та зафіксована подвійним затискачем. Розташування опори буде розглянуто за двома схемами. Перша схема базування показана на рисунку 5.4, а друга схема базування - на рисунку 5.5.

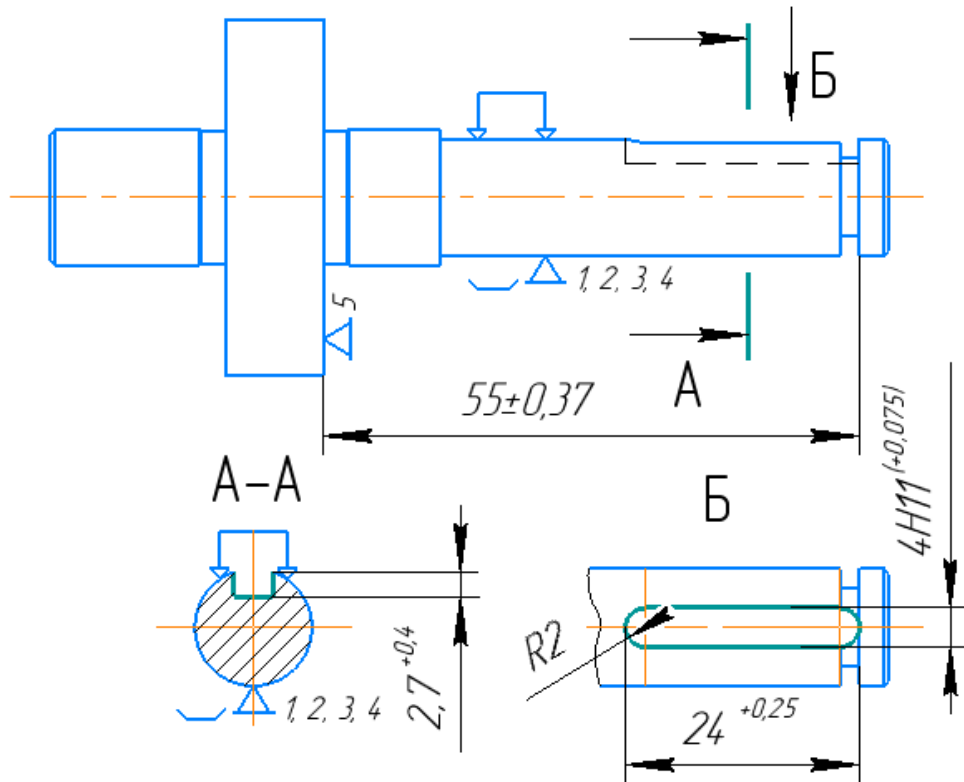


Рисунок 5.4 – Базування заготовки на операції 030 за схемою №1

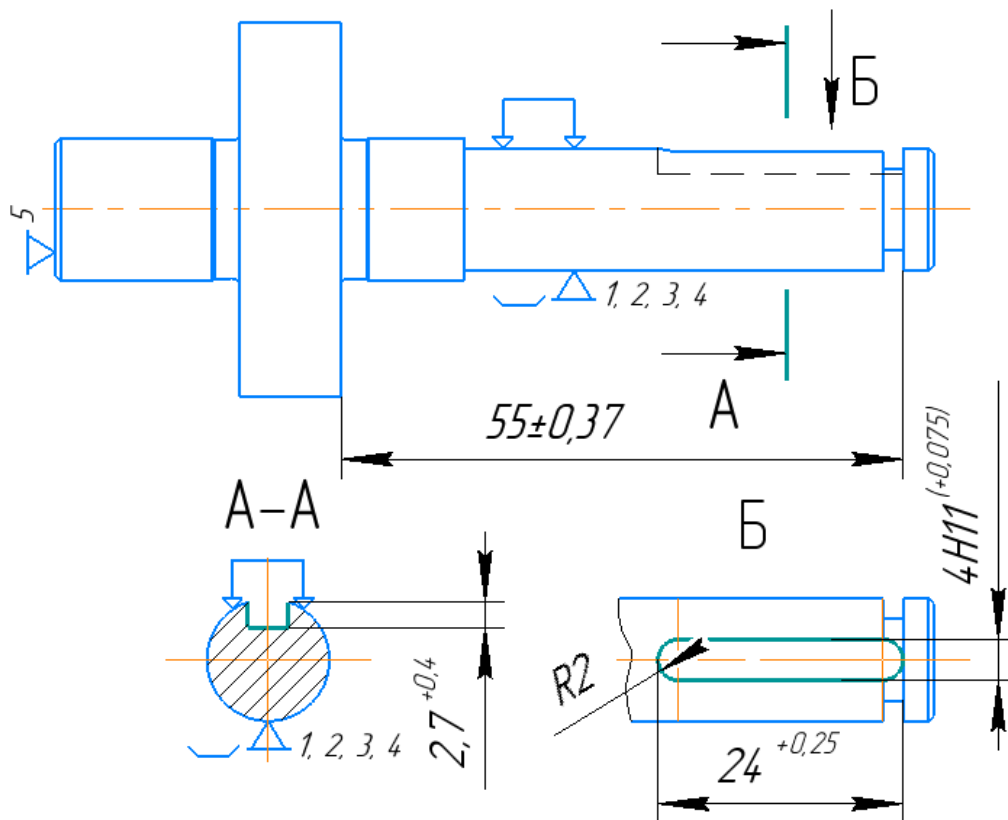


Рисунок 5.5 – Базування заготовки 030 за схемою №2

Деталь в даному пристосуванні позбавляється п'яти ступенів свободи, що обмежує її рух. Конфігурація деталі не дозволяє використовувати додатковий упор або палець для позбавлення шостого ступеня свободи. Замість цього, деталь буде утримуватися силами тертя, щоб уникнути провороту. При обох схемах закріплення використовуються дві технологічні бази: подвійна напрямна база і опорна база. Відповідності між елементами та матриця зв'язків наведені в таблицях 5.7 і 5.8.

