

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»**

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

Технологія машинобудування, верстати та інструменти
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проекту)

другий (магістерський)

(освітньо-науковий рівень)

на тему

**«Удосконалення технологічного процесу
виготовлення маховика 4835.003.001 шляхом
застосування високопродуктивних інструментів та оснастки»**

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.м-92
спеціальності: 131 – прикладна
механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: технології
машинобудування

(назва освітньої програми)

Коваленко Р.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

Кушніров П. В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(прізвище та ініціали)

Суми – 2020 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 93 сторінки, 17 рисунків, 26 таблиць, 26 джерел літератури.

Об'єкт дослідження – «Маховик 4835.003.001»

Мета роботи: Удосконалити технологічного процесу виготовлення маховика 4835.003.001 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки.

В дипломному проєкті за освітнім рівнем магістра проведено аналіз службового призначення призначення компресора ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4, до якого входить деталь «Маховик 4835.001.003» та технічні вимоги, що пред'являються до деталі. Визначений тип виробництва – середньо серійний. Вибраний спосіб отримання заготовки – штампування на КГШП.

Для 010 токарної з ЧПК, 025 свердлувальної з ЧПК та 035 горизонтально-протяжної операції обґрунтовані схеми базування, обрані металорізальні верстати, верстатне пристосування, металорізальні та вимірювальні інструменти, розраховані режими різання і норми часу.

В результаті наукових досліджень, розглянуто технологію поверхневого зміцнення інструментальних матеріалів шляхом нанесення дискретного дифузійного покриття

Розглянуто шкідливі фактори, що виникають під час виготовлення маховика.

МАХОВИК, КОМПРЕСОР, ШТАМПОВКА, ПРОТЯЖКА, СВЕРДЛО, ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ, ШАБЛОН, ЗРАЗКИ ШОРСТКОСТІ, ДИСКРЕТНЕ ДИФУЗІЙНЕ ПОКРИТТЯ

SUMMARY

Explanatory note: 93 pages, 17 figures, 26 tables, 26 sources of literature.

Object of study - "Flywheel 4835.003.001»

Purpose: To improve the technological process of manufacturing the flywheel 4835.003.001 by using high-performance tools and equipment.

In the diploma project on the educational level of the master the analysis of official appointment is carried out appointment compressor ZVS 1,6-2,3/230 UHL4, which includes the part «Flywheel 4835.001.003» and technical requirements for the part. The defined type of production is medium serial. The chosen method of obtaining the workpiece - stamping.

For 010 turning with NPK, 025 drilling with NPK and 035 horizontally extended operations substantiated base schemes, selected metal-cutting machines, machine tools, metal-cutting and measuring tools, calculated cutting modes and time norms.

As a result of scientific research, the technology is considered surface hardening of tool materials by applying a discrete diffusion coating

Harmful factors that occur during the manufacture of the flywheel are considered.

FLYWHEEL, COMPRESSOR, STAMPING, BRUSHING, DRILL, CRANKSHAFT, TEMPLATE, ROUGH SAMPLES, DISCRETE DIFFUSION COATING

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедрою

_____ Віталій ІВАНОВ

«___» грудня 2020 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
МАХОВИКА 4835.003.001 ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ
ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ОСНАСТКИ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра
Спеціальність 131 – прикладна механіка

Студент

Р.В. Коваленко

Керівник

П. В. Кушніров

Консультант з розділу охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

Суми – 2020

ЗМІСТ

	с.
Вступ	8
Розділ 1. Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі	10
1.1 Аналіз службового призначення машини, деталі. Опис їх конструктивних особливостей і умов експлуатації	10
1.2 Аналіз технічних умов і вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	15
1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації	18
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	22
1.5 Аналіз базового технологічного процесу	26
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	27
Розділ 2. Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	29
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі	29
2.2 Вибір і обґрунтування способу виготовлення	30
2.3 Розрахунок припусків на поверхні обертання	37
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	40
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	45
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів	47
2.7 Визначення режимів різання	48
2.8 Технічне нормування операцій	61
2.9 Проектування верстатного пристрою	66

Розділ 3. Науково-дослідна частина. Поверхнєве зміцнення інструментальних матеріалів шляхом нанесення дискретного дифузійного покриття	73
3.1 Характеристика існуючих методів зміцнення інструментальних матеріалів	73
3.2 Методика проведення процесу осадження дискретного дифузійного покриття	80
Висновки	88
Список використаних посилань	89
Додаток А Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	
Додаток Б Розрахунки припусків	
Додаток В Специфікація	
Додаток Г Креслення заготовки	
Додаток Д Креслення маршруту обробки	
Додаток Е Креслення налагодження	
Додаток Ж Креслення верстатного пристрою	
Додаток З Креслення деталі	



ВСТУП

Особливості сучасного розвитку машинобудівного виробництва – це постановка завдань, які направлені на зменшення тривалості часу розробки технологічних процесів, а як наслідок, підвищення якості проектних рішень.

Актуальність проблеми. Проектування технологічного процесу в сучасних умовах вимагає враховувати характер виробництва і оперативну можливість коригування технологічного процесу на кожному із етапів проектування. Модернізація сучасного промислового потенціалу, у зв'язку з економічною ситуацією в Україні, вимагає зростання фондооснащеності, технічного переозброєння, швидке оновлення основного капіталу, що спричиняє зменшення термінів її розробки та введення в серію, підвищення конкурентоспроможності продукції. Залучення наукового потенціалу до вирішення вище зазначених задач в майбутньому неодмінно призведе до економічного процвітання машинобудівної промисловості країни .

Зв'язок магістерської роботи з науковими програмами, темами, планами. Тематика роботи за кваліфікаційним рівнем магістра пов'язана з діючим науковим напрямом дослідження кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ, що містить розробки та вдосконалення технологічних процесів за номером державної реєстрації 0116U000933.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення деталі «Маховик 4835.003.001».

Предмет дослідження – технологія поверхневого зміцнення інструментальних матеріалів шляхом нанесення дискретного дифузійного покриття.

Мета роботи є виконання дипломного проекту за освітнім рівнем магістра є удосконалення механічних процесів виготовлення маховика за рахунок застосування прогресивних технологій, високопродуктивних інструментів та оснастки.

Завдання роботи:

- 1) Проаналізувати конструктивні особливості деталей класу маховик, виявити недоліки та усунути існуючих технологічних процесів їх обробки;
- 2) Проаналізувати існуючий технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) Розробити прогресивніший технологічний процес обробки деталі.

Методами дослідження є:

- теоретичний аналіз технологій і конструкцій;
- систематизація отриманої інформації;
- моделювання технологічних процесів зміцнення поверхневого шару ріжучого матеріалу;
- якісний і кількісний аналіз отриманих показників.

Наукова новизна: було визначено, що технологія поверхневого зміцнення інструментальних матеріалів шляхом нанесення дискретного дифузійного покриття підвищує показники твердості і зменшує знос поверхневого шару

Практичне значення отриманих результатів. Результати, отримані в результаті проведення досліджень, можуть бути рекомендовані до використання під час виготовлення деталей даного типу на підприємствах машинобудівного комплексу.

Власний внесок здобувача. Результати досліджень отримані здобувачем під керівництвом наукового керівника.

Структура дипломної роботи: вступ, 3 розділи, 8 додатків, список використаних посилань з 26 найменувань. Обсяг роботи 93 сторінки.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, деталі. Опис їх конструктивних особливостей і умов експлуатації

Деталь «маховик» (рис 1.1) входить до складу компресора ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4 - це поршнева, повітряна, статична компресорна установка, що призначена для отримання стисненого повітря з граничним значенням тиску до 20,4 МПа (240 кгс/см²), що використовується:

- на технологічних лініях машинобудівних виробництв;
- для пневмо-випробувань газопровідних магістральних;
- гірничій та нафтогазовидобувній промисловості.

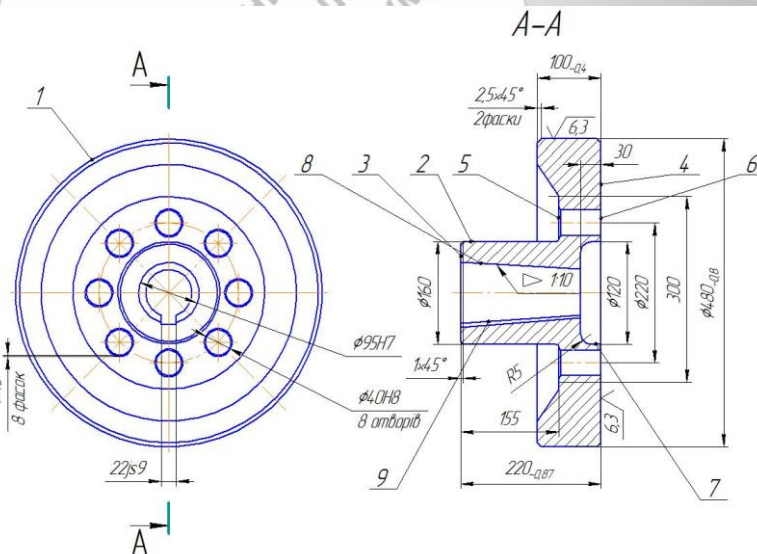


Рисунок 1.1 – Маховик 4835.003.001

Деталь «Маховик 4835.003.001» (рис 1.1) призначена для накопичення кінетичної енергії руху у процесі роботи компресора. За допомогою накопиченої енергії маховик виводить поршні з мертвих точок та підтримує рівномірність обертання колінчатого валу.

Програма випуску складає N=1000 деталей на рік.

На основі складального креслення проведемо опис поверхонь по службовому призначенні.

Таблиця 1.1 – Класифікація поверхонь за службовим призначенням

№	Вид поверхні	Номера поверхонь
1	Виконавчі	1
2	Основні конструкційні бази (ОКБ)	3
3	Допоміжні конструкційні бази (ДКБ)	8,9
4	Вільні	2,4,5,6,7

До виконавчих поверхонь віднесемо поверхню 1 діаметром 480 мм, шириною 100 мм, вона виконує функціональне призначення даної деталі.

Основною конструкторською базою є поверхня 3.

Допоміжні конструкторські бази визначають положення деталей у виробі – поверхні 8,9. Поверхня 9 визначає положення шпонки. Поверхня 8 є направляючою для валу.

Такі поверхні як 2,4,5,6,7 – вільні, оскільки вони не контактують з іншими поверхнями деталі при експлуатації виробу.

Деталь «Маховик 4835.003.001» є складовою частиною вузла «Електропривод», який входить до компресорної установки ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4 (рис 1.2), яка являє собою стаціонарну станцію загального призначення, в якій для стиснення повітря застосований поршневий компресор. Даний компресор – це Ш - подібна трирядну крейцкопфну машину з кутом розвалу осей циліндрів – 60°. Приводу компресора є електродвигун. Всі складові частини установки: газові комунікації, запірно-регулююча і запобіжна арматура, допоміжні системи (система масляна, система охолодження та ін.) – монтуються на єдиній рамі. Технічні характеристики компресорної установки ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4 приведені в таблиці 1.2



Рисунок 1.2 – Установка компресорна ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4



Рисунок 1.3 – Маховик компресора

Вид кліматичного виконання - УХЛ4, категорія розміщення 1 за ГОСТ 15150-69, для роботі при:

- температурі навколишнього середовища від 0 до 40⁰С;
- атмосферному тиску від 650 до 800 мм.рт.ст.;
- запиленості навколишнього середовища не більше 20 мг/м³.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики установки компресорної ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4 згідно паспортних даних

Найменування параметра	Одиниця виміру	Значення
Стискуваний газ	Атмосферне повітря	
Об'ємна продуктивність, приведена до початкових умов	м ³ /с	0,038±0,0019
Експлуатаційний діапазон температур стиснуваного повітря (температура початкова)	°С	-45...+45
Температура кінцева, не більше	°С	60
Тиск початковий, номінальний	МПа	0,101
Тиск кінцевий, номінальний, надлишковий	МПа	22,56
Потужність при частоті обертання вала 1500 об/хв., номінальній продуктивності та кінцевому тиску	кВт	48
Тип поршньового компресора	Ш-подібний, повітряний, поршньовий, 3-ступінчатий	
Тиск всмоктування	МПа	0,6
Тиск нагнітання	МПа	22,56
Витрати мастила на винос, не більше	г/год.	45
Система змащування компресора	Циліндрів – під тиском від багатовідвідного насоса; шатунної шийки колінчатого вала і тонкостінних вкладишів головок шатунів – під тиском від шестерневого насоса; Поршньових пальців, корінних підшипників, сальників – розбризкуванням.	
Тиск мастила в системі змащування	МПа	0,096...0,343
Привід компресора	Прямий через фрикційну муфту зчеплення і еластичну муфту “Bowex” з боку двигуна	
Частота обертання вала, не більше	об/с	12,25
Габаритні розміри установки:	мм	
- довжина		2000
- ширина		2020
- висота		1800
Маса	кг	2300

Забороняється використання установки в житлових забудовах без додаткових заходів щодо шумоглушіння і узгодження з Держсанепідемнаглядом.

Вузол «Електропривод», де працює дана деталь, складається з таких основних частин:

- електродвигун асинхронний паралельного збудження напругою 380 В, потужністю 48 кВт;
- еластична муфта «Bowex»;
- фрикційна муфта зчеплення;
- маховик.

Короткий опис деталі

Деталь «Маховик 4835.003.001» призначена для накопичення кінетичної енергії руху у процесі роботи компресора. Маховики застосовуються найчастіше у поршневих апаратах, там, де потрібно підтримувати заданий коефіцієнт нерівномірності ходу та виводити поршні з «мертвих положень». Умови роботи даної деталі – нормальні, середовище неагресивне. Частота обертання – 735 об/хв., окружна швидкість – 18,46 м/с.

З креслення деталі можна зазначити, що проєкції і перетинів достатньо, вони розміщені згідно існуючих стандартів: поверхні, розміри, шорсткість та точність, проставлені технічні вимоги на виготовлення деталі.

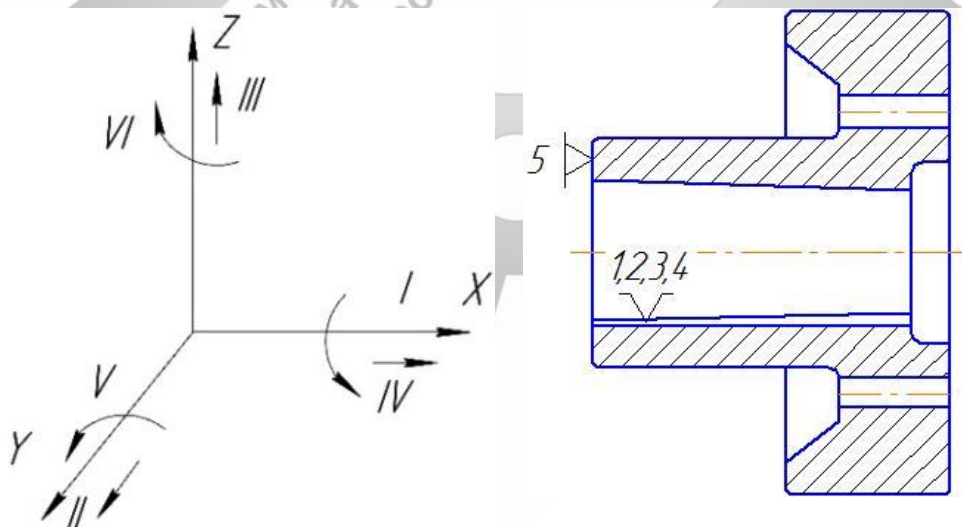


Рисунок 1.4 – Схема базування деталі в виробі

Таблиця 1.3 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені свободи	Назви баз
1,2,3,4	III, VI, V, II	Подвійно напрямна база
5	I	Опорна база
6	IV	Вакансія

Таблиця 1.4 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	0	1	1	Подвійна напрямна база
A	0	1	1	
L	1	0	0	Опорна база
A	0	0	0	
L	0	0	0	Вакансія
A	1	0	0	

1.2 Аналіз технічних умов і вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Призначення поверхонь деталі: центральний отвір деталі призначений для закріплення маховика на валу, шпонковий паз у отворі – для закріплення шпонки. 10 периферійних отворів призначені для надання маховику форми, максимально наближеної до форми кільця. Це робиться з метою покращення інерційних властивостей. Отвори на торці маховика необхідні для його балансування. Всі інші поверхні є вільними поверхнями.

Вивчаючи креслення даної деталі, я дійшов до висновку, що на кресленні приведено достатньо видів та проекцій, вони розміщені згідно вимогам існуючих стандартів, на всіх поверхнях позначені всі вихідні дані, які необхідні для виготовлення деталі: розміри, шорхності, допуски та технічні вимоги. Креслення виконано згідно з вимогами ЄСКД.

Аналізуючи призначення допусків форми та розміщення, можна дійти до висновку, що всі вони призначені вірно. Позиційний допуск та допуск паралельності периферійних отворів відносно центрального необхідні для точного розташування цих отворів, неточне розташування їх може призвести до

нерівномірності ходу маховика і нестабільної роботи приводу. Жорсткий допуск на радіальне биття призначений тому що велике радіальне биття при великій масі маховика може призвести до руйнування валу приводу.

Для забезпечення достатньої міцності та витривалості та простоти виготовлення застосований відповідний матеріал – сталь 25 ГОСТ 1050-88. Замінниками є сталі 20 і 30. Хімічний склад сталі 25 ГОСТ 1050-88 приведений в таблиці 1.5, механічні властивості – в таблиці 1.6.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сталі 25 ГОСТ 1050-88, у відсотках

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
Не більше								
0,22-0,3	0,17-0,37	0,5-0,8	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Таблиця 1.6 – Механічні властивості Сталі 25 ГОСТ 1050-88

Термообробка	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ
		МПа		%			
Не менше							
Загартовування Відпуск Нормалізація	100-300	195	390	20	45	49	111-156

Технологічні властивості: температура кування, °С: початку 1280, кінця 700. Охолодження на повітрі. Зварюваність – зварюється без обмежень, окрім деталей після ХТО. Способи зварювання: РДЗ, АДЗ під флюсом і газовим захистом, КТЗ. Оброблюваність різанням – в гарячекатаному стані при $\sigma_B = 450-490$ МПа

$K_{v\text{твстл}} = 1,7$, $K_{v\text{бст}} = 1,6$. Флокеночутливість – не чутлива. Схильність до відпускнуї крихкості – не схильна.

Відповідно до технічних вимог інші розміри та поверхні повинні бути виконані не гірше 14-го квалітету.

Слід зауважити, що більшість відхилень на розмір, точність форми та точність розташування не відповідають стандартним значенням, що не впливає на точність виготовлення самої деталі.

Аналіз робочого креслення деталі показав, що креслення деталі має достатню кількість видів, перерізів, які дають повне картину про конструктивні особливості деталі, а їх розташування відповідає вимогам ГОСТ 2.305-2008 Зображення – види, розміри, перерізи.

Розміри, граничні відхилення, шорсткість та допуски форми та розташування всіх поверхонь проставлені згідно вимог ГОСТ 2.307-2011 «Нанесення розмірів і граничних відхилень», ГОСТ 2.309-73 «Позначення шорсткості поверхонь», ГОСТ 2.308-2011 «Позначення допусків форми та розташування поверхонь», що дає змогу виготовити задану деталь потрібної точності відповідно до її службового призначення.

Надані технічні вимоги на виготовлення деталі, їх нанесення відповідає ГОСТ 2.316-2008 «Правила нанесення написів, технічних вимог і таблиць на графічних документа». Дотриманий порядок заповнення основного напису згідно вимог ГОСТ 2.104-2006 «Основні написи».

Креслення виконане за допомогою графічного редактора «Компас-3D» і відповідає вимогам ГОСТ 2.052-2006 «Електронна модель виробу. Основні вимоги». Отже, креслення виконане згідно вимог ЄСКД за ГОСТ 2.109-73 «Основні вимоги до креслень».

Зважаючи на конструкцію деталі, технічні вимоги та службове призначення зробимо висновок, що дана деталь працює в умовах нестабільних навантажень, але не піддається дії агресивних середовищ. Матеріал деталі задовольняє всім висунутим вимогам та забезпечує нормальну працездатність деталі у вузлі. Всі вимоги обумовленні функціональним призначенням деталі і невиконання їх при виготовленні знизить надійність роботи виробу і ККД при його експлуатації.

1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій K_{30} (згідно ГОСТ 3.1108-74), що показує відношення всіх технологічних операцій виконуючих підрозділом протягом певного періоду часу до числа робочих місць [8].

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1.1)$$

де ΣO – сумарна кількість операцій;

ΣP – сумарна кількість робочих місць.

Визначення штучно-калькуляційного $T_{шт-к}$ на всіх операціях беремо з базового технологічного процесу.

На підприємстві, що виготовляє деталь, служба маркетингу повинна вивчити ринок і проаналізувати, яка потреба в машинах, що випускає підприємство (в нашому випадку, 1000 штук/рік). Виходячи з цього, можна сказати що тип виробництва відноситься до серійного.

Штучний час візьмемо з базового технологічного процесу. Значення заносимо до таблиці 3.1.

Розрахункову кількість верстатів по операціям визначимо за формулою:

$$m_p = \frac{N_{річ} \cdot T_{шт-к}}{60 \times F_d \cdot \eta_{з.н.ср.}} \quad (1.2)$$

де $N_{річ}$ – річна програма випуску, 1000 шт;

F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, $F_d = 4029$ год;

$\eta_{з.н.ср.}$ – середнє значення коефіцієнта завантаження обладнання.

Маючи штучний час по кожній операції знайдемо кількість верстатів за формулою:

$$m_p = \frac{N \times T_{um}}{60 \times F\partial \times n_p}, \quad (1.3)$$

де N - річна програма випуску, шт.;

T_{um} - норма штучного часу, хв.;

$F\partial$ - дійсний річний фонд часу, год.;

n_p - нормативний коефіцієнт завантаження

$$m_{p005} = \frac{1000 \times 9,47}{60 \times 4029 \times 0,8} = 0,048$$

Приймаємо $P=1$ верстат. розрахуємо фактичний коефіцієнт завантаження:

$$n_{зф} = \frac{m_p}{P} \quad (1.4)$$

$$n_{зф.005} = \frac{0,048}{1} = 0,048$$

Кількість операцій, що виконуються на робочому місці розрахуємо по формулі:

$$O = \frac{n_{з.н.}}{n_{з.ф.}}, \quad (1.5)$$

$$O = \frac{0,8}{0,048} = 16,7 \approx 17 \text{ шт}$$

Решту розрахунків виконуємо аналогічно:

$$\sum O_i = 17+15+19+2+10+10=73$$

$$\sum P_i = 1+1+1+1+1+1=6$$

Коефіцієнт закріплення операцій складає:

$$K_{zo} = \frac{73}{6} = 12$$

Тип виробництва середньосерійний, що відповідає умові $10 < K_{z.o.} < 20$, $K_{z.o.} = 12$.

Подальші розрахунки слід виконувати для середньосерійного виробництва. Середньосерійному типу виробництва притаманна вузька номенклатура виробів, які випускаються у великій кількості, використання спеціальних і спеціалізованих верстатів, що розміщуються по ходу технологічного процесу.

Визначимо форму організації виробництва.

Добовий випуск деталей:

$$N_{\text{доб.}} = \frac{N_{\text{річ}}}{C} \quad (1.6)$$

де C – кількість робочих днів у році, $C=254$ дня

$$N_{\text{доб.}} = \frac{1000}{254} = 4 \text{ шт/день}$$

Добовий фонд часу роботи обладнання:

$$F_{\text{доб.}} = \frac{60 \cdot F_d}{254} \quad (1.7)$$

$$F_{\text{доб.}} = \frac{60 \cdot 4029}{254} = 952 \text{ хв.}$$

Середня трудомісткість механічних операцій:

$$T_{\text{ср.}} = \frac{\sum T_{\text{шт-к}}}{n} \quad (1.8)$$

де n – число механічних операцій, $n=6$;

$$T_{\text{ср.}} = \frac{146,32}{6} = 24,39 \text{ хв.}$$

Добова потужність потокової лінії при її завантаженні на 60% розраховується:

$$Q_{\text{доб.}} = \frac{F_{\text{доб.}}}{T_{\text{ср.}}} \cdot 0,6 \quad (1.9)$$

$$Q_{\text{доб.}} = \frac{952}{24,39} \cdot 0,6 = 24 \text{ шт.}$$

Порівнюючи $N_{\text{доб.}}=4 < Q_{\text{доб.}} = 24$ робимо висновок, що добовий випуск деталей менший за добову потужність потокової лінії, так як її завантаження становить 60%, використання однономенклатурної потокової лінії нерационально, отже, приймаємо групову форму організації праці.

Кількість деталей у партії

$$n = \frac{(N_{\text{річ}} \cdot a)}{254} \quad (1.10)$$

де $a = 10$ – періодичність запуску в днях.

$$n = \frac{1000 \cdot 10}{254} = 39,37$$

Приймаємо 40 шт.

Коротка характеристика визначеного типу виробництва

Середньосерійному типу виробництва притаманно виготовлення виробів великими серіями вузької номенклатури Партії повторюються з послідовною регулярністю за періодом запуску або кількістю виробів у партії. Головним принципом є виготовлення всієї партії цілком. Річна номенклатура випуску ширша за номенклатуру кожного місяця, $K_{з.о} = 10 - 20$ операцій.

Верстати застосовуються різних видів: універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані, агрегатні і з числовим програмним керуванням. Значна частина устаткування складається з універсальних верстатів, оснащених

як спеціальними, так і універсально-налагоджувальними (УНП) і універсально-збірними (УСП) пристосуваннями, що дозволяє знизити трудомісткість і здешевити виробництво.

Для переходу на обробку партії нових деталей необхідно переналагодити устаткування і технологічне оснащення (пристосування й інструмент).

Поряд з універсальними застосовуються спеціалізовані і спеціальні пристосування, спеціалізований і спеціальний різальний інструмент, вимірювальний інструмент: граничні калібри і шаблони, котрі забезпечують взаємозамінність оброблених деталей. Оснащення в серійному виробництві можна застосовуватися широко, тому зазначені засоби виробництва дають значний техніко-економічний ефект.

Серійне виробництво економічніше, ніж одиничне, бо застосовується ефективніше устаткування. Середня кваліфікація робітників вища, ніж у масовому виробництві, але нижче ніж в одиничному. Робітники високої кваліфікації працюють на складних універсальних верстатах, а також наладчиками використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Досягнення максимальної технологічності деталі дозволяє підвищити продуктивність праці, знизити витрати, зменшити час на виготовлення, при цьому забезпечуючи відповідну якість та точність.

Якісне оцінювання конструкції деталі полягає у забезпеченні вимог на технологічність отримання заготовки, механічної обробки та складання виробу. Якісне оцінювання ґрунтується визначається на основі досвіду виконавця. До якісних показників відносяться: конструкція деталі, матеріал деталі, спосіб отримання заготовки, установка на верстаті, розташування розмірів, допусків форми та розташування поверхонь, геометрична форма, можливість використання прогресивних способів обробки поверхонь тощо.

Матеріалом деталі «Маховик» є легована середньо-вуглецева сталь 25, яка проходить термічну обробку, внаслідок якої можуть з'явитися викривлення та дефекти при нагріванні чи охолодженні деталі. Деталь являє собою тіло обертання, тому більшість операцій можна виконати на токарних верстатах.

Кругла форма говорить про технологічність деталі при виготовленні заготовки, обробці чи контролі.

Нетехнологічними поверхнями є: шпонковий паз на внутрішній конусній поверхні. Для його виготовлення необхідно використовувати малопродуктивний протяжний верстат та дорогі протяжки. Технологічні фаски з центральним отвором – не дозволяють при протягуванні паза шпонки утворюватися задиркам на торцях.

Найточніший елемент деталі - центральний отвір, діаметром 95 мм з шорсткістю $R_a=2,5$ мкм, що відповідає сьомому квалітету точності.

Аналіз показав, що більшість поверхонь прості, а це значно полегшує обробку. Та і взагалі деталь складена з простих поверхонь. Більш складним є отримання шпонкового пазу на внутрішній конусній поверхні. Оброблювані поверхні зручно розташовані, що полегшує умови базування, закріплення на подальших механічних операціях. Після загального аналізу можемо зробити висновок: деталь – технологічна за формою поверхонь.

Маховик будемо вважати технологічним, адже він має невеликий перепад діаметрів, на деталі передбачені фаски, що дозволяє зручне підведення різального інструменту до поверхонь, ступінчасті поверхні деталі розташовані по принципу зростання, деталь складається з ділянок, що легко доступні для обробки різанням чи свердлінням. Обробка виконується уніфікованим ріжучим інструментом, а для контролю точності поверхні необхідно застосовувати вимірювальний інструмент.

Дану деталь можна виготовляти за допомогою універсального і спеціалізованого устаткування стандартним ріжучим інструментом. Отже, дана деталь – технологічна.

Кількісний аналіз технологічності.