Таблиця 5.7 – Таблица відповідностей для установка Б

Зв'язки	Ступінь свободи	Найменування бази
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
Вакансія	IV	

Таблиця 5.8 – Матриця зв'язків установка Б

		X	Y	Z
ОБ	L	0	1	1
	α	0	1	1
ПНБ	L	1	0	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

При обох схемах установки заготовки в призмі неухильно виникає похибка базування розміру ε_6 . Ця похибка пов'язана з конструкторською базою, яка відповідає оброблюваній поверхні пазу. У даному випадку, конструкторська база визначається глибиною пазу, яка складає $(2,7^{+0,4}$ мм), де 0,2 мм представляє припуск на сторону. Розрахунок похибки базування виконується за наступною формулою в міліметрах:

$$\varepsilon_{6\ 2,7} = \frac{Td}{2} * \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right), \quad (5.3)$$

де α - кут призми ($\alpha = 90^\circ$);

Td - поле допуску розміру $(12,4h11(-0,11))$

$$\varepsilon_{6\ 2,7} = \frac{0,11}{2} * \left(\frac{1}{\sin 45^\circ} + 1 \right) = 0,13 \text{ мм}$$

Похибка базування по другій схемі в осьовому напрямку.

$$\varepsilon_{6\ 2,4}^I = \Sigma Td_{Icx} = 0.74 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{6\ 2,4}^{II} = \Sigma Td_{IIcx} = 0.74 + 0,009 + 0,43 = 1,179 \text{ мм}$$

При порівнянні двох способів базування заготовки в пристосуванні очевидно, що похибка базування за першою схемою менша, ніж за другою схемою.

З урахуванням цього факту та враховуючи рисунок 5.5, ми остаточно приймаємо базування заготовки в пристосуванні за першою схемою.

5.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

При виборі верстатів рекомендується користуватися існуючими сучасними каталогами-довідниками металорізальних верстатів. У таких каталогах містяться важливі технічні характеристики та параметри верстатів, що допомагають зробити обґрунтований вибір.

При перегляді каталогів-довідників необхідно враховувати такі вимоги:

- Технологічні методи оброблення поверхонь, що використовуються у конкретній операції. Верстат повинен відповідати потребам цих методів, забезпечувати необхідні режими різання, точність та якість обробки.
- Тип виробництва, в якому буде застосовуватися верстат. Важливо враховувати обсяги виробництва, серійність, часові рамки, особливості виробничого процесу тощо. Верстат повинен бути здатним забезпечити виробництво з необхідною продуктивністю та ефективністю.
- Габарити робочого простору. Верстат повинен вміщуватися в доступний простір у виробничому цеху та забезпечувати зручність роботи оператора.
- Потужність двигунів. Верстат повинен мати достатню потужність для здійснення потрібних різальних операцій та руху різального інструменту.
- Кількість встановлених інструментів. В залежності від потреб обробки, верстат може мати різну кількість встановлених інструментів. Важливо визначити необхідну кількість та можливості заміни інструментів під час роботи.

Для виконання операцій 015 - токарна з ЧПК - рекомендується використовувати токарно-фрезерний верстат, а саме обробний центр Gildemeister STX 400 S2 (зображений на рисунку 5.6). Вибір цього типу верстата зумовлений кількома факторами, такими як габарити, потужність двигуна та жорсткість, що повністю задовольняють вимоги для обробки даного типу деталей. Технічні характеристики токарно-фрезерного верстата STX GAMMA 1250 TC наведені в

таблиці 5.9, де можна знайти докладну інформацію про його параметри та можливості. Верстат має широкий вибір інструменту завдяки своїй багатофункціональності, він виконує токарну, свердлильну та фрезерну обробку. Це дозволяє виконувати фрезерні операції в наступних етапах обробки деталі, що допомагає скоротити час на підготовку деталі до наступної операції. Система управління EPL забезпечує точність та легкість виконання обробки даної деталі [15].



Рисунок 5.6 – Фото верстата Gildemeister CTX 400 S2

Таблиця 5.9 - Основні параметри верстата моделі Gildemeister CTX 400 S2

Параметри	Значення
1	2
Система управління	EPL
Максимальний діаметр точіння над станиною (мм)	570
Максимальний діаметр точіння над супортом (мм)	420
Діаметр отвору в шпинделю (мм)	79
Діаметр патрона (мм)	200

Продовження таблиці 5.9

1	2
Величина робочого переміщення по осі X (мм)	220

Величина робочого переміщення по осі Z (мм)	635
Інструментальних місць в револьвері (шт)	12
Тип інструментального револьвера	VDI 30

Для виконання операцій 030 - фрезерна з ЧПК - рекомендується використовувати фрезерний верстат, а саме 5-ти осьовий горизонтально-фрезерний обробний центр HAAS EC-1600ZT-5AX (зображений на рисунку 5.7). Вибір цього типу верстата зумовлений кількома факторами, такими як габарити, потужність двигуна та жорсткість, що повністю задовольняють вимоги для обробки даного типу деталей. Технічні характеристики фрезерного верстата HAAS EC-1600ZT-5AX наведені в таблиці 5.10, де можна знайти докладну інформацію про його параметри та можливості. Верстат має широкий вибір інструменту завдяки своїй багатофункціональності, він виконує фрезерну, свердлильну, розвертання, обробку складних контурів. Це дозволяє виконувати фрезерні операції в наступних етапах обробки деталі, що допомагає скоротити час на підготовку деталі до наступної операції.[16]



Рисунок 5.7 – Фото горизонтально-фрезерного верстата HAAS EC-1600ZT-5AX

Таблиця 5.10 - Основні параметри верстата моделі HAAS EC-1600ZT-5AX

Параметри	Значення
1	2
Ходи	
Вісь X, (мм)	1626
Вісь Y, (мм)	1270
Вісь Z, (мм)	1016
Стіл	
Довжина, (мм)	1626
Ширина, (мм)	813
Максимальна вага, (кг)	4536
Інструмент	
Тип	SMTC
Місткість	50+1
Максимальний діаметр інструменту (з порожніми сусідніми осередками), (мм)	102 (254)
Максимальна вага інструменту, (кг)	13,6
Загальні характеристики	

Продовження таблиці 5.10

1	2
Швидкість шпинделя, (об/хв)	7500
Потужність що передається шпинделем, (кВт)	22,4
Конус	КТ/БТ 50
Об'єм СОР, (л)	360

5.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

Для забезпечення необхідного результату при обробці деталі важливо правильно вибрати верстатні пристрої, металорізальні та верстатні інструменти для кожної конкретної операції. Це дозволить досягти максимальної ефективності при обробці, збільшити стійкість ріжучого інструменту та економічно вигідно використовувати його.

Для операції 015 - Токарна з ЧПК - рекомендується використовувати наступні вимірювальні, ріжучі інструменти та верстатні пристрої:

Верстатні пристрої: Патрон з поворотною головкою для фіксації деталей та забезпечення точності обробки. Каретка з автоматичним подачею для регулювання руху інструменту та досягнення необхідної швидкості і глибини різання.