Для зручності записуємо вихідні дані у таблицю 1.7

Таблиця 1.7 – Вихідні дані для кількісного аналізу

Найменування поверхні	Кількість поверхонь	Кількість уніфікованих поверхонь	Квалітет точності	Параметри шорсткості
Зовнішні циліндричні				
Диск маховика	1	1	1×6,3	1×14
Ступиця маховика	1	1	1×12,5	1×14
Внутрішні циліндричні				
Отвори на диску	8	8	8×0,8	8×8
Отвори на бічній поверхні диска	8	8	8×12,5	8×14
Торці				
Торець на диску	2	2	1×6,3; 1×12,5	2×14
Торець на ступиці	1	1	1×6,3	1×14
Лінійні поверхні				
Стінки шпонкового пазу	2	-	2×3,2	2×9
Основа пазу	1	-	1×3,2	1×9
Інші				
Конусна розточка	1	1	1×12,5	1×14
Центральний конічний отвір	1	1	1×1,6	1×7
Фаски	3	-	3×12,5	3×14
Фаски на отворах	8	-	8×3,2	8×14
Разом	37	23	-	-

Визначаємо кількісні показники технологічності:

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_z}, \quad (1.11)$$

де $Q_{y.e.}$ – кількість уніфікованих елементів;

Q_z – загальна кількість конструктивних елементів.

$$K_{y.e.} = \frac{23}{37} = 0,62$$

Коефіцієнт уніфікованих елементів менший 0,8, отже деталь є технологічною.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{A_{ср}}, \quad (1.12)$$

де $A_{ср}$ – середній квалітет точності.

$$A_{ср} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}}{\sum n_i}, \quad (1.13)$$

де n_i - кількість поверхонь деталі, яка точністю відповідає 1...19 квалітетам.

$$A_p = \frac{25 \times 14 + 8 \times 8 + 3 \times 9 + 1 \times 7}{37} = 12,1$$

$$K_{т.о.} = 1 - \frac{1}{12,1} = 0,92$$

Коефіцієнт точності більший від 0,8, отже деталь є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості поверхонь:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{ср}}, \quad (1.14)$$

де $B_{ср}$ – середня шорсткість поверхонь.

$$B_{cp} = \frac{3,2 \times 11 + 6,3 \times 3 + 0,8 \times 8 + 12,5 \times 14 + 1,6 \times 1}{37} = 6,4$$

$$K_{ш} = \frac{1}{6,4} = 0,15$$

Коефіцієнт шорсткості менший від 0,32, отже деталь є технологічною.

Проведені розрахунки дозволяють зробити висновок, що дана деталь «маховик» технологічна за всіма показниками.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу

Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Маховик», складений відповідно до технічних вимог для одержання даної деталі (рис. 1.1, табл. 1.8).

Маршрут обробки відповідає типовим технологічним процесам обробки деталей даного типу.

Базовий технологічний процес маховик 4835.003.001 складається з 6 механічних операцій: 3 токарних, 1 свердлувальної з ЧПК, 2 горизонтально-протяжних (див. табл. 1.8). На всіх операціях технологічного процесу витримується принцип постійності та суміщення баз, також забезпечується потрібна точність розмірів деталей.

Таблиця 1.8 – Базовий технологічний процес

№ операції	Назва операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Штампування			Прес
010	Токарно-гвинторізна	Точити начорно зовнішні поверхні деталі, підрізати лівий торець	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий (установча та напрямна бази)	Токарно-гвинторізний верстат з моделі 16K50

Продовження таблиці 1.8

1	2	3	4	5
015	Токарно-гвинторізна	Точити начорно зовнішні поверхні деталі, підрізати правий торець	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий (установча та напрямна бази)	Токарно-гвинторізний верстат з моделі 16K50
020	Токарно-гвинторізна	Точити зовнішні поверхні деталі	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий (установча та напрямна бази)	Токарно-гвинторізний верстат з моделі 16K50
025	Свердлувальна з ЧПК	Свердлити 8 отворів згідно керуючої програми	Пристосування спеціальне (установча та напрямна бази)	Вертикально-свердлувальний верстат моделі 2P135Ф3
030	Контрольна	Контролювати отвори		Стіл ВТК
035	Горизонтально-протяжна	Протягнути конічний отвір	Пристосування спеціальне (установча та напрямна бази)	Горизонтально-протяжний верстат 7A523
040	Горизонтально-протяжна	Протягнути шпонковий паз з шорсткістю $Ra = 6,3$ мкм	Пристосування спеціальне (установча та напрямна бази)	Горизонтально-протяжний верстат 7A523
045	Промивальна			Ванна
050	Контроль ВТК	Шліфувати поверхні		Стіл ВТК

Аналізуючи базовий технологічний процес можна зробити висновок, що більшість поверхонь отримуються за допомогою токарних та протяжних операціях.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Точність розмірів поверхонь забезпечена достатніми стадіями обробки, правильно підібраним ріжучим інструментом та засобами вимірювання, застосуванням відповідної МОР.

Слід зазначити, що послідовність виконання операцій для достатньої точності деталі призначено невірною, ступінь концентрації операції замала. Застосовується застаріле обладнання.

З метою реалізації вдосконаленого технологічного процесу необхідно застосовувати різального інструменту, оснащеного високопродуктивними новітніми матеріалами різальної частини.

Також необхідно спроектувати спеціальне пристосування для застосування на вертикально-свердлувальній операції.



РОЗДІЛ 2.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Аналізуючи базовий технологічний процес, робимо висновок, що при виготовленні маховика використовуються універсальні токарні та свердлильні верстати, що в умовах середньо-серійного типу виробництва доцільніше замінити на верстати з ЧПК та на радіально-свердлильні відповідно –це забезпечить зниження трудомісткості і підвищення продуктивності праці на цих операціях.

Таблиця 2.1 – Базовий технологічний процес

№ операції	Назва операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Штампуння			Прес
010	Токарна з ЧПК	Обробка згідно керуючої програми	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий (установча та напрямна бази)	Токарний верстат з ЧПК моделі 16K50T1
015	Токарна з ЧПК	Обробка згідно керуючої програми	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий (установча та напрямна бази)	Токарний верстат з ЧПК моделі 16K50T1
020	Токарна з ЧПК	Обробка згідно керуючої програми	Патрон трьохкулачковий самоцентруючий (установча та напрямна бази)	Токарний верстат з ЧПК моделі 16K50T1

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
025	Свердлувальна з ЧПК	Свердлити 8 отворів згідно керуючої програми	Пристосування спеціальне (установча та напрямна бази)	Вертикально- свердлувальний верстат моделі 2P135Ф3
030	Горизонтально- протяжна	Протягнути конічний отвір	Пристосування спеціальне (установча та напрямна бази)	Горизонтально- протяжний верстат 7A523
035	Горизонтально- протяжна	Протягнути шпонковий паз з шорсткістю Ra =6,3 мкм	Пристосування спеціальне (установча та напрямна бази)	Горизонтально- протяжний верстат 7A523
040	Промивальна			Ванна
045	Контроль ВТК	Шліфувати поверхні		Стіл ВТК

В удосконаленому технологічному процесі застосовується більш модернізоване обладнання, що дозволяє забезпечити високу точність обробку, підвищення продуктивність праці, а також дозволить наймати менш кваліфікованих робітників, що дозволить заощадити видатки на заробітну плату.

2.2 Вибір і обґрунтування способу виготовлення

Для отримання заготовок деталей машин необхідно врахувати такі фактори: матеріал деталі, призначення і конструкція, технічні вимоги, партію випуску, економічну доцільність виготовлення. З метою економії матеріалу та зменшення трудомісткості, конфігурація заготовки повинна бути максимально наближена до конфігурації деталі, а собівартість виготовлення повинні бути мінімальними. Заготовка повинна мати форму, яка дозволяє виконувати обробку з мінімальною кількістю установів. Матеріал заготовки повинен бути без тріщин, розшарувань.

Заготівки маховика можна виконувати способами:

- вільним куванням на кувальному молоті;
- отримана на пресах;
- штамповка, отримана на пресах і горизонтально-кувальних машинах.

Форма заготовок, що отримуються вільним куванням на молотах, не повторює форму готової деталі, але структура металу при цьому процесі покращується.

Штампуння заготовок в штампах виконується на кувальних молотах чи на фрикційних і гідравлічних пресах.

Штампуння на кувальних пресах має перевагу перед штампунням на молотах, адже, отримується точна штампована заготовка, у якої припуск менший на 30 % за заготовку, що отримується на молоті.

Штампуння на КГШП має ряд переваг в порівнянні зі штампунням на штампунвальних молотах:

1. Висока жорсткість преса дозволяє отримувати точніші поковки, особливо за висотою.
2. Застосування виштовхувача дає можливість знизити на 20 - 30% припуск та у два-три рази знизити штампунвальні ухили.
3. Висока продуктивність, так як процес штампуння проходить за один хід преса, штампунвального молота - за кілька ударів.
4. Здатність до автоматизації процесу штампуння.
5. Коефіцієнт корисної дії в три рази вищий, а ніж у молотів.
6. Собівартість виготовлення поковки на 15-25% нижча.
7. Поліпшені умови праці.

Виконаємо розрахунок припуску заготовки для поковки. Дані заносимо до таблиці 2.2

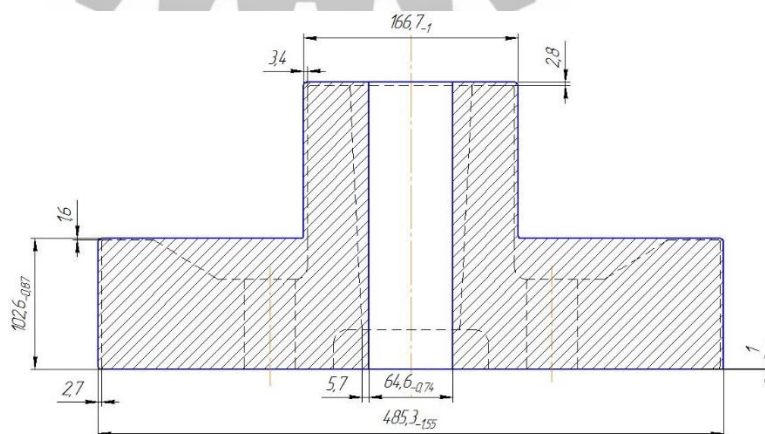


Рисунок 2.1 – Поковка

Таблиця 2.2 – Заготівка поковка

Розмір деталі	Клас точності	Шорсткість	Припуск [2], с.584, табл.3.	Допуск [3], с.169, табл.62	Розмір заготівки
Ø 480	8	3,2	2×2,65	$\begin{matrix} 0 \\ -1,55 \end{matrix}$	Ø 485,3 _{-1,55}
Ø 160	8	3,2	2×3,35	$\begin{matrix} 0 \\ -1,0 \end{matrix}$	Ø 166,7 ₋₁
100	14	6,3	$\begin{matrix} 1 \times 1,6 \\ 1 \times 1,0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ -0,87 \end{matrix}$	102,6 _{-0,87}
220	14	6,3	1×2,8	$\begin{matrix} 0 \\ -0,87 \end{matrix}$	222,8 _{-0,87}
Ø 73	7	3,2	2×4,2	$\begin{matrix} 0 \\ -0,74 \end{matrix}$	Ø 64,6 _{-0,74}

Визначаємо масу заготівки за формулою:

$$m_z = V_{заг} \times \gamma, \text{ кг} \quad (2.1)$$

де $V_{заг}$ - загальний об'єм, що складається з простих фігур;

γ - густина сталі; $\gamma = 7,8 \times 10^{-6}$ кг мм³

$$V_{заг} = V_1 + V_2 - V_3, \text{ мм}^3 \quad (2.2)$$

$$V_n = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \times l_n$$

$$V_1 = \frac{3,14 \times 166,7^2}{4} \times 121,2 = 2643890,57 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = \frac{3,14 \times 485,3^2}{4} \times 102,6 = 18783821,27 \text{ мм}^3$$

$$V_3 = \frac{3,14 \times 64,6^2}{4} \times 222,8 = 729877,34 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{заг}} = 2643890,57 + 18783821,27 - 729877,34 = 20697834,5 \text{ мм}^3$$

$$m = 20697834,5 \times 7,8 \times 10^{-6} = 161,44 \text{ кг}$$

Розрахуємо вартість заготовки: [1] с.31

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_1}{1000} \times Q \times K_m \times K_c \times K_e \times K_m \times K_n \right) - (Q - q) \times \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (2.3)$$

де C_i – базова вартість 1 тони заготовки, грн; $C_i = 22400$ грн;

$S_{\text{відх}}$ – вартість 1 тони відходів, грн; $S_{\text{відх}} = 2240$ грн;

K_m – коефіцієнт, який залежить від точності; $K_m = 1,0$ [1] с.37

K_c – коефіцієнт, який залежить від групи складності $K_c = 1,0$ [1] с.38

табл. 2.12;

K_e – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу $K_e = 2$ [1] с.38;

K_m – коефіцієнт, який залежить від маси заготовки, $K_m = 1,13$ [1] с.37;

K_n – коефіцієнт, який залежить від об'єму виробництва заготовки,

$K_n = 1$; [1] с.38 табл. 2.13.