Ріжучі інструменти: Токарні ножі з відповідними геометричними параметрами для здійснення потрібних операцій різання і обробки. Ріжучі пластини з високою міцністю та стійкістю для тривалої роботи без необхідності частої заміни.

Вимірювальні інструменти: Калібр мікрометричний для точного вимірювання діаметрів і глибин різання. Шаблони із зубчастими рейками для перевірки розмірів та геометрії деталі.

Верстатний пристрій – патрон пневматичний 3-х кулачковий QK3 Q3-208 (04"-15")

Ріжучий інструмент:

Різець прохідний MWLNL-2525-M06 (рисунок 5.8)[17]



Рисунок 5.8 - Різець прохідний MWLNL-2525-M06

Канавковий(відрізний) BKTR-JK-2525-4C (рисунок 5.9)[18]



Рисунок 5.9 – Різець канавковий(відрізний) BKTR-JK-2525-4C
Прохідний (чистовий) SVJCL-2525-M16 (рисунок 5.10)[19]



Рисунок 5.10– Різець прохідний (чистовий) SVJCL-2525-M16
Для операції 015 – Токарна з ЧПК, використовуємо:
Ріжучі інструменти:

- Різець прохідний MWLNL-2525-M06;
- Різець прохідний (чистовий) SVJCL-2525-M16;

Вимірювальний інструмент:

Мікрометр: МК-25 0-25 мм (рисунок 5.11) iso9001:2018; МК-50 25-50 мм(рисунок 5.12) iso9001:2018[20];

Зразки шорсткості Ra = 6,3...0,2 ISO 17025.



Рисунок 5.11 – Мікрометр МК-25



Рисунок 5.12 – Мікрометр МК-50

Для операції 030 – Фрезерна з ЧПК, застосовуємо:

Ріжучі інструменти:

- Фреза кінцева 2234-4010 P6M5 ГОСТ 9140-78

Вимірювальний інструмент:

- Калібр (4Н11)КМ 8154-0106 Н11СТП 482544.3.709-83
- Калібр (2,7^{+0,4})КМ 8316-0113 СТП 482544.3.708-83
- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89
- Зразок шорсткості поверхні 6,3 ГОСТ 9378-75

5.5 Визначення режимів різання

У сучасний час фахівці постійно вдосконалюють інструменти та визначають оптимальні режими різання для кожного з них. Ці дані вносяться до таблиць, що дозволяє оперативно використовувати їх у практиці. У даному випадку, при обробці сталі 40Х на операції 015 - Токарна з ЧПК, ми можемо скористатись табличними значеннями режимів різання.

В операції 015 – використовуються такі твердосплавні пластини:

- Пластина токарна чорновий WNMG 0604 - WNMG 06 04 08-WL 4315;
- Пластина токарна чистова SVJCL-2525-M16 - VCMT 160404 NN LT10;
- Пластина токарна канавкова BKTR-JK-2525-4С - MGM. 400.

Таблиця 5.11 – Режими різання для токарних пластин [21], [22], [23]

Індекс пластинки	Подача за оберт S, мм	Глибина різання t, мм	Швидкість різання V, м/хв
WNMG 06 04 08- WL 4315	0,2 – 0,6	0,1 – 5	295-390
VCMT 160404 NN LT10	0,03 – 0,19	0,1-2,3	140 – 250
MGMN 400-M KM240	0,03 – 0,2	0,1 – 1,5	50 – 60

В операції 030 – використовуються твердосплавна кінцева фреза:

- Кінцева твердосплавна фреза - 3SM20 040 100;

Таблиця 5.12 – Режими різання для твердосплавних кінцевих фрез[24]

Індекс фрези	Подача на зуб S_z , мм/зуб	Швидкість різання V_c , м/хв	Частота обертання шпинделя n , об/хв	Хвилина подача S_m , мм/хв
2234-4010 Р6М5 ГОСТ 9140-78	0,1	12,6	1000	200

5.6 Технічне нормування операцій

Технічне нормування операцій є важливим етапом при розрахунку продуктивності праці. У даному випадку проведемо розрахунок технічних норм штучно-калькуляційного часу для операції 015 - Токарна з ЧПК, враховуючи тип виробництва - дрібносерійне. Для розрахунку машинного часу використовується наступна формула:

$$T_o = \frac{l_{px}}{S_{xv}} * i \text{ (хв)}, \quad (5.4)$$

де l_{px} - довжина поверхні;

S_{xv} – хвилинна подача;

i – кількість проходів;

$$T_o = \frac{46}{780} * 6 = 0,35 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час визначається за формулою:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п.з}}{n} + T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (5.5)$$

де $T_{п.з}$ – підготовчо-заклучний час, хв;

T_o – основний (технологічний) час, хв;

T_d – допоміжний час, хв;

$T_{обсл.}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{відп.}$ – час, необхідний на особисті потреби робітника, хв;

n – кількість деталей у партії.

Підготовчо-заклучний час визначимо за формулою:

$$T_{п.з.} = T_{п.з.1} + T_{п.з.2}, \quad (5.6)$$

де $T_{п.з.1}$ – час на налагодження верстата, $T_{п.з.1} = 15$ хв

$T_{п.з.2}$ – час на отримання і здачу інструмента, $T_{п.з.2} = 5$ хв.

Тоді:

$$T_{п.з.} = 15 + 5 = 20 \text{ хв.}$$

Основний час $T_0 = 1$ хв.

Допоміжний час T_d визначимо за формулою:

$$T_d = T_{ус} + T_k + T_{вим}, \quad (5.7)$$

де $T_{ус}$ – час на установку та зняття деталі, $T_{ус} = 5$ хв;

T_k – час на прийоми керування, $T_k = 2$ хв;

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, $T_{вим} = 2,5$ хв;

Тоді:

$$T_d = 5 + 2 + 2,5 = 9,5 \text{ хв.}$$

Визначимо оперативний час:

$$T_{оп} = T_0 + T_d = 1 + 9,5 = 10,5 \text{ хв.}$$

Визначимо $T_{обсл}$ за формулою:

$$T_{обсл} = T_{оп} * 3,5\% = 10,5 * 0,035 = 0,36 \text{ хв.}$$

Визначимо $T_{відп}$ за формулою:

$$T_{відп} = T_{оп} * 5\% = 10,5 * 0,05 = 0,52 \text{ хв.}$$

Визначимо штучний час:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_v \quad (5.8)$$

Тоді,

$$T_{шт} = 10,5 + 0,36 + 0,52 = 11,38 \text{ хв.}$$

За формулою 5.12 штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = \frac{20}{5} + 1 + 9,5 + 0,36 + 0,52 = 15,4 \text{ хв.}$$

6 ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

Для фрезерування паза шириною $4H11(+0,075)$, глибиною $2,7+0,4$ та довжиною $24+0,25$ мм, необхідно спроектувати верстатний пристрій, який забезпечить точну та ефективну обробку деталі.

На сьогоднішній день заготовка обробляється у пристосуванні з немеханізованим приводом. Робітник, який виконує цю операцію, має третій розряд. Однак, шляхом використання спеціального пристрій з механізованим приводом, можна досягти певних переваг. Перш за все, використання механізованого приводу дозволить знизити розряд станочника на цій операції. Завдяки автоматизації деяких процесів та поліпшенню ергономіки пристрою, робота стане більш ефективною та менш вимагаючою фізичних зусиль. Крім того, використання механізованого пристрою дозволить зменшити трудомісткість обробки. Автоматизація руху та фіксації заготовки сприятиме швидшому та більш точному виконанню операцій, що зменшить витрати робочого часу та зусиль. Також, механізований привід сприятиме підвищенню стабільності точних параметрів операції.

Точність розмірів

На даній операції формуються різні лінійні розміри, які вимагають врахування точності та допусків згідно з встановленими стандартами.

- Ширини паза $4H11 (+0,075)$. Величина допуску для цього розміру становить 75 мкм. Згідно з ДСТУ 2500-94, якість IT11 відповідає табличному значенню для даного допуску [25, с. 45].
- Крім того, на даній операції враховується лінійний розмір глибини паза, який становить $2,7+0,4$ мм. Величина допуску для цього розміру становить 400 мкм. Згідно з ДСТУ 2500-94, якість IT15 відповідає стандартному значенню для цього допуску [25, с. 46].
- Також враховується лінійний розмір довжини паза, який становить $24+0,25$ мм. Величина допуску для цього розміру визначається як $T = 250$ мкм. Згідно з ДСТУ 2500-94, для номінального розміру 24 мм і якості H12 стандартне

значення допуску складає 210 мкм. Отже, задане значення допуску $T = 250$ мкм не є стандартним [25, с. 46].

Точність форми

Проведений аналіз стінки шпоночного пазу зосереджений на відхиленні форми цієї поверхні від плоскості. Зазначено, що на кресленні не вказана величина допуску форми, тому вона може бути в межах допуску на розмір довжини пазу:

$$T_{\text{пл.}} = 0,6 * T_{\text{розм.}} = 0,6 * 250 = 150 \text{ (мкм)}.$$

Згідно з ДСТУ 2.308:2013, найближче значення допуску для плоскостності позначається як $T_{\text{пл.}}$ і становить 160 мкм. Цей допуск відповідає 14-му ступеню точності..

Точність розташування

Проведений аналіз допуску симетрії стінок шпоночного пазу засвідчує, що величина допуску не вказана. У зв'язку з цим, для розрахунків приймається, що допуск на симетрію знаходиться в межах допуску на розмір довжини пазу:

$$T_{\text{симм.}} = 0,6 * T_{\text{розм.}} = 0,6 * 250 = 150 \text{ (мкм)}.$$

Згідно з ДСТУ 2.308:2013, найближче значення допуску симетрії позначається як $T_{\text{симм.}}$ і складає 160 мкм. Це значення відповідає 11-му ступеню точності.

Шорсткість

Згідно з наданою інформацією з креслення деталі, шорсткість стінок і дна пазу складає $Ra = 6,3$ мкм.

Проведемо визначення кількісних і якісних даних про заготовку, яка надходить на цю операцію. Заготовка попередньо оброблена по зовнішніх поверхнях. Вона має масу 0,22 кг і виготовлена зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Заготовка є обертовим тілом і відносно жорсткою, її оброблюваність задовільна.

Уточнимо параметри поверхонь, які можуть бути взяті за базові. З креслення видно наявність двох зовнішніх циліндричних поверхонь діаметрами $\varnothing 12,4$ мм і $\varnothing 14,4$ мм, а також торця діаметром $\varnothing 37$ мм. Ці поверхні можна вважати базовими.

Звернемо увагу на точні параметри, які можуть бути базовими. Діаметр другої зовнішньої циліндричної поверхні становить $\varnothing 14,4$ мм. Згідно з ДСТУ 2500-

94, для якості IT11 цьому розміру відповідає допуск $T = 110$ мкм. Діаметр торця $\varnothing 37$ також відповідає якості IT11, а його допуск складає 160 мкм.

Точність форми

Проведемо аналіз точності форми базових поверхонь. Відхилення форми зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 12,4$ характеризується відхиленням від циліндричності. Оскільки величина допуску форми не зазначена на кресленні, то приймаємо, що вона може знаходитись у межах допуску на розмір $T = 110$ мкм:

$$T_{\text{цил.}} = 0,3 * T_{\text{розм.}} = 0,3 * 110 = 33 \text{ (мкм)}.$$

Згідно з ДСТУ 2.308:2013, найближче значення допуску циліндричності становить $T_{\text{цил.}} = 30$ мкм, що відповідає 9-й ступені точності.

Аналогічно, відхилення форми зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 14,4$ також характеризується відхиленням від циліндричності. Оскільки величина допуску форми не зазначена на кресленні, то ми припускаємо, що вона може знаходитись у межах допуску на розмір $T = 110$ мкм:

$$T_{\text{цил.}} = 0,3 * T_{\text{розм.}} = 0,3 * 110 = 33 \text{ (мкм)}.$$

Згідно з ДСТУ 2.308:2013, найближче значення допуску циліндричності також становить $T_{\text{цил.}} = 30$ мкм, що відповідає 9-й ступені точності.

Точність розташування

Як можливе відхилення розташування розглянемо радіальне відхилення зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 12,4$. Оскільки величина допуску відхилення не зазначена на кресленні, то приймаємо, що його значення може знаходитись у межах допуску на розмір 12,4, тобто в межах $T = 110$ мкм.

$$T_{\text{биття.}} = 0,6 * T_{\text{розм.}} = 0,6 * 110 = 66 \text{ (мкм)}.$$

Згідно з ДСТУ 2.308:2013, найближче значення допуску радіального відхилення становить $T_{\text{биття.}} = 50$ мкм, що відповідає 10-й ступені точності. Аналогічно, для $\varnothing 14,4$ мм маємо таке ж значення: $T = 50$ мкм.