Q – маса заготовки, $Q = 161,44$ кг;

q – маса деталі, $q = 121,55$ кг;

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{22400}{1000} \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 \times 1,13 \times 1,0 \times 161,44 \right) - (161,44 - 121,55) \times \frac{2240}{1000} = 8083,39 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу визначимо за формулою:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_q}{M_3}, \quad (2.4)$$

$$K_{вм} = \frac{121,55}{161,44} = 0,75$$

Визначимо припуски заготовки для заданої деталі – поковка. Дані заносимо до таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок припусків заготовки (штамповка)

Розмір деталі	Клас точності	Шорсткість	Припуск [4], с.149 табл.12	Допуск [4], с.32 табл.3.5	Розмір заготовки
Ø 480	8	3,2	2×3,8	+2,5 -1,5	Ø 487,6 ^{+2,5} _{-1,5}
Ø 160	8	3,2	2×3,2	+2,1 -1,1	Ø 166,4 ^{+2,1} _{-1,1}
100	14	6,3	1×1,6	+1,0 -0,4	Ø101,6 ^{+1,0} _{-0,4}
220	14	6,3	1×3,2	+1,0 -0,4	Ø 223,2 ^{+1,0} _{-0,4}

Зобразимо ескіз заготовки, що одержана методом штампування на ГШП

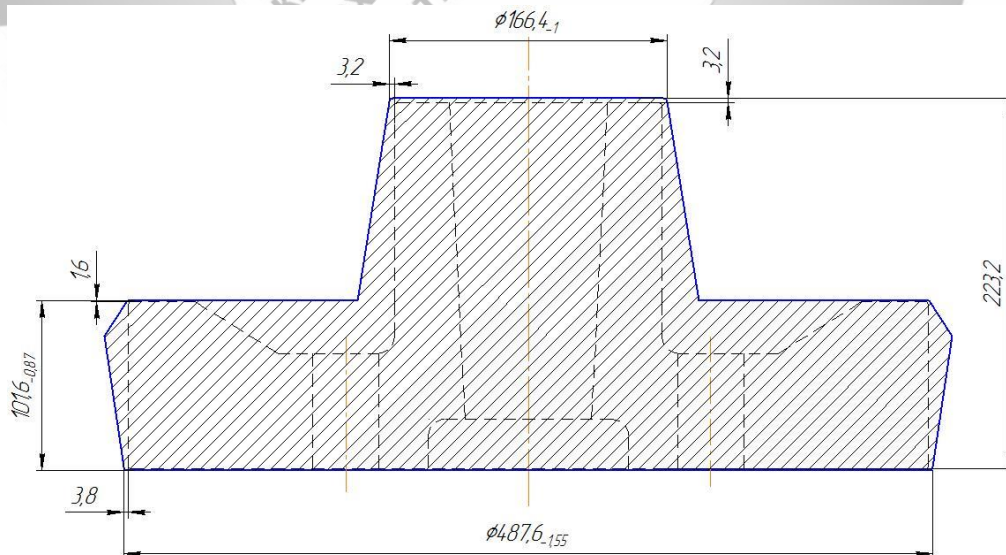


Рисунок 2.2 – Штамповка на ГШП (поковка)

Розрахуємо масу заготовки за формулою:

$$m_3 = V_{заг} \times \gamma, \text{ кг} \quad (2.5)$$

де $V_{заг}$ - загальний об'єм, який складається з простих фігур, мм³;

γ - густина сталі; $\gamma = 7,8 \times 10^{-6}$ кг×мм³

$$V_{заг} = V_1 + V_2, \text{ мм}^3 \quad (2.6)$$

$$V_n = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4} \times l_n$$

$$V_1 = \frac{3,14 \times 166,4^2}{4} \times 121,6 = 2643077,37 \text{ мм}^3$$

$$V_2 = \frac{3,14 \times 487,6^2}{4} \times 101,6 = 18962288,88 \text{ мм}^3$$

$$V_{заг} = 2643077,37 + 18962288,88 = 21605366,25 \text{ мм}^3$$

$$m = 21605366,25 \times 7,8 \times 10^{-6} = 168,52 \text{ кг}$$

Визначаємо вартість заготовки: [1] с.31:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_1}{1000} \times Q \times K_m \times K_c \times K_v \times K_M \times K_n \right) - (Q - q) \times \frac{S_{відх}}{1000}, \text{ грн} \quad (2.7)$$

де C_i - базова вартість 1 тони заготовки, грн; $C_i = 24800$ грн;

$S_{відх}$ - вартість 1 тони відходів, грн; $S_{відх} = 2480$ грн;

K_m - коефіцієнт, який залежить від точності; $K_m = 1,0$ [1] с.37

K_c - коефіцієнт, який залежить від групи складності $K_c = 1,0$ [1] с.38

табл. 2.12;

K_g – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу $K_g = 2$ [1] с.38;

K_m – коефіцієнт, який залежить від маси заготовки, $K_m = 1,13$ [1] с.37;

K_n – коефіцієнт, який залежить від об'єму виробництва заготовки, $K_n = 1$; [1] с.38 табл. 2.13.

Q – маса заготовки, $Q = 168,52$ кг;

q – маса деталі, $q = 121,55$ кг;

$$S_{заг} = \left(\frac{24800}{1000} \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 \times 1,13 \times 1,0 \times 168,52 \right) - (168,52 - 121,55) \times \frac{2480}{1000} = 9328,72 \text{ грн}$$

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{вм} = \frac{M}{M_3} \cdot q, \quad (2.8)$$

$$K_{вм} = \frac{121,55}{168,52} = 0,72$$

За економічними показниками буде доцільним отримувати заготовку методом штампування на ГKM, адже при цьому методі менша витрата матеріалу та собівартість виготовлення заготовки.

Визначаємо економічний ефект:

$$E_3 = (S_{заг2} - S_{заг1}) \times N, \text{ грн} \quad (2.9)$$

де $S_{заг1}$, $S_{заг2}$ - вартість зіставлених заготовок, грн.;

N – обсяг виробництва деталей, шт.

$$E_3 = (9328,72 - 8083,39) \times 1000 = 1245330,00 \text{ грн.}$$

2.3 Розрахунок припусків на поверхні обертання

Виконаємо розрахунок припусків на поверхню $\varnothing 480 h7\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,8 \end{smallmatrix}\right)$.

Послідовність обробки поверхні:

- чорнове точіння;
- напівчистове точіння;
- чистове точіння.

Розрахунок виконуємо при допомозі програми «PRIPUSK». В додатку Б наведено таблиця полів припусків та граничних розмірів обрахована за допомогою ЕОМ.

Таблиця 2.4 – Вихідні данні для розрахунку на ЕОМ

Методи обробки поверхні мм $\varnothing 480h7\left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,8 \end{smallmatrix}\right)$	Точність	Граничні відхилення	Елементи припуску, мкм			
			R _z	T	ρ	ϵ
Поковка	T4	± 3	250	250	1018	150
Точіння чорнове	кв. 12	-1,5	150	150	380	0
Точіння напівчистове	кв. 10	-1,0	50	50	80	0
Точіння чистове	кв. 7	-0,8	25	25	40	0

Сумарне відхилення розташування штампівки визначають за формулою [1] с. 67:

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} \text{ мкм} \quad (2.10)$$

де $\rho_{зм}$ - величина зміщення заготівки на поверхні штампа, мкм;

$$\rho_{зм} = 1000 \text{ мкм, табл. 18 с.187 [3]}$$

$\rho_{кор}$ - величина короблення, мкм.

$$\rho_{кор} = \Delta \times l, \text{ мкм} \quad (2.11)$$

де Δ – питома кривизна заготовки мкм/мм; $\Delta = 0,8$ мкм/мм, табл. 4.8, с.71 [1];

l – середня довжина обробки деталі, мм;

$$l = \frac{l_d}{2}, \text{ мм} \quad (2.12)$$

де l_d – повна довжина деталі, мм; $l_d = 480$ мм.

$$l = \frac{480}{2} = 240 \text{ мм}$$

$$\rho_{\text{кор}} = 0,8 \times 240 = 192 \text{ мкм}$$

$$\rho_o = \sqrt{1000^2 + 192^2} = 1018 \text{ мкм}$$

Для решти операцій величину просторових відхилень визначаємо за формулою с.73 [1]:

$$\rho_i = k_y \times \rho_o, \text{ мкм} \quad (2.13)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми [1] с.73.

Для чорнового точіння $k_y = 0,06$;

для чистового точіння $k_y = 0,05$;

Величина остаточного сумарного розміщення заготовки, після виконання переходу визначається за формулою:

$$\rho_{\text{чор}} = 0,06 \times 1018 = 61,08 \text{ мкм}$$

Визначаємо похибки під час установки і закріплення заготовки в процесі механічної обробки за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_s^2}, \text{ мкм} \quad (2.14)$$

де ε_6 – похибка базування, мкм;

ε_3 – похибка закріплення заготовки, мкм, табл.4.10, с.76 [1]

При зміщенні технологічної і вимірювальної баз похибка базування $\varepsilon_6=0$

Визначаємо похибку установки для закріплення деталі в пневматичному патроні: для чорнового точіння $\varepsilon_3=380$ мкм; для чистового точіння $\varepsilon_3=80$ мкм; для шліфування $\varepsilon_3=40$ мкм.

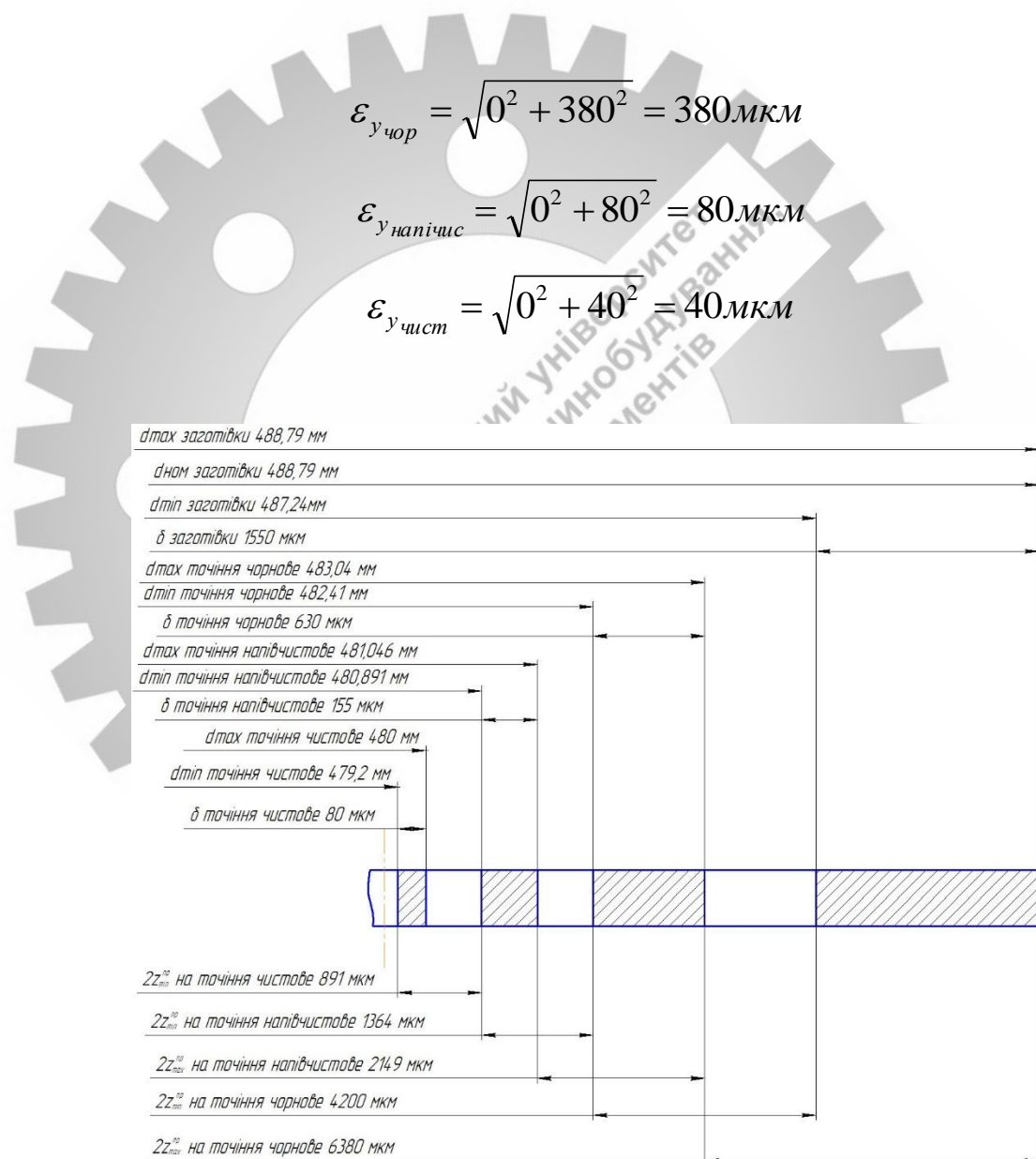


Рисунок 2.3 – Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку зовнішньої поверхні $\varnothing 480 \text{ h}7 \left(\begin{smallmatrix} 0 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \right)$.

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Операція 010 Токарна з ЧПК

На даній операції виконується обробка поверхні деталі згідно керуючої програми в послідовності:

- установити, закріпити та зняти заготовку;
- точити поверхні згідно керуючої програми.

Обробка проводиться на токарному верстаті з ЧПК 16K50T1.

Вибір схем базування і закріплення заготовки сильно впливає на точність і якість оброблюваних поверхонь, а також на подальший вибір верстатного устаткування та технічного оснащення. Схема базування повинна передбачати принципи сталості і єдності технологічної, конструкторської і вимірювальної баз, для забезпечення простого та зручного закріплення заготовки.

Для даного обладнання та форми заготовки притаманна лише одна схема базування – в трьохкулачкову патроні.

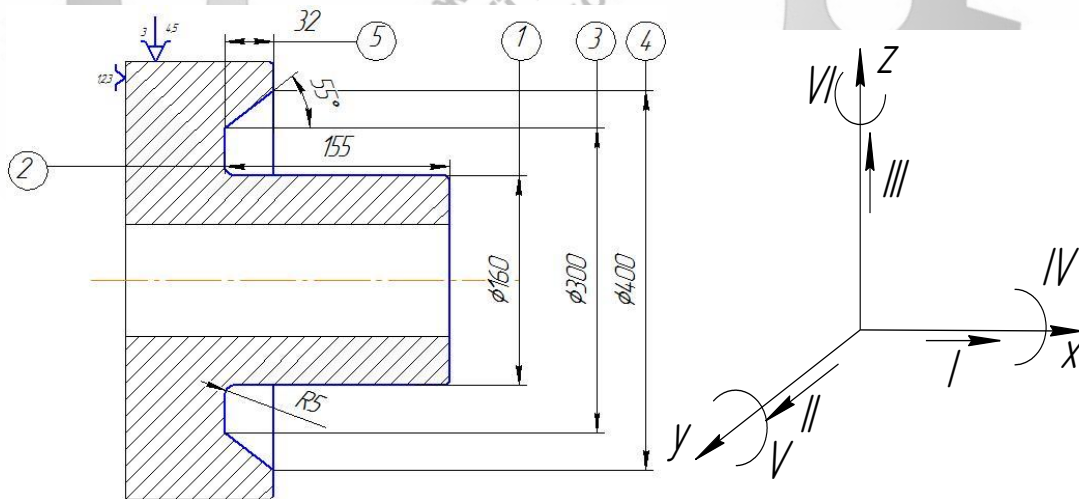


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на токарній операції

Таблиця відповідностей і матриця зв'язків приведені в табл. 2.5 і табл. 2.6

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1,2,3	II,IV,VI	Встановлювальна
4,5	III,I	Подвійна опорна
6	V	Вакансія

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	0	1	0	Встановлювальна
α	1	0	1	
L	1	0	1	Подвійна опорна
α	0	0	0	
L	0	0	0	Вакансія
α	0	1	0	

Оскільки, використовується самоцентруючий патрон, похибка базування відсутня.

Операція 025 Свердлильна з ЧПК

На даній операції свердлиться вісім отворів в послідовності:

- установити, закріпити та зняти заготовку;
- свердлити 8 отворів згідно керуючої програм, витримати розмір $\varnothing 40H8$.

Обробка проводиться на свердлильному верстаті 2P135Ф3 з ЧПК.

Перший спосіб закріплення: деталь надіта на палець по внутрішньому отвору. Дана схема базування є подвійно-напрямною опорною базою.

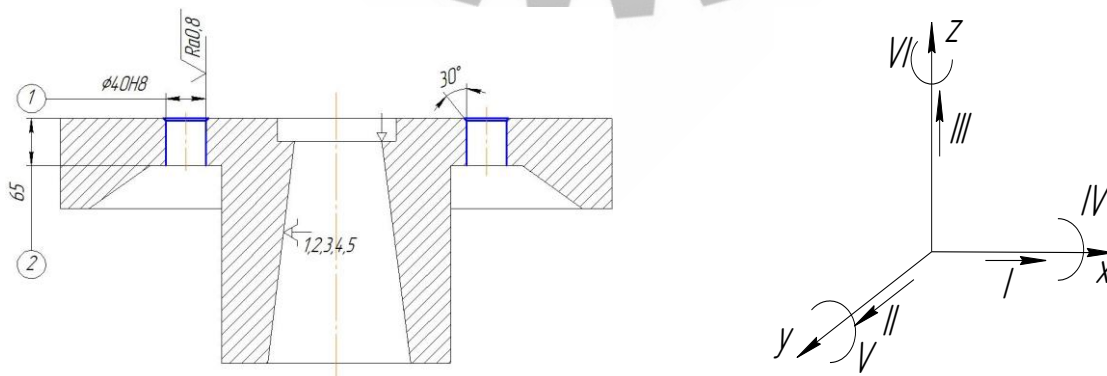


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки на свердлильну операцію

Таблиця відповідностей і матриця зв'язків приведені в табл. 2.7 і табл. 2.8

Таблиця 2.7 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1,2,3,4,5	I,II,III,IV,V	Подвійно-напрямна опорна
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	1	1	1	Подвійно-напрямна опорна
α	1	1	0	
L	0	0	0	Вакансія
α	0	0	1	

Аналізуючи матриці можна стверджувати, що заготовка буде позбавлятися п'яти ступенів вільності. Оскільки, розміри задані симетрично – це єдина схема базування. Похибка базування відсутня, тому що вимірювальна база співпадає з технологічною.

На даній операції можна використовувати інший спосіб закріплення заготовки за допомогою призм, одна з яких прикріплена до станини пристосування, а інша – рухома (рис 2.6). За установчу базу приймаємо торець заготовки, що позбавляє заготовку 3-х ступенів волі, а зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 480$ мм являється напрямною базою, позбавляючи заготовку 2-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється п'яти ступенів волі (табл. 2.9 і табл. 2.10).

Похибка базування буде рівна половині допуску на діаметр, $\varepsilon = \delta_{\varnothing 110} = 0,4$ мм.

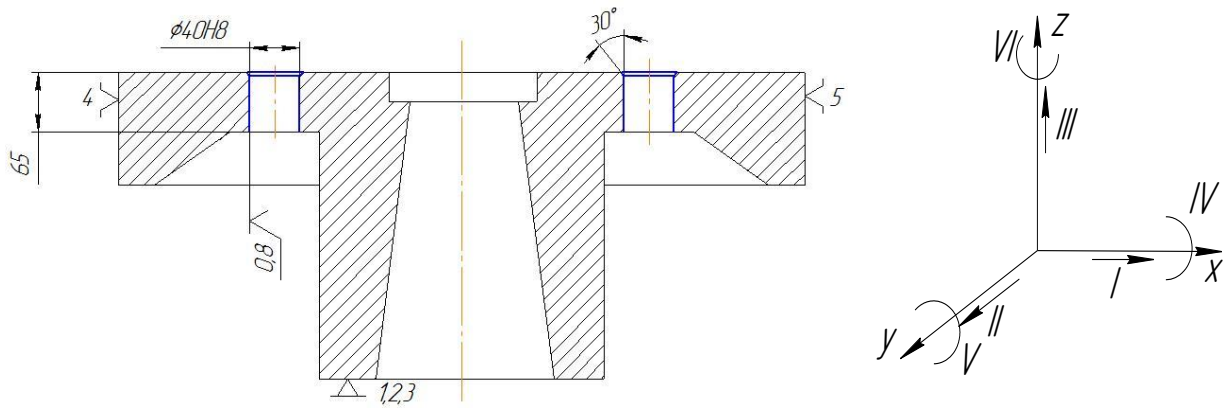


Рисунок 2.6– Схема базування заготовки в призмах

Таблиця 2.9 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1,2,3	III, IV, V	Установча база
4, 5	I, II	Напрямна база
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
УБ	L	0	0	1
	α	1	1	0
НБ	L	1	1	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	0	0	1

Приймаємо перший спосіб закріплення заготівки, оскільки, при даному способі похибка відсутня.

Операція 035 Горизонтально-протяжна

На даній операції протягується центральний отвір зі шпонковим пазом в послідовності:

- установити, закріпити та зняти заготівку;
- протягнути шпонковий паз.

Обробка на горизонтально-протяжному верстаті моделі 7A523.

Перший спосіб закріплення – за зовнішню поверхню (рис. 2.7). За даною схемою базування зовнішня поверхню є встановлювальною базою, а торець деталі 220 мм – подвійно-опорною.

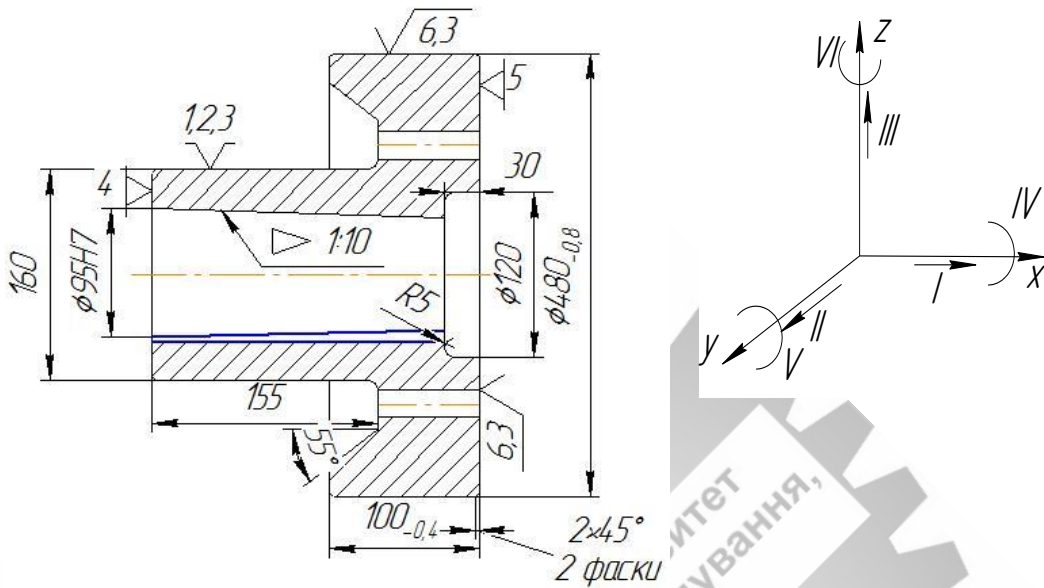


Рисунок 2.7 – Схема базування заготовки на протяжній операції

Таблиця відповідностей і матриця зв'язків приведені в табл. 6.9 і табл. 6.10

Таблиця 2.11 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1,2,3	II,IV,VI	Встановлювальна
4,5	III,I	Подвійна опорна
6	V	Вакансія

Таблиця 2.12 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	
L	0	1	0	Встановлювальна
α	1	0	1	
L	1	0	1	Подвійна опорна
α	0	0	0	
L	0	0	0	Вакансія
α	0	1	0	

Аналізуючи матриці можна зробити висновок, що заготовка буде позбавлена п'яти ступенів вільності. Похибка базування буду рівною допуску на лінійний розмір, $\varepsilon = \delta_{220} = 0,87$ мм.

Обираємо даний спосіб закріплення заготовки, оскільки, модель даного верстату та конструкція деталі не дозволяють застосування інших пристроїв.

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

На операції 010 Токарна з ЧПК можна використовувати верстати моделі 16K50T1 та 16K50, обираючи обладнання слід керуватися технологічними ознаками:

- технологічні методи обробки поверхонь, було розглянуто перелік верстатів, проаналізувавши які, був обраний токарно-гвинторізний верстат моделі 16K50T1 з ЧПК;

Технічні характеристики верстата наведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Основні технічні характеристики верстатів 16K50T1

Характеристика	Значення
Розміри робочої поверхні стола (довжина×ширина), мм	1000×545
Найбільший діаметр оброблювальної заготовки, мм	499
Допустиме навантаження на шпindel, кг	300
Діапазон частот обертання, об/хв	11,5-2400
Точність позиціонування, мм	0,025
Електродвигун приводу головного руху, кВт	11
Габарити верстата, мм	3500×1050×2600
Вага, кг	3600

На операції 025 Свердлильна з ЧПК можна застосування верстати моделі 2P135Ф3 та 2M55, обираємо обладнання, яке підходить за технологічними ознаками:

- технологічні методи обробки поверхонь, було розглянуто перелік верстатів, проаналізувавши який, був обраний свердлильний верстат моделі 2P135Ф3 з ЧПК;

- верстат моделі 2P135Ф3, так як він має меншу вагу та габаритами.

Технічні характеристики верстата наведені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Основні технічні характеристики верстатів 2P135Ф3

Характеристика	Значення
Розміри робочої поверхні стола (довжина×ширина), мм	1000×545
Найбільший діаметр свердління, мм	50
Допустиме навантаження на стіл, кг	300
Діапазон частот обертання, об/хв	31,5-1400
Точність позиціонування, мм	0,025
Точність повороту, мм	0,015
Електродвигун приводу головного руху, кВт	4
Габарити верстата, мм	3000×2050×2630
Вага, кг	2600

На операції 035 Горизонтально-протяжна обираємо обладнання, яке підходить за таким технологічним ознаками:

- технологічні методи обробки поверхонь, було розглянуто перелік верстатів, проаналізувавши який, був обраний горизонтально-протяжний верстат моделі 7A523;

- потужність двигуна верстата моделі 7A523 складає 11 кВт;

- у середньосерійному виробництві використовується універсальне устаткування.

Основні технічні характеристики наведені в табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Основні технічні характеристики верстатів

Характеристика	Значення
Номінальне тягове зусилля, кН	100
Найбільший довжина ходу робочих салазок, мм	1250
Найбільший діаметр заготовки, мм	500
Найбільша довжина протяжки, мм	1350
Швидкість робочого ходу, м/хв	1,5...12

Продовження табл. 2.15

1	2
Швидкість підводу протяжки, м/хв	11,2
Швидкість відводу протяжки, м/хв	18,8
Потужність головного руху, кВт	11,0
Габаритні розміри, мм	6000×1940×2300

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

У серійному типі виробництва використовуються універсальні та спеціальні пристосування, вимірювальний та різальний інструмент.

Операція 010 Токарна з ЧПК:

Для закріплення деталі використовуємо трьохкулачковий патрон, в якості оброблювального інструменту використовується – різець правий прохідний Т5К10 ГОСТ20872-80; різець канавочний Т5К10 ГОСТ 20874-75; різець контурний Т5К10 ГОСТ 18875.

- калібр-пробка спеціальна контролює діаметр $\varnothing 160$ мм;
- штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 контролює довжини;
- шаблон спеціальний

Операція 025 Свердлильна з ЧПК:

Для закріплення деталі використовуємо пристрій спеціальний пневматичний, обробка отворів виконується свердлом 2301-0166 ГОСТ 10903-77 з швидкорізальної сталі Р6М5 .

- калібр-пробка спеціальна використовується для контролю отвору $\varnothing 50$ мм;
- штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89 використовується для контролю довжини;
- зразки шорсткості 3,2; 6,3 Т ГОСТ 9378-93 використовується для контролю шорсткості поверхні.

Операція 035 Горизонтально-протяжна:

- пристрій спеціальний використовується для закріплення заготовки;
- протяжка шпонкова Р6М5 2405-1153 ГОСТ 18217-90;

– шаблон пазовий спеціальний;
зразок шорсткості Ra3,2 ГОСТ 9378-93 використовується для контролю шорсткості поверхні.

2.7 Визначення режимів різання

Режим різання визначаємо аналітичним методом за нормативами [2, 7], а норми часу на операцію – за нормативами [5].

Операція 010 Токарна з ЧПК

Розрахунки виконуємо за нормативами [10]

Вибір стадій обробки

На даній операції необхідно підрізати торець, обробити зовнішню поверхню та канавки

Вибір глибини різання

Визначаємо необхідну глибину різання:

Стадії обробки

підрізання торцю – 2,6 мм;

зовнішня поверхня – 3,4 мм;

канавка – А;

Вибір інструменту

На верстаті 16К50Ф3 використовують різці з профілем державки 25x25 мм, Товщина пластини – 6,4мм.

За додатком 1.5 с.299,с.302 приймаємо: твердий сплав марки Т30К4, пластина правильної тригранна.

За додатком 6 с.303 обираємо спосіб кріплення пластини –двоплечим прихватом за виїмку.

За додатком 7 с.304 вибираємо кути в плані: для різця з трьохгранною пластиною $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 10^\circ$.

За додатком 8 с.305 визначаємо решту геометричних параметрів різальної частини.

Вибір подачі

Для обробки подачу вибираємо по карті 6 с.46 $S_{от}=0,14$ мм/об.

По карті 8 с.48 – 49 визначаємо поправочні коефіцієнти на подачу обробки для зовнішньої поверхні змінених умов обробки в залежності від:

механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{SM} = 1,0$;

схеми установки заготовки $K_{sy} = 1,0$;

радіуса вершини різця $K_{sr} = 1,0$;

квалітету оброблюваної деталі $K_{sk} = 1,0$;

кінематичного кута в плані $K_{sk} = 0,8$.

Остаточна подача для чистової стадії обробки:

$$S_{от} = S_{от} \times K_{SM} \times K_{sy} \times K_{sr} \times K_{sk}, \text{ мм/об} \quad (2.15)$$

$$S_{от} = 0,14 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,8 = 0,11 \text{ мм/об}$$

Розраховану подачу для чистової стадії обробки по осьовій P_x і радіальній P_y складовим сили різання не проводиться.

Вибір швидкості різання

По карті 22 с.81 визначаємо швидкість різання для обробки поверхонь

$V_T = 380$ м/хв., поправочний коефіцієнт на швидкість різання в залежності від інструментального матеріалу $K_{vi} = 0,80$.