Шорсткість

Шорсткості поверхонь $\varnothing 12,4$ і $\varnothing 14,4$, а також торця $\varnothing 37$, вони відповідають вимогам ДСТУ 2413-94 і виражені параметром $Ra = 3,2$ мкм. Це відповідає вимогам до точності базових поверхонь. У даному пристрої планується обробляти заготовки

лише з базовими поверхнями таких розмірів і з вказаними тонічними параметрами. Тобто адаптивні властивості кріпильних елементів пристрою повинні знаходитись у межах зміни зазначених розмірів.

Запланована річна програма передбачає випуск 1200 деталей. У зв'язку зі складністю виготовлення пристроїв у дрібносерійному режимі, ця програма передбачає виробництво обладнання з обмеженою інтенсивністю використання. Протягом 3-річного періоду виробництва, що складає 36 місяців, пристрій повинен здійснити 3600 циклів роботи.

Складання переліку реалізованих функцій:

1. Переміщення та попередня орієнтація заготовки.
2. Базування заготовки.
3. Фіксація заготовки.
4. Базування пристрою на верстаті.
5. Фіксація пристрою на верстаті.
6. Підведення та відведення енергоносія.
7. Створення початкової сили для фіксації.
8. Керування енергоносієм.
9. Заміна установочних (затискачів) елементів.
10. Об'єднання функціональних вузлів (корпус).
11. Фрезерування шпоночного пазу $B \times H \times L = 4 \times 2,7 \times 24$.
12. Створення безпечних умов праці.

При реалізації функцій і врахуванні вимог до їх результатів ми проводимо пошук прототипів серед наявних технічних рішень. Наша перевага полягає у використанні перевірених на практиці стандартних технічних рішень.

Вибір головної базової поверхні

В ролі головних базових поверхонь виступають дві зовнішні циліндричні поверхні з діаметрами 12,4 і 14,4 мм. Ці поверхні, які розташовані на призмах, виконують функцію подвійної направляючої бази, обмежуючи рухи заготовки в чотирьох ступенях свободи (двох переміщень і двох обертань). Вони були оброблені з достатньою точністю (клас точності IT 11) і мають значення шорсткості

поверхні $Ra = 3,2$ мкм. Використання цих поверхонь в якості базових не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

В якості опорної базової поверхні використовується торець діаметром 37 мм. Ця поверхня забезпечує заготовці один ступінь свободи - одне переміщення вздовж осі деталі. Використання такого торця як базової поверхні також не заважає доступу ріжучим інструментам до оброблюваних поверхонь.

Як альтернативу, можуть бути розглянуті інші торці деталі як опорна базова поверхня. Проте це може призвести до збільшення похибки базування в осівому напрямку. Для ілюстрації, розглянемо похибки базування для запропонованого першого варіанта (рисунок 6.1, а) і для варіанту з іншим торцем (рисунок 6.1, б).

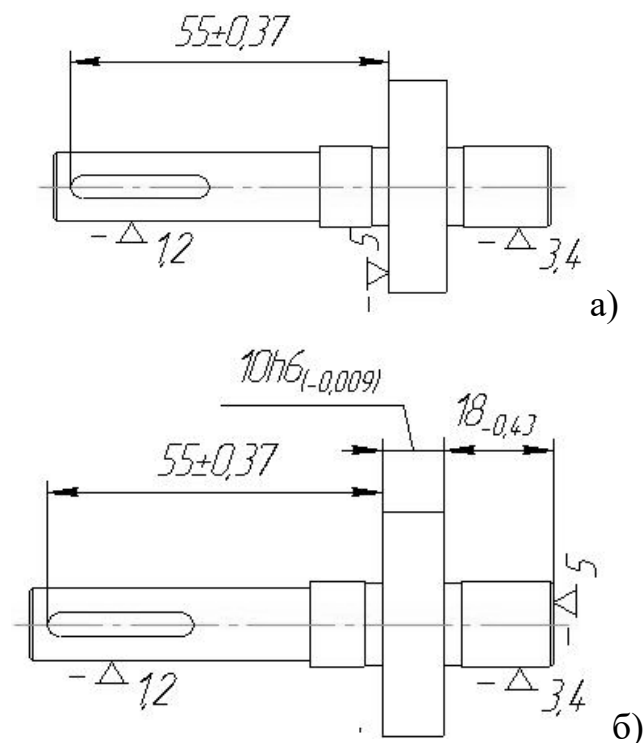


Рисунок 6.1 – Варіанти базування

Похибка базування за довжиною шпонкового пазу $L=24$ для вимірювальної бази 55 мм у першому розглянутому варіанті (рисунок 6.1, а) дорівнює нулю, оскільки вимірювальний розмір 55 відповідає технологічній базі.

$$\varepsilon_{d55} = 0$$

У другому варіанті (рисунок 6.1, б) похибка базування буде значною.

$$\varepsilon = O_1 + O_2 = 430 + 9 = 439 \text{ мкм.}$$

Отже, перший варіант базування є більш пріоритетним. Точні виміри базових поверхонь, що були визначені раніше, є порівнянними з точністю оброблюваних поверхонь, що дозволяє відповідати вимогам до точності обробки. Аналіз структури зв'язків, що виникають при базуванні, можна провести, складаючи таблицю односторонніх зв'язків (див. таблицю 6.1).

Таблиця 6.1 – таблиця односторонніх зв'язків

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω_x'	ω_y	ω_y'	ω_z	ω_z'
Спосіб реалізації	Реакція	R	-	R	R	-	R	-	-	R	R	R	R
	Сила закріплення	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Сила тертя	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

З таблиці 6.1 можна зрозуміти, що на заготовку накладено 8 однобічних зв'язків. Лише два з них є повними, решта - неповними, це пояснюється присутністю проміжку між посадковою поверхнею призми та заготовкою. Для досягнення балансу заготовки під час обробки необхідно запобігти руху заготовки по координатах x' , z , ω_x , ω_x' .

Функціональна структура проектованого пристрою представлена на рисунку 6.2.