Поправочні коефіцієнти чистової стадії обробки, на швидкість різання для змінених умов в залежності від по карті 23 с.82 -84:

групи оброблюваності матеріалу $K_{vc} = 1,0$;

виду обробки $K_{vo} = 1,0$;

жорсткості верстата $K_{vj} = 1,0$;

механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{vm} = 1,0$;

геометричних параметрів різця $K_v = 1,0$,

періоду стійкості різальної частини $K_{vt} = 1,0$;

наявності охолодження $K_{vj} = 1,0$.

$$V_T = V_T \times K_{vi} \times K_{vc} \times K_{vo} \times K_{vj} \times K_{vm} \times K_v \times K_{vt} \times K_{vj}, \text{ м/хв} \quad (2.16)$$

$$V_T = 380 \times 0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 304 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертання шпинделя визначаємо по формулі:

$$n = \frac{1000 \times V}{\pi \times D} \text{ об / хв} \quad (2.17)$$

Розрахунок ведемо для максимальних діаметрів оброблюваних на стадіях

При чистовій стадії обробки:

$$n = \frac{1000 \times 304}{3,14 \times 160} = 605,1 \text{ об / хв}$$

Корегуємо частоту обертання шпинделя за паспортом верстата і приймаємо відповідно: $n = 2000 \text{ об/хв.}$

Фактичну швидкість різання визначаємо по формулі:

$$V_\phi = \frac{\pi \times D \times n_\phi}{1000} \text{ м / хв} \quad (2.18)$$

При обробці зовнішньої поверхні:

$$V_\phi = \frac{3,14 \times 160 \times 2000}{1000} = 1004,8 \text{ м / хв}$$

Для чистової стадії обробки коректуємо подачу в залежності від шорсткості обробленої поверхні.

По карті 25 с.86 – 87 визначаємо подачу для отримання шорсткості до $R_a = 3,2 \text{ мкм}$ $S_{от} = 0,19 \text{ мм/об.}$

По карті 26 с.88 визначаємо поправочні коефіцієнти на подачу в залежності від шорсткості обробленої поверхні для змінених умов в залежності від:

механічних властивостей оброблюваного матеріалу $K_{SM} = 1,0$;

інструментального матеріалу $K_{Si} = 1,0$;

вида обробки $K_{so} = 1,0$;

наявності охолодження $K_{сж} = 1,0$.

Остаточна подача максимально допустима по шорсткості для чистової стадії обробки:

$$S_o = S_{от} \times K_{SM} \times K_{si} \times K_{so} \times K_{сж}, \text{ мм/об} \quad (2.19)$$

$$S_o = 0,19 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,19 \text{ мм/об.}$$

Подача для зовнішньої обробки, яка була розрахована раніше, не перевищує цього значення $0,11 < 0,19$.

Для чистової стадії обробки перевірку по потужності не виконуємо.

Визначення хвилинної подачі

Хвилинну подачу визначаємо по формулі:

$$S_{хв} = S_o \times n_{ф}, \text{ мм/хв}$$

При обробці зовнішньої поверхні:

$$S_{хв} = 0,11 \times 2000 = 220 \text{ мм/хв}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{різ} = N_{повзд} + N_{поп}, \text{ кВт} \quad (2.20)$$

$$N_{повзд} = 2 \text{ кВт} [4], \text{ карта 8, с.49}; N_{поп} = 1.7 \text{ кВт} [4], \text{ карта 8, с.49.}$$

$$N_{різ} = 2 + 1.7 = 3,7 \text{ кВт}$$

Перевіряємо чи достатня потужність приводу верстата.

$$N_{різ} \leq N_o, \text{ кВт}$$

$$3,7 \text{ кВт} \leq 22 \text{ кВт}$$

Потужність різання менше потужності електродвигуна, тобто обробка можлива.

Визначаємо основний час обробки:

$$T_o = \frac{L}{V_s}, \quad (2.21)$$

$$T_o = \frac{220}{50} = 4,4 \text{ хв}$$

Обробка канавки

Вибір інструменту для обробки канавки

Для процесу різання необхідно, щоб бічна поверхня різця була вигнутою під радіусом, рівним мінімальному радіусу оброблюваної канавки. Розточування виконується з $\varnothing 160$, тому приймаю радіус вигину бічної поверхні РІ рівним 36 мм.

Профіль державки приймаю 25x25 мм, матеріал ріжучої пластини – ВК8, довжину державки – 120 мм.

Розраховую сили різання при обробці даним інструментом:

Оброблюваний матеріал – сталь 25 ГОСТ 1050-88, $\sigma_b = 170$ МПа, 120 НВ.

Максимальний діаметр оброблюваної канавки = 120 мм.

Глибина різання – 3 мм при 7 попередніх проходах, 2,5 мм – на заключному проході.

Величину подачі приймаю 0,07 мм/об.

Швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (2.22)$$

де C_v , m , y – коефіцієнт та показники ступеню;

T – стійкість різця, хв. Приймаю рівним 40 хв.

K_v – коефіцієнт

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (2.23)$$

де K_{Mv} – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки;

K_{nv} – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

K_{uv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструмента.

$$K_{Mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v}$$

$$n_v = 1,25$$

$$K_{Mv} = \left(\frac{190}{170} \right)^{1,25} = 1,15$$

Інші два коефіцієнта приймаю рівними 1,0.

Тоді:

$$K_v = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,25$$

Коефіцієнт та показники ступеню в формулі розрахунку швидкості різання:

$$C_v = 68,5; m = 0,20; y = 0,40$$

$$V = \frac{68,5}{30^{0,2} \cdot 0,07^{0,4}} \cdot 1,15 = 115,59 \text{ м / хв}$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 115,59}{3,14 \cdot 120} = 306,76 \text{ об / хв}$$

Верстат 16К50Ф3 має безступінчате регулювання швидкостей, отже, приймаю частоту обертання 307 об/хв.

Розраховуємо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 120 \cdot 307}{1000} = 115,68 \text{ м / хв}$$

Розраховую силу різання, яка виникає при обробці:

Тангенційна сила різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p, \text{ Н} \quad (2.24)$$

де C_p , x , y , n – коефіцієнт та показники ступеню;

K_p – коефіцієнт.

Коефіцієнт K_p розраховую за формулою:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}$$

де K_{Mp} – коефіцієнт, який враховує вплив якості матеріалу заготовки;

$K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} – коефіцієнт, який враховує вплив геометричних параметрів різця на складові сили різання.

$$K_{Mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n$$

$n = 0,4$ – показник ступеню при розрахунку сили P_z .

Коефіцієнти:

$$K_{Mp} = \left(\frac{190}{170} \right)^{0,4} = 1,05$$

$$K_p = 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,04 = 0,97$$

$$C_p = 139; x = 1,0; y = 1,0; n = 0.$$

$$P_z = 10 \cdot 139 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,07^{1,0} \cdot 115,68^0 \cdot 0,97 = 283,14 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{повзд}} + N_{\text{поп}}, \text{ кВт} \quad (2.25)$$

$$N_{\text{повзд}} = 2 \text{ кВт [4], карта 8, с.49}; N_{\text{поп}} = 1,7 \text{ кВт [4], карта 8, с.49}.$$

$$N_{\text{різ}} = 2 + 1,7 = 3,7 \text{ кВт}$$

Перевіряємо чи достатня потужність приводу верстата.

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{д}}, \text{ кВт}$$

$$3,7 \text{ кВт} \leq 11 \text{ кВт}$$

Потужність різання менше потужності електродвигуна, тобто обробка можлива.

Визначаємо основний час обробки канавок:

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{V_s},$$

$$T_o = \frac{21}{50} = 0,42 \text{ хв}$$

Остаточо час циклу автоматичної роботи верстата по програмі дорівнює:

$$T_{u.a} = 4,4 + 0,42 = 4,82 \text{ хв}$$

Операція 025 Свердлильна з ЧПК

На даній операції відбувається свердління 8 отворів Ø40. Різальним інструментом є спіральне свердло діаметром $D=40$ мм ГОСТ 10903-77

Матеріал різальної частини - швидкорізальна сталь P6M5

Обробка проводиться на вертикально-свердильному верстаті з ЧПУ 2P135Ф3, подачу приймаємо за таблицею [2, табл.25 с. 277]

Для отвору діаметром $D=40$ мм подача $S=0,66$ мм/об

Період стійкості інструменту $T=90$ хв [2, табл.30 с. 279]

Розрахункову величину швидкості різання визначаємо за формулою:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m S^y} K_v \text{ м/хв} \quad (2.26)$$

де C_v , q , y , m – поправочні коефіцієнти та показники степеню, що враховують умови свердління.

Приймаємо значення коефіцієнту C_v та показників степеню за [2, табл.28 с.278] $C_v = 9,8$; $q = 0,40$; $y = 0,50$; $m = 0,20$; $C_m = 1$.

K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{lv} \quad (2.27)$$

Де K_{Mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу

$$K_{Mv} = C_m \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1 \cdot \left(\frac{750}{640} \right)^{0,9} = 1,15$$

$K_{lv} = 1$ коефіцієнт що враховує стан поверхні заготовки

$K_{lv} = 0,85$ коефіцієнт що враховує глибину різання

$$K_v = 1,15 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,98$$

$$V_p = \frac{9,8 \cdot 40^{0,40}}{90^{0,2} \cdot 0,66^{0,50}} \cdot 0,98 = 21 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту оборотів шпинделя за формулою

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (2.28)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 21}{3,14 \cdot 40} = 167 \text{ об/хв.}$$

для верстата 2P135Ф3 приймаємо дійсне число оборотів: $n_d = 150$ об/хв;
Тоді дійсна швидкість різання дорівнює

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 150}{1000} = 18,84 \text{ м/хв.}$$

Крутний момент визначаємо по формулі:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (2.29)$$

Приймаємо значення коефіцієнту C_M та показників степеню за [2, табл.32 с.281] $C_M=0,0345$; $y=0,8$; $q=2,0$; $K_p = K_{mp}$

Поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу визначаємо за формулою:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{640}{750} \right)^{0,75} = 0,88 \quad (2.30)$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 40^2 \cdot 0,66^{0,8} \cdot 0,88 = 34,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Осьову силу визначаємо по формулі:

$$P_o = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (2.31)$$

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 40^1 \cdot 0,66^{0,7} \cdot 0,88 = 17895 \text{ Н}$$

Потужність різання

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9750} = \frac{34,8 \cdot 150}{9750} = 0,535 \text{ кВт} \quad (2.32)$$

Потужність верстата визначаємо за формулою:

$$N_{шп} = N_{дв} \cdot \eta, \quad (2.33)$$

де $N_{дв}$ - потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт;
 η - механічний ККД.

$$N_{шп} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ кВт}$$

Таким чином, $N_e < N_{шп}$. З цього випливає, що обладнання забезпечить достатню потужність для обробки.

Визначаємо основний час різання за формулою:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i, \text{ хв} \quad (2.34)$$

де $i = 6$ – кількість проходів;

L – довжина робочого ходу інструмента, мм.

Довжину робочого ходу інструмента визначаємо за формулою:

$$L = l_0 + l_1 + l_2, \text{ мм} \quad (2.35)$$

де l_0 – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – довжина врізання інструменту, мм;

l_2 – довжина перебігу інструменту, мм, $l_2 = 2$ мм [6].

$$l_1 = 0,4 \cdot D = 0,4 \cdot 40 = 16 \text{ мм}$$

$$L = 70 + 16 + 2 = 82 \text{ мм}$$

$$T_0 = \frac{82}{150 \cdot 0,66} \cdot 8 = 6,63 \text{ хв}$$

Операція 035 Горизонтально-протяжна

Визначаємо режими різання табличним методом на горизонтально-протяжну операцію на горизонтально-протяжному верстаті моделі 7А523.

Обираємо різальний інструмент. Для протягування шпонкового пазу $b=22$ мм обираємо протяжку шпонкову зі швидкорізальної сталі ГОСТ18217-90. Визначення режиму різання при протягуванні починаємо із встановлення групи оброблюваності матеріалу (табл. 49, с.454, [16].). При обробці вуглецевої конструкційної сталі 45 з твердістю 207 НВ група оброблюваності – I.

Подача при протягуванні являється елементом конструкції протяжки.

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = P \cdot B, \text{Н} \quad (2.36)$$

де P – сила різання в Н на 1мм довжини різальної кромки ([15] таблиця 51, с. 455). При обробці конструкційної сталі 45 з твердістю 207 НВ $P = 273$ Н.

B – сумарна довжина різальних кромки, які одночасно беруть участь у різанні.

$$B = \frac{b \cdot Z_p}{Z_c}, \text{мм} \quad (2.37)$$

де b – ширина шпонкового пазу, мм;

Z_p – найбільше число одночасно працюючих зубів протяжки;

Z_c – число зубів протяжки в секції;

$$Z_p = \frac{l}{t} + 1, \quad (2.38)$$

де l – довжина протягуваного отвору, мм;

t – крок зубів протяжки, мм;

$$Z_p = \frac{215}{14} + 1 = 17,$$

$$B = \frac{22 \cdot 17}{1} = 374 \text{ мм},$$

$$P_z = 273 \cdot 374 = 102,1 \text{ кН}$$

Перевіримо чи достатня тягова сила верстата. Необхідно щоб виконувалася умова:

$$P < Q \quad (2.39)$$

де Q – тягова сила верстата, кН;

$$102,1 < 400$$

Отже, процес протягування можливе.

Визначаємо швидкість різання ([16] табл. 48.). При групі швидкості різання I $V_{\text{різ}} = 10 \text{ м/хв}$.

Визначаємо швидкість різання, яка допустиму потужністю електродвигуна верстата за формулою:

$$V_d = \frac{60 \cdot 1020 \cdot N \cdot \eta}{P_z}, \text{ м/хв} \quad (2.40)$$

$$V_d = \frac{60 \cdot 1020 \cdot 37 \cdot 0,85}{102100} = 18,85 \text{ м/хв}.$$

Швидкість різання V порівнюємо з допустимою швидкістю різання V_d , так як $10 < 18,85$ ($V < V_d$), то за розрахункове значення швидкості різання приймаємо 10 м/хв .

Коректуємо знайдене значення за паспортними даними верстата. Остаточо приймаємо $V = 6,15 \text{ м/хв}$.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{L_{p,x}}{1000 \cdot V \cdot q} \cdot K \cdot i, \text{ хв}$$

де $L_{p,x}$ – довжина робочого ходу;

$$L_{p,x} = l_n + l + l_{\text{дод}}, \text{ мм} \quad (2.41)$$

де l_n – довжина робочої частини протяжки;

l – довжина оброблюваної поверхні;

$l_{\text{дод}}$ – величина на вхід та вихід протяжки; $l_{\text{дод}} = 30-50$ мм;

$$L_{p,x} = 602 + 215 + 47 = 864 \text{ мм}$$

q – кількість одночасно оброблюваних деталей;

K – коефіцієнт, який враховує відношення швидкості різання і швидкості холостого ходу (вибирається з паспорта верстата);

$$K = \frac{V}{V_x} + 1, \quad (2.42)$$

$$K = \frac{6,15}{20} + 1 = 1,31$$

i – число проходів.

$$T_o = \frac{864}{1000 \cdot 6,15 \cdot 1} \cdot 1,31 \cdot 1 = 0,18 \text{ хв}$$

2.8 Технічне нормування операцій

В серійному виробництві необхідно визначати норму штучно-калькуляційного часу. Технічне нормування операції виконуватимемо розрахунково-аналітичним методом в наступній послідовності [9].