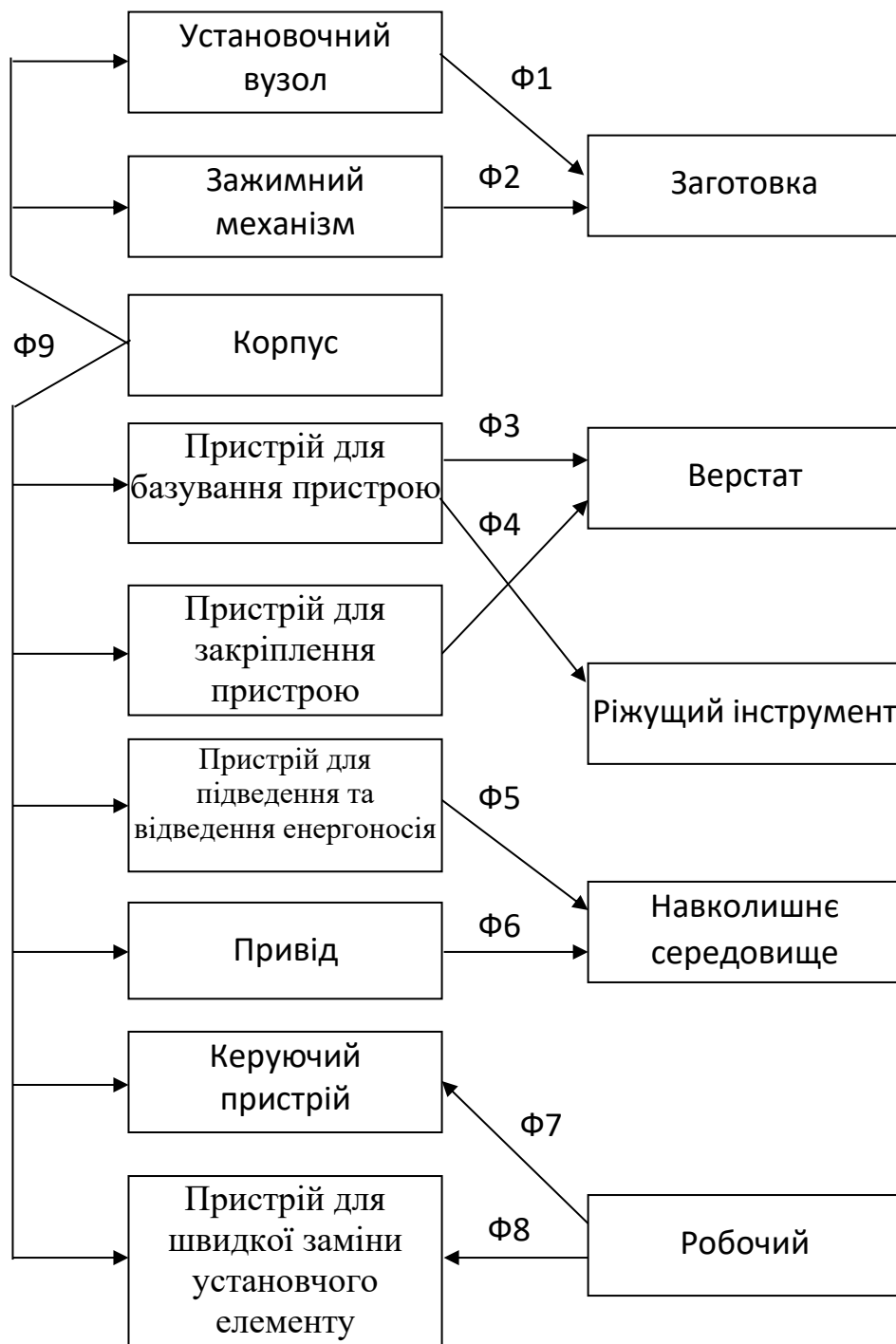


Рисунок 6.2 - Функціональна структура розроблення приспособлення

Для проведення аналізу взаємодії поля збуджуючих сил (ЗС) та поля урівноважуючих сил (ПУС) створимо візуальну модель збуджуючих сил, враховуючи прийняту схему базування. Згідно зі зображенням 6.3, помітно, що компоненти поля збуджуючих сил не знаходяться у рівновазі та вимагають застосування додаткових сил фіксації.

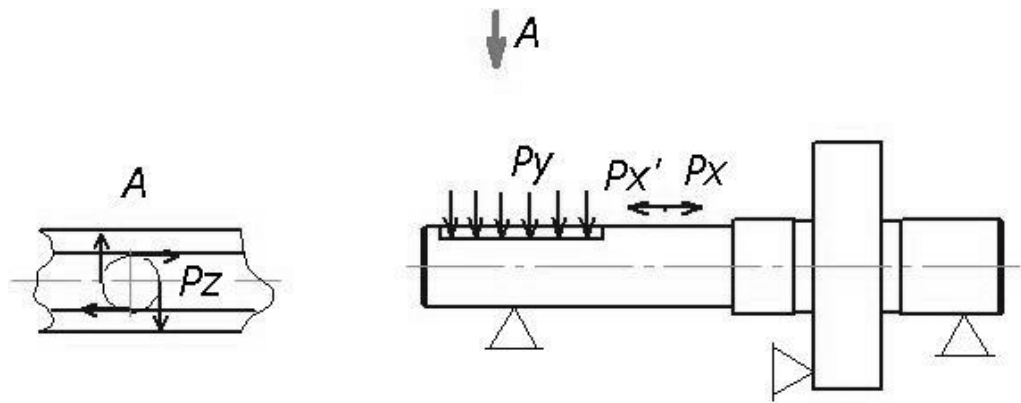


Рисунок 6.3 - Структура поля впливаючих сил (ПВС)

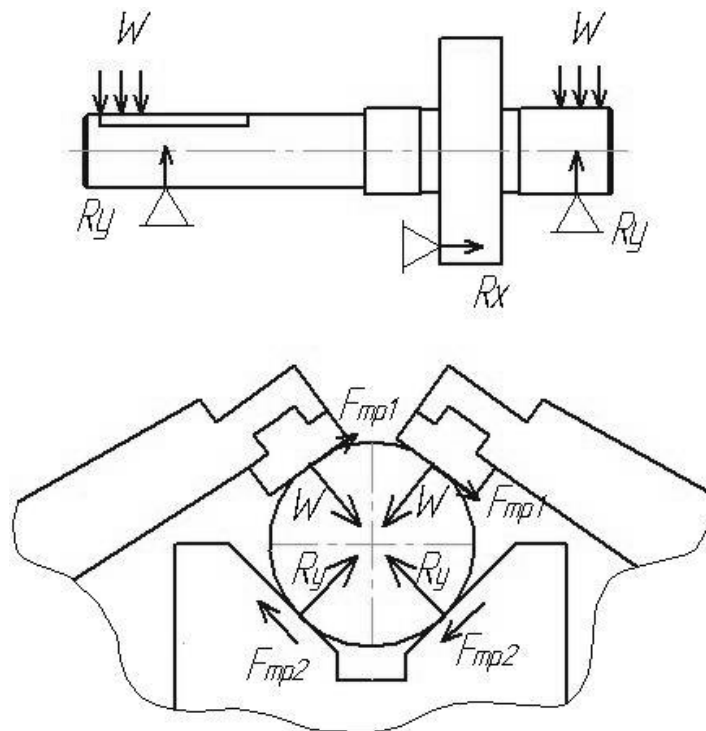


Рисунок 6.4 - Структура поля урівноважуючих сил (ПУС), створена зажимним механізмом

За допомогою рисунків 6.3 і 6.4 можна зрозуміти, що компонента $P_{x'}$ поля урівноважуючих сил (ПУС) компенсується реакцією R_x ($R_x = P_{x'}$) (див. таблицю 1.1). Інші компоненти ПУС не знаходяться у рівновазі і потребують використання додаткових сил фіксації. Згідно з обраною схемою базування рекомендовано застосувати важільний зажим в призмах, що створює ПУС, як показано на рисунку 6.4.