Знайдемо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт-шк}} = \frac{T_{\text{пз}}}{n_3} + T_{\text{шт}}, \text{ хв} \quad (2.43)$$

де $T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заклучний час, хв.;

n_3 – розмір партії деталі, що запускається у виробництво, шт.

$T_{шт}$ – штучний час на операції, хв.;

Визначаємо штучний час на операцію за формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} \cdot \left(1 + \frac{a_{орг} + a_{відп}}{100}\right), \text{ хв} \quad (2.44)$$

де $T_{оп}$ – операційний час, хв.;

$a_{орг}$ – витрати часу на технічне обслуговування робочого місця, %;

$a_{орг} = 5\%$;

$a_{відп}$ – витрати часу на відпочинок та особисті потреби, %; $a_{відп} = 8\%$

$$T_{оп} = T_o + T_d, \text{ хв} \quad (2.45)$$

де T_o – основний час на операцію, хв.;

T_d – допоміжний час на операцію, хв.;

$$T_d = T_{уст} + T_{пк} + T_{вим}, \text{ хв} \quad (2.46)$$

де $T_{уст}$ – час на установку та зняття деталі, хв.;

$T_{пк}$ – час на прийоми керування, хв.;

$T_{вим}$ – час на вимірювання, хв.;

Операція 010 Токарна з ЧПК

Визначаємо норми штучно-калькуляційного часу на фрезерно-центрувальну операцію 005.

$$T_{шт} = (T_o + T_d) \times \left(1 + \frac{a_{відп} + a_{обсл}}{100}\right), \text{ хв}$$

де T_o – норма основного часу на операцію, хв; $T_o = 4,82$ хв.;

$a_{відп}$ – час на відпочинок і особисті потреби, відсотках від оперативного часу, $a_{відп} = 4,0\%$ [1], с.213 табл.5.22;

$a_{обсл}$ – час на обслуговування робочого місця, в відсотках від оперативного часу $a_{обсл} = 4,0\%$ [1], с.212 табл.5.21;

T_d – допоміжний час, хв.

$$T_d = T_{уст} + T_{пер} + T_{вим,ХВ}.$$

де $T_{уст}$ – час на установку і зняття деталі табл. 5.6, с.200 [1];

$T_{пер}$ – час пов'язаний з переходом табл.5.8, с.202 [1];

$T_{вим}$ – час на вимірювання табл.5.10, с.206 [1].

$$T_d = 1,3 + 0,05 + 0,25 = 1,6 \text{ хв}$$

Сумарний штучний час на токарну з ЧПК операцію № 005 складає:

$$T_{шт.} = (4,82 + 1,6) \times \left(1 + \frac{4+4}{100}\right) = 6,93 \text{ хв}$$

Операція 025 Свердлильна з ЧПК

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{обс} + T_n, \text{ хв}$$

Де T_0 – основний час на операцію, хв.;

T_d – допоміжний час, хв.;

$T_{обс}$ – час обслуговування робочого міста, хв.;

T_n – час на особисті потреби, хв.;

$$T_d = T_{уст} + T_{пер} + T_{зм}, \text{ хв}$$

де $T_{уст} = 0,3$ хв – час на установку і зняття деталі [6].

$T_{пер} = 0,32$ хв – час пов'язаний з переходом [6].

$T_{зм} = 0,10$ хв – час на змінення режимів роботи та на зміну інструменту [6].

$$T_d = 0,3 + 0,32 + 0,10 = 0,72 \text{ хв}$$

Час $T_{обс}$ і T_n приймаємо в відсотковому відношенні від оперативного часу:

$$T_n = T_0 + T_d, \text{ хв}$$

де $T_0=6,63$ хв.

$$T_n=6,63+0,72=7,35 \text{ хв}$$

$T_{обс} = 3,5 \%$ від T_n – технічне обслуговування робочого місця;

$$T_{шт} = 6,63 + 0,72 + 0,135 + 7,35 = 14,84 \text{ хв}$$

Дана деталь виготовляється в умовах середньосерійного виробництва, тому розраховуємо технічні норми штучно-калькуляційного часу та складових за формулами:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{п.з}/n, \text{ хв}$$

де $T_{п.з.} = 16$ хв – підготовчо заключний час витрачається на ознайомлення з кресленням, налагодження обладнання і пристроїв;

n – кількість деталей в партії;

Отже, штучно калькуляційний час становить:

$$T_{шт-к} = 14,84 + 16/40 \approx 15,24 \text{ хв}$$

Операція 035 Горизонтально-протяжна

Для визначення штучного часу потрібно визначити операційний час, що складається з основного та допоміжного.

$$T_{оп} = T_0 + T_d, \text{ хв}$$

де T_0 – основний час, розрахований в пункті 2.8.3 $T_0 = 0,18$ хв.

T_d – допоміжний час, визначаємо за формулою:

$$T_d = T_{уст} + T_{кр} + T_{вим}, \text{ хв}$$

де $T_{уст}$ – час на установку и зняття деталі, $T_{уст} = 0,29$ хв.; табл. 5.5 с. 201 [1];

$T_{кр}$ – час на прийняття керування, $T_{кр} = 0,09$ хв.; табл. 5.8 с. 202-203 [1];

$T_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $T_{\text{вим}}=0,1$ хв. табл.5.14 с. 208 [1].

$$T_{\text{д}}=0,29+0,1+0,09=0,38 \text{ хв}$$

$$T_{\text{оп}}=0,18+0,38= 0,56 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = 0,56 \times \left(1 + \frac{8}{100} \right) = 0,6 \text{ хв}$$

Розраховуємо підготовчо-заклучний час:

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з}_1} + T_{\text{п-з}_2} + T_{\text{п-з}_3}, \text{ хв}$$

$T_{\text{п-з}_1}$ – час на прийоми які увійшли в комплекс, хв. (карта 67, с. 253);

$T_{\text{п-з}_2}$ – час на додаткові роботи, хв. (карта 67, с. 253);

$T_{\text{п-з}_3}$ – час на пробну обробку деталі, хв. (карта 67, с. 253).

$$T_{\text{п-з}} = 23 + 3 + 2,5 = 28,5 \text{ хв}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \text{ хв}$$

n – кількість деталей в партії, шт.

$$T_{\text{ш-к}} = 0,6 + \frac{28,5}{40} \approx 1,31 \text{ хв}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

При виконанні дипломного проєкту виникла необхідність спроектувати пристрій на операцію 025 Вертикально-свердлильна з ЧПК, оскільки, в базовому технологічному процесі заготовка закріплювалася в універсальному пристосуванні.

Спроектуємо новий пристрій оснащений пневмоприводом, його використання допоможе зменшити час на установку, закріплення заготовки, що призведе до зменшення допоміжного часу, як результат, собівартість деталі. Слід відмітити, що використання такого верстатного пристрою збільшить точність та стабільність параметрів, що отримуються на операції.

На операції 025 Вертикально-свердлильна з ЧПК необхідно обробити 8 отворів.

Умовою досягнення точності деталі є досягнення точного базування деталі в пристосуванні, при тому що точність верстата повинна задовольняти отримувані параметри.

Згідно вимог креслення на заданій операції необхідно отримати вісім отворів $\varnothing 40H8$

Точність форми.

Конструктором не позначено точність форми поверхонь, тому назначаємо їх відповідно з нормальною геометричною точністю – А згідно з ГОСТ 24643-81.

Точність розміщення поверхонь.

Конструктором заданий позиційний допуск, відхилення його становить 0,045 мм на діаметр відносно зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 341,894_{-0,089}$ мм.

При цьому цей допуск є залежним.

Шорсткість вершин зубців $R_a = 5,0$ мкм, а впадин - $R_a = 2,5$ мкм

Базові поверхні:

Точність розмірів.

- торці виконануються в розмір $80_{-0,74}$ мм. Допуск $T=0,74$ мм, що відповідає 12 квалітету точності;

- зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 480$ мм, допуск якої складає $T=0,8$ мм – відповідає 8 квалітету точності;

- внутрішній отвір $95^{+0,03}$ мм – відповідає 7 квалітету точності.

Точність форми.

Конструктором не визначено точність форми отриманих поверхонь, тому назначаємо їх відповідно з нормальною відносною геометричною точністю – А згідно з ГОСТ 24643-81.

Точність розміщення поверхонь.

Конструктором задане торцеве биття, відхилення його становить $0,045$ мм відносно бази А, тобто отвору $\varnothing 95H7^{(+0,03)}$ мм.

Шорсткість базових поверхонь: торця – $R_a = 2,5$ мкм; циліндричної поверхні – $R_a = 5,0$ мкм.

Визначення умов, в яких буде виготовлятися та використовуватись пристосування, що проектується.

Пристрій встановлюється на зубофрезерному верстаті моделі 2Р135Ф3.

Верстат оснащено системою охолодження. Захисний кожух не дозволить в процесі обробки розлітатися стружці та охолоджуючій рідині.

Робоча температура навколишнього середовища $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ}C$, відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск $P_{ат} = 86 \dots 106$ кПа, швидкість руху повітря – $0,5$ м/с, частота вібрації, виниклих в результаті роботи обладнання в цеху $f=20-30$ Гц, освітлення приміщення (місцеве освітлення) 1500 Люкс.

Складаємо перелік виконуваних функцій:

0 – Переміщення та попередня орієнтація пристосування.

1 – Базування заготовки.

2 – Закріплення заготовки.

3 – Базування пристосування на верстаті.

4 – Закріплення пристосування на верстаті.

5 – Підвід та відвід енергоносіїв.

6 – Утворення сили для закріплення.

7 – Управління енергоносіями.

8 – Обробка заготовки.

9 – Досягнення безпечних умов праці.

10 – Об'єднання функціональних вузлів.

При проектуванні пристрою перевагу слід віддавати перевіреним конструкціям.

Розрахунок пристосування на точність

Похибка базування в пристосуванні знаходиться за формулою:

$$\varepsilon_6 = S_{max} = TD + Td + S_{min}, \text{ мм} \quad (2.47)$$

де TD – допуск на отвір, мм; $TD = 0,03$ мм;

Td – допуск на вал, мм; $Td = 0,089$ мм;

S_{min} – мінімальний зазор, мм; $S_{min} = 0$

$$\varepsilon_6 = 0,03 + 0,8 + 0 = 0,83 \text{ мм}$$

Похибка базування допустима визначається за формулою:

$$[\varepsilon_6] = T + \omega \cdot K, \text{ мм} \quad (2.48)$$

де T – допуск на розмір, що отримується, мм; $T = 0,8$ мм;

ω – середня економічна точність обробки деталі на заданій операції; $\omega = 0,125$;

K – коефіцієнт серійності; $K = 0,6$;

$$[\varepsilon_6] = 0,8 + 0,125 \cdot 0,6 = 0,875 \text{ мм}$$

Розрахункова похибка базування порівнюється з допустимою. Необхідно, щоб виконувалася умова:

$$\varepsilon_6 \leq [\varepsilon_6] \quad (2.49)$$

$$0,83 \leq 0,875$$

Похибка базування не перевищує гранично допустиму.

Отже, умова виконується. Пристосування забезпечить необхідну точність.

Розрахунок сил затиску

Розраховую силу затиску, яка необхідна для надійного закріплення деталі при обробці.

Сила затиску обчислюється за формулою (2.50):

$$W = \frac{k \cdot M_{кр} \cdot n}{\frac{1}{3} \cdot f \cdot \left(\frac{D_1^3 - D^3}{D_1^2 - D^2} \right)}, \text{ Н} \quad (2.50)$$

де W – сила затиску, Н;

k – коефіцієнт запасу;

f – коефіцієнт тертя в робочих поверхнях зажимів;

$M_{кр}$ – обертовий момент на свердлі в Н·мм;

n – число одночасно працюючих свердел;

D_1, D – діаметри; $D_1 = 160 \text{ мм}$, $D = 95 \text{ мм}$;

$k_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$k_1 = 1,0$ – враховує збільшення сил різання через нерівності на поверхнях;

$k_2 = 1,0$ – збільшення сил різання через затуплення ріжучого інструменту;

$k_3 = 1,0$ – збільшення сил різання при переривчастому різанні.

$k_4 = 1,2$ – постійність сили закріплення;

$k_5 = 1,0$ – враховує ергономіку ручних затискних механізмів;

$k_6 = 1,0$ – враховує наявність моментів.

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,79$$

Визначаємо обертовий момент за формулою (2.51):

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{кр}, \text{ Н/мм} \quad (2.51)$$

де $C_n = 0,0345$; $q = 2$; $y = 0,8$; $x = 0$

$$M_{кр} = 10 \cdot C_n \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{мр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 0,6^{0,8} \cdot 95^2 \cdot 1,79 = 10582 \text{ Н/мм}$$

Визначаємо осьову силу за формулою (2.52):

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{мр}, \text{ Н} \quad (2.52)$$

де $C_p = 68$, $q = 1$, $y = 0,7$, $x = 0$

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_{мр} = 10 \cdot 68 \cdot 95^2 \cdot 0,6^{0,7} \cdot 1,79 = 162,58 \text{ Н}$$

За формулою (2.50) визначаємо силу затиску:

$$W = \frac{1,79 \cdot 10582 \cdot 1}{\frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot \left(\frac{160^3 - 95^3}{160^2 - 95^2} \right)}, = 1181,7 \text{ Н}$$

Вибір та розрахунок силового приводу

В якості силового приводу для затиску деталі обираємо пневмоциліндр односторонньої дії, де затиск виконується силою стисненого повітря, а розтиск - за допомогою пружини. Пневмоциліндр обираю тому, що для затиску-розтиску заготовки необхідний великий хід штоку (35-40 мм), якого не може забезпечити пневмокамера.

Розраховуємо діаметр пневмоциліндра. Розрахунок ведеться за формулою (2.53):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot p \cdot \eta}}, \text{ мм} \quad (2.53)$$

де W – сила затиску;

η – коефіцієнт корисної дії пневмоприводу, $\eta = 0,85$.

ρ – тиск повітря в пневмомережі, $\rho = 0,4$ МПа.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1181,7}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,85}} = 66,5 \text{ мм.}$$

Обираємо за ГОСТ 15608-81 пневмоциліндр $D = 70$ мм.

Визначаємо дійсну силу, що діє на шток за формулою (2.54):

$$W_{\sigma} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta, \text{ Н} \quad (2.54)$$

$$W = 0,4 \cdot \frac{3,14 \cdot 70^2}{4} \cdot 0,85 = 1307,81 \text{ Н}$$

Розрахуємо коефіцієнт закріплення:

$$K_3 = \frac{1307,81}{1181,7} = 1,11$$

Отже, оскільки $K_3 > 1$, то пневмоциліндр зможе забезпечити надійну фіксацію заготовки при обробці.

Призначення та принцип дії пристосування.