Однак, недоліком зазначеного методу урівноважування є високий рівень енергетичних витрат на фіксацію. Силкові потоки, що виникають під час обробки,

спричиняють згинні та крутні напруження. В таких умовах немає особливих вимог до структурної однорідності силових полів. Тому структуру ПУС можна спростити до локально-дискретної форми. Це спрощує конструкцію пристрою фіксації, оскільки урівноважувальне поле такої структури може бути створене за допомогою важільного захоплюючого пристрою, який закріплюється в двох призмах. Оскільки напрям сили фіксації паралельний стінкам шпонкового пазу і не збігається з напрямом симетрії стінок пазу (у площині, перпендикулярній стінкам пазу), похибка фіксації заготовки в цьому напрямку дорівнює нулю:

$$\varepsilon_z = 0.$$

Для аналізу структури і якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, побудуємо таблицю односторонніх зв'язків (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – Таблиця односторонніх зв'язків

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω_x'	ω_y	ω_y'	ω_z	ω_z'
Реакція Сила закріплення	Реакція	R	-	R	R	-	R	-	-	R	R	R	R
	Сила закріплення	-	-	W	W	W	-	-	-	W	W	W	W
	Сила тертя	-	F(w)	-	-	-	-	F(w)	F(w)	-	-	-	-

Застосування сили фіксації усуває зазор і перетворює неповні зв'язки x, y, y', z', ω_y , ω_y' , ω_z і ω_z' на повні, а також створює чотири додаткові зв'язки x', z, ω_x і ω_x' . Величину сили фіксації W розраховують, використовуючи умови нерухомості заготовки під дією сили різання Pz і умову відсутності обертання від сили різання Px. Для розрахунку величини сили фіксації використовується програма «Розрахунок сил закріплення», розроблена на кафедрі ТМВІ СумДУ. Отримане розрахункове значення сили закріплення - $W_{розр} = 356$ Н

Параметри повітряного поршневого приводу визначаємо за допомогою програми «PRIVOD» (див. Додаток Д). Маємо наступні значення: діаметр поршня

- 40 мм, діаметр штока - 12 мм. Фактична величина сили на штоку (сила фіксації) становить $Q = W = 411 \text{ Н}$.

З погляду обміну інформацією, розрахунки допусків для виготовлення компонентів пристрою є процесом перетворення інформації про точність обробки поверхонь деталі на вимоги до точності пристрою на даній операції.

Для визначення розрахункових параметрів, тобто тих параметрів, що найбільше впливають на досягнення встановлених допусків для оброблюваної деталі, ми звертаємо увагу на непаралельність між віссю призми та площиною основи пристрою. Цей параметр відповідає допуску відхилення від симетрії, що вказаний на кресленні. Допустима похибка виготовлення зазначених компонентів пристрою залежно від параметра непаралельності становить.

$$\varepsilon_{i\delta} \leq \dot{O}_{\text{нєіі}} - K_T \times \sqrt{(K_{T1} \times \varepsilon_a)^2 + \varepsilon_{\zeta}^2 + \varepsilon_O^2 + \varepsilon_I^2 + \varepsilon_E^2 + (K_{T2} \times \varpi)^2 + \varepsilon_{I\zeta}^2},$$

де $T = 160 \text{ мкм}$ - допуск симетричності стінок паза;

$K_T=1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення окремих складових від нормального розподілу;

$K_{T1} = 0,8$ – коефіцієнт, який враховується, коли похибка базування не дорівнює нулю (в даному випадку $\varepsilon_6=0$);

$\varepsilon_3=0$ – похибка закріплення заготовки;

$\varepsilon_y=30 \text{ мкм}$ – похибка установки пристосування на верстаті;

$\varepsilon_{II}=0$ – похибка відхилення інструменту;

$\varepsilon_{II}=25 \text{ мкм}$ – похибка, що виникає внаслідок зносу установочних елементів;

$\varepsilon=43 \text{ мкм}$ – середня економічна точність обробки [25];

$K_{T2}=0.6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки;

$\varepsilon_{\text{поз}}=10 \text{ мкм}$ – похибка позиціонування;

$$\varepsilon_{i\delta} \leq 160 - 1,2 \times \sqrt{0^2 + 0^2 + 30^2 + 0^2 + 25^2 + (0,6 \times 43)^2 + 10^2} = 102 \text{ мкм};$$

Враховуючи стандартний ряд допусків, ми встановлюємо значення $\varepsilon_{\text{пр}} = 50 \text{ мкм}$. Отриманий допуск розподіляється між компонентами пристрою наступним чином: непаралельність між віссю робочих поверхонь призм та установочною поверхнею основи пристрою не перевищує $0,05 \text{ мм}$.

Розроблене пристроєм працює таким чином: оброблювану заготовку розміщують на установочних поверхнях призм 5, які в свою чергу кріпляться до основи 13. Закріплення заготовки здійснюється шляхом подачі стиснутого повітря $P = 0,4$ МПа в штокову площину пневмоциліндра. При цьому поршень разом із штоком опускається, і за допомогою важеля 4 заготовка стискається. Відкріплення заготовки відбувається при подачі стиснутого повітря в безштокову площину пневмоциліндра. При цьому шток разом з поршнем піднімається, а товкач 7 повертає важіль 4 в бічному напрямку, відводячи його від заготовки.

Пристрій в зібраному вигляді розміщується на верстатному столі і орієнтується вздовж Т-подібного пазу стола за допомогою направляючих шпонок 18. Закріплення пристрою на верстатному столі здійснюється через отвори з шириною пазу 12 мм.

ВИСНОВОКИ

У даній роботі був розроблений технологічний процес виготовлення деталі вал-шестірна 14.01.05. В результаті було вибрані наступні результати:

- Було обрано тип виробництва - дрібносерійний.
- Спосіб отримання заготовки, сталі 40Х ДСТУ 7806:2015 для дрібносерійного типу виробництва було вибрано отримувати заготовку на КГШП, що дозволило зменшити припуски на першу механічну обробку та трудомісткість отримання. Порівняно з куванням, це знизить собівартість поковки штампованої на 10-30% завдяки зменшенню витрат матеріалу та експлуатаційних витрат.

Також було змінено технологічний процес обробки деталі вал-шестірна 14.01.05 , замінивши універсальне обладнання на верстати з ЧПК (числовим програмним керуванням). Було спроектовано верстатний пристрій для установа та закріплення деталі для обробки шпонкового пазу валу-шестірни на операції 030 - шпонково-фрезерній операції.

Всі внесені нововведення в базовий технологічний процес виготовлення деталі вал-шестірна 14.01.05 були спрямовані на зниження собівартості деталі.

Перелік джерел посилання

1. Консольно-фрезерні верстати 6P81Г, 6P81, 6P11, 6P81Ш. Посібник з експлуатації PE, 1983.
2. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи / укладачі: І.М.Дегтярьов, А. В. Євтухов, А. О. Нешта. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 37 с.
3. Методичні вказівки до виконання розділу «Аналіз службового призначення виробів та технічних вимог до них» в обов'язковому домашньому завданні, випускній роботі бакалавра, курсовому проекті зі спеціальності та дипломному проекті для студентів спеціальностей: 7.090202, 6.090202, 6.090203, 6.090204, 6.090209, 6.090220, 6.090515, 6.090520 усіх форм навчання / укладачі: О.О. Топоров, О. У. Захаркін. – Суми : Вид-во СумДУ, 2000. – 30 с.
4. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Технологічні основи машинобудування» / Укладач О.У. Захаркін. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009.– 53 с.
5. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 1. Загальні відомості / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов.–Суми : Сумський державний університет, 2011.–55 с.
6. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунковографічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування для студентів освітньо-кваліфікаційних рівнів: «бакалавр» за напрямом підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування», 6.050604 «Енергомашинобудування»; «спеціаліст» спеціальності 7.090202 «Технологія машинобудування» усіх форм навчання: у 2 частинах. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В.Г.Євтухов, В.О.Іванов.– Суми: Сумський державний університет, 2011.– 59 с.
7. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.

8. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
9. Основи охорони праці В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников — Вид. 2-е, стеріотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с. 20. ГОСТ
10. ДСТУ 2263-93 Операції кування та штампування металу. Терміни та визначення.
11. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Технологічна оснастка» / Укл.: П.В. Кушніров. – Суми: СумДУ, 2009. – Ч. 1. – 52с.
12. Петров О.В., Сухоруков С.І. Технологічна оснастка: навч. посіб. - Вінниця: ВНТУ, 2018. - 123 с.
13. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва. – Київ: Кондор, 2009 – 726 с.
14. Кушніров П.В., Євтухов А.В., Дегтярьов І.М. Технологічна оснастка [Електронний ресурс]: навч. посіб. Суми : СумДУ, 2020. - 140 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81842>
15. Токарний верстат с ЧПУ Gildemeister CTX 400 S2-ID14557. URL: <https://vitcompany.com.ua/stanki/tokarnye-stanki/stanki-tokarnye-s-chpu/tokarnyy-standok-s-chpu-gildemeister-ctx-400-s2-id14557.html> (дата звернення: 05.06.2023).
16. EC-1600ZT-5AX | Фрезерний верстат з конусом ISO 50 | П'ятиосевий фрезерний верстат | Горизонтально фрезерний верстат: верстати з ЧПК компанія Haas. *Haas Automation Inc. - CNC Machine Tools*. URL: <https://www.haascnc.com/ps/machines/horizontal-mills/ec-series/models/ec-1600zt-5ax.html> (дата звернення: 12.06.2023).
17. Різець токарний прохідний MWLNL-2525-M06 під пластину WNMG 0604.. державка VORGEN. *ОКЕАН ТРЕЙД*. URL: <https://ocean.biz.ua/rezcy-smennye-plastiny/rezec-vorgen-mwlnl-2525-m06> (дата звернення: 05.06.2023).

18. Різець токарний канавочний відрізний BKTR-JK-2525-4C (TMAX 30) під пластину MGM. 400 (KORLOY) державка VORGEN. *ОКЕАН ТРЕЙД*. URL: <https://ocean.biz.ua/rezcy-smennye-plastiny/rezec-vorgen-bktr-jk-2525-4c-tm30> (дата звернення: 05.06.2023).
19. Різець токарний прохідний SVJCL-2525-M16 під пластину VCMT 1604.. державка VORGEN. *ОКЕАН ТРЕЙД*. URL: <https://ocean.biz.ua/rezcy-smennye-plastiny/rezec-vorgen-svjcl-2525-m16> (дата звернення: 05.06.2023).
20. Аналоговий мікрометр - МІКРОТЕХ. MICROTECH. URL: https://microtech-ua.com/index.php?id_category=101&controller=category&id_lang=2 (дата звернення: 05.06.2023).
21. WNMG 06 04 08-WL 4315. *Sandvik Coromant*. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/product-details?c=WNMG%2006%2004%2008-WL%20%20%20%204315> (date of access: 05.06.2023).
22. Твердосплавна пластина універсальна VCMT 160404 NN LT10. *Shults*. URL: <https://shults.com.ua/carbide-inserts/vcmt-160404-nn-lt10> (дата звернення: 05.06.2023).
23. Твердосплавна відрізна пластина MGMN 400-M KM240. *Shults*. URL: <https://shults.com.ua/carbide-inserts/mgmn-400-m-km240> (дата звернення: 05.06.2023).
24. Hansong | End mill and dental bur catalog download. *HANSONG*. URL: https://hansong.co.kr/bbs/board.php?bo_table=m04_02&gclid=Cj0KCQjwj_ajBhCqARIsAA37s0wdBPMgIYo4rZjFINH54gkz_lZHIZ60BPn6QzhqiV0Renjqmb928YMaAhOoEALw_wcB (date of access: 05.06.2023).
25. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – 164 с.

26. Гриценко, О.О. Торцева фреза з підвищеною надійністю кріплення циліндричних різальних вставок / Р.О. Орлов, О.О. Гриценко, П.В. Кушніров // Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 24-25 листопада 2022 р., м. Одеса.– Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2022. – С. 102.