Даний пристрій призначений для установки та затиску заготовки з подальшим фрезеруванням діаметру $\varnothing 480$ мм на вертикально-свердильному верстаті з ЧПК моделі 2P135Ф3.

Пристрій складається з корпусу, на який вмонтовано пневмоциліндр.

Пристрій базується на стіл верстата та кріпиться за допомогою спеціальних Т-подібних болтів, для них передбачені пази в корпусі пристосування. Для того, щоб обробити заготовку її встановлюють на шліцьову оправку і закріплюють швидкозмінною шайбою, затиск якої до заготовки здійснюється штоком з накрученою на нього гайкою. Вся ця система працює за допомогою пневмоциліндра, вмонтованого в корпус пристосування. При потраплянні

повітря в штокову порожнину пневмоциліндра, заготовка притискається до корпусу пристосування за допомогою швидкозмінної шайби. При надходженні повітря в безштокову порожнину, поршень зі штоком піднімається вгору і відбувається розтиск заготовки.



РОЗДІЛ 3.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.

ПОВЕРХНЕВЕ ЗМІЦНЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ НАНЕСЕННЯ ДИСКРЕТНОГО ДИФУЗІЙНОГО ПОКРИТТЯ

3.1 Характеристика існуючих методів зміцнення інструментальних матеріалів

У сучасному металообробному виробництві все більше застосування знаходить складне автоматизоване верстатне обладнання, кероване від персонального комп'ютера, ефективне використання такого обладнання можливо тільки при достатній надійності його функціонування, причому серед багатьох причин відмов верстатного обладнання головними є відмови ріжучого інструменту, який є найбільш слабкою ланкою технологічної системи. Для підвищення довговічності різального інструменту і технологічної системи в цілому, звичайно різко знижують режими його експлуатації (наприклад, зменшують швидкість різання), реалізуючи, таким чином, умови при яких зростає нестабільність стружкоутворення і контактних процесів, що в свою чергу збільшує ймовірність випадкового відмови інструменту, наприклад, в результаті марко - або мікрокрихкого руйнування.

Зазвичай під довговічністю ріжучого інструменту розуміють здатність зберігати працездатність протягом заданого часу, причому об'єктивним критерієм, що визначає надійність ріжучого інструменту, є ймовірність його безвідмовної роботи. При це відмова може виявитися несподіваним (мікрокрихке або в'язке руйнування ріжучої частини різального інструменту) або поступовим (мікроруйнування контактних майданчиків). При відомому законі розподілу часу напрацювання на відмову об'єктивними критеріями надійності різального інструменту може служити середньоарифметичне значення часу напрацювання на відмову і коефіцієнт варіації цього часу. Найбільший вплив на довговічність ріжучого інструменту надають його фізико-механічні властивості. Найбільш ефективним шляхом формування необхідних властивостей

приповерхневих шарів інструментального матеріалу є застосування сучасних методів механічного, фізико-хімічного зміцнення, нанесення зносостійких покриттів і комплексної поверхневої обробки. В даний час, більше 45% ріжучого інструменту виготовляють з швидкорізальної сталі, незважаючи на те, що ріжучий інструмент з твердого сплаву, кераміки і надтвердих синтетичних інструментальних матеріалів забезпечує більш високу продуктивність різання. Це пов'язано як зі значно більшою технологічністю швидкорізальних сталей, які добре обробляються в відпаленого стані.

В наш час у світовій практиці все більше застосування знаходять методи підвищення довговічності інструменту шляхом нанесення зносостійких покриттів. Ріжучий інструмент з покриттям має високу продуктивністю, високу зносостійкість у поєднанні з досить задовільною міцністю при вигині, ударною в'язкістю, витривалістю, тріщиностійкістю, універсальністю, економічністю. З'являється можливість управління умовами формування і властивостями покриттів, а також властивостями композиції покриття – інструментальний матеріал. Інструментальний матеріал з зносостійким покриттям є новим матеріалом композиційного типу, в якому оптимально поєднуються властивості поверхневого шару (високі значення твердості, теплостійкості, пасивності по відношенню до оброблюваного матеріалу і т. д.) і властивості, які проявляються в обсязі тіла інструменту (міцність, ударна в'язкість, тріщиностійкість і т. д.). Таким чином, інструментальні матеріали з зносостійким покриттям за своїми властивостями наближаються до властивостей ідеалізованого інструментального матеріалу, а інструмент, виготовлений з такого матеріалу, володіє задовільним запасом жорсткості і міцності одночасно, що збільшує його довговічність, наносяться на ріжучий інструмент, найбільшого поширення набули одно і багат шарові покриття. При нанесенні покриття відбуваються складні фізичні і хімічні процеси, і, вибір складу покриття залежить від умов обробки.

Найпоширеніші методи нанесення зносостійких покриттів [23]:

- Метод хімічного осадження покриттів – цей метод заснований на гетерогенних хімічних реакціях в парогазовій середовищі, що оточує інструмент,

в результаті яких утворюються покриття. Вихідними продуктами служать газоподібні галогеніди, при взаємодії яких з іншими складовими сумішей (воднем, аміаком, оксидом вуглецю) утворюється покриття, розкладання галогенів срібла відбувається внаслідок термічної хімічної реакції при температурі 1000-1100⁰ С. Покриття формується адсорбцією, з подальшою дифузією, вуглецю в титанове покриття або хемосорбцією з утворенням тугоплавкого з'єднання.

Найбільшими недоліки цього методу полягають в наступному:

1. Виділення активних реагентів призводить до розтріскування покриття з часом, зниження адгезії з твердим сплавом, зміни фізико-механічних властивостей і теплофізичних властивостей;
2. Зміцнений ріжучий інструмент методом хімічного осадження покриттів не використовують в наступних технологічних операціях різання: різання важкооброблюваних матеріалів; чорнове фрезерування; нарізування різьб для газових труб.

- Метод фізичного осадження покриттів – осадження покриття найбільшого поширення набули: конденсація речовини з плазмової фази у вакуумі з іонним бомбардуванням. При цьому виникає технологічне середовище між інструментальним і оброблюваних матеріалами, за допомогою якої можна досить ефективно управляти властивостями основи: твердість, теплостійкість, тріщиностійкість, фізико-хімічна пасивність по відношенню до оброблюваного матеріалу. Функціональними параметрами процесу різання: рівень деформування зрізаного шару, сили різання, температури, термомеханічні напруги і т. д. Синтез покриттів здійснюється за рахунок електродугового випарника, тобто з плазми електродугового розряду. Системи вакуумно-дугового випаровування застосовують на будь-яку підставу (інструментальний матеріал), включаючи штампові сталі і кераміку, тому що в процесі синтезу температурні дані можуть варіюватися в дуже широких межах (100 ÷ 1000⁰С).

Переваги методу фізичного осадження покриття:

1. Метод дозволяє синтезувати покриття на основі одинарних, подвійних, потрійних систем нітридів, карбідів, боридів, силіцидів і їх сумішей: (Ti, Cr) N; (Ti, Nb, Cr) N, (Ti, Nb, Cr) C;
2. Метод дозволяє отримувати багат шарові покриття, що мають більш збалансоване співвідношення таких найважливіших характеристик, як в'язкість, твердість; більш стійких до руйнування при додатку циклічних навантажень; більш високу трещиностійкість;
3. метод дозволяє, має високу продуктивність процесу і малу тривалість синтезу покриттів щодо хімічного осадження покриття (CVD).

Однак метод фізичного осадження покриття має недоліки, такі як:

1. В процесі випаровування металу (особливо з низьким атомним вагою - Ti, Al), утворюється крапельна фаза з матеріалу катода, яка осідає на поверхню покриття і знижує його якість;
2. В процесі конденсації покриття, як на крайках, так і на поверхні ріжучого інструменту, виникають мікродуги, що призводять до електроерозії, а гострі ріжучі кромки можуть заокруглені, що призводить до крихкості матеріалу.

- Іонна імплантація

Серед ефективних методів поліпшення фізичних, механічних і хімічних властивостей поверхневого шару одне з лідируючих місць займає Іонна імплантація, що представляє собою іонно-вакуумну технологію Суть методу іонної імплантації полягає в бомбардуванні поверхні інструментального матеріалу іонами. Ефект зміцнення досягається як за рахунок зростання щільності дефектів кристалічної будови інструментального матеріалу, закріплення цих дефектів атомами легуючих елементів, так і за рахунок формування додаткової кількості дрібнодисперсних карбідних, нітридних та інтерметалічних структур. Слід зазначити, що технологія іонної імплантації є найбільш перспективною з точки зору створення композиційних матеріалів з оптимальним набором поверхневих властивостей. Впровадження елементів, таких як N_2 і C, впливає на механічні властивості поверхні. При цьому

спотворюється кристалічна решітка і підвищується твердість. Межі зерен оксидів і кордони дислокаційних блоків являють собою канали швидкої дифузії для імпантованих атомів. Іонна імпантација - коли в матеріалі одночасно йде окислення і з'являються напруги.

В результаті спостерігається наступні ефекти зміцнення:

1. Впровадження, на глибину до 700нм бомбардований іонів, в наслідок чого утворюється дрібнодисперсне зміцнення фази (нітрідна, карбідна, карбонітрідним і т.д.);
2. В результаті миттєвого розігрівання і охолодження відбувається мікрозакалка, з утворенням типових гартівних структур;
3. Відбувається дисоціація основних елементів, що входять до складу повітря, їх миттєва іонізація з подальшим насиченням поверхні іонами, підвищеної рухливості (N⁺, O⁺, C⁺). В результаті відбувається підвищення твердості на 30 – 40%
4. Простота управління іонним пучком і можливість обробки локальних ділянок поверхні;
5. Відсутність викривлення деталей навіть малої жорсткості.

- Лазерне термозміцнення – метод зміцнення поверхні, що включає в себе газотермічний, газополум'яний, світлопроменевий, електродугової, плазмовий, індукційний методи, які дозволяють підвищити міцність, твердість і зносостійкість поверхневого шару і в цілому стійкість різального інструмента. Кожна з технологій локального термічного зміцнення має свої переваги і недоліки, які визначають ефективні техніко-економічні області її застосування. Хімічне осадження дозволяє отримувати на підкладці локальну металізацію складних обрисів з малими розмірами, що обчислюються декількома мікрометрами. У порівнянні з перерахованими локальними методами лазерне термозміцнення різучого інструменту відрізняється наступними істотні переваги:

1. Більш високий ступінь локальності обробки і прецизійності в дозованому вкладенні енергії в зміцнюючу деталь при термічній обробці

дозволяє зберегти геометричні розміри зміцнюваного ріжучого інструменту в мікронному поле допуску і уникнути подальшої механічної обробки;

2. Високі швидкості нагріву і охолодження ($\sim 10^3\text{-}10^5^\circ \text{C/s}$) забезпечують більш високу твердість і зносостійкість поверхневого шару;

3. термічна обробка без оплавлення поверхні може застосовуватися як фінішна операція і після неї не потрібно подальша механічне доведення - шліфування;

4. процес лазерного зміцнення досить легко піддається автоматизації

Серед перерахованих вище методів лазерне зміцнення забезпечує найбільше підвищення зносостійкості. Зміцнення поверхні при лазерної обробці засноване на ефекті автозакалці, швидкого нагріву і охолодження поверхневого шару. Лазерне термоzmіцнення поверхневого шару може здійснюватися безперервним або імпульсним випромінюванням на двох режимах: без оплавлення або з оплавленням поверхневого шару. Імпульсне лазерне зміцнення дозволяє одержати більш високу приріст твердості поверхневого шару, але меншу глибину. Лазерна обробка поверхні металів і сплавів відноситься до локальним методам термічної обробки за допомогою висококонцентрованих джерел нагріву. У зв'язку з цим лазерний промінь як джерело нагріву при термічній обробці матеріалів має риси, властиві всім іншим висококонцентрованим джерел, а також і свої перераховані нижче особливості та переваги:

1. Висока концентрація енергії, що підводиться і локальність дозволяють проводити обробку тільки поверхневого ділянки матеріалу, без нагріву решти обсягу і порушення його структури і властивостей, що призводить до мінімального викривлення.

2. Можливість регулювання параметрів лазерної обробки в широкому інтервалі режимів дозволяє розробити великий ряд методів поверхневої лазерної обробки, причому в кожному методі можна легко регулювати структуру поверхневого шару, його властивості, такі як твердість, зносостійкість, шорсткість, а також геометричні розміри оброблених ділянок і ін.

3. Відсутність механічних зусиль на опрацьований матеріал дає можливість обробляти крихкі конструкції.
4. Можливість обробки на повітрі, легкість автоматизації процесів, відсутність шкідливих відходів при обробці і т.д. визначають високу технологічність лазерного променя.
5. Можливість транспортування випромінювання на значні відстані і підведення його за допомогою спеціальних оптичних систем в важкодоступні місця дозволяє проводити обробку в тих випадках, коли інші, в тому числі і за допомогою висококонцентрованих джерел нагріву

Всі перераховані вище методи застосовують для отримання однорідної структури покриттів, яка поліпшує фізико-механічні та теплофізичні властивості ріжучого інструменту в процесі обробки. покриття може помітно поліпшити властивості інструментального матеріалу з точки зору підвищення його опірності мікро - та макроруйнування з одного боку, однак з іншого боку, покриття може сприяти зменшення контактних навантажень, зниження потужності теплових джерел і сприятливому перерозподілу теплотоку, тим самим зменшуючи термомеханічну напруженість ріжучої частини інструменту.

Таким чином, покриття можна розглядати як своєрідне проміжне технологічне середовище між контактуючими поверхнями інструментального та оброблюваного матеріалів з унікальною здатністю одночасно підвищувати опірність контактних майданчиків інструменту руйнування і знижувати термомеханічну навантаження, що приводить до такого руйнування. В результаті аналізу особливостей промислової експлуатації ріжучого інструменту з покриттям можна відзначити наступне. По-перше, інструмент з покриттям помітно дорожче інструменту без покриття, що вимагає більш високої культури виробництва, використання незношених верстатного обладнання, ретельного економічного аналізу доцільності використання інструменту з покриттям. По-друге, найбільш доцільно експлуатувати інструмент з покриттям на швидкості, що перевищує швидкість різання звичайного інструменту на 30÷60%. Такі

швидкості відповідають оптимальної економічної швидкості різання, що мінімізує інтенсивність зношування і витрати на обробку різанням.

3.2 Методика проведення процесу осадження дискретного дифузійного покриття

Для формування локального дифузійного покриття на ріжучий інструмент був використаний позитивний уніполярний коронний розряд, що формується в привершинній області голчастого електрода. Розроблено кілька варіантів технологій нанесення локального дифузійного покриття на різальний інструмент, зокрема виготовлений зі швидкорізальної сталі або з твердого сплаву, а також на титанові зразки деталі, які можна застосовувати в одній технологічній установці [24].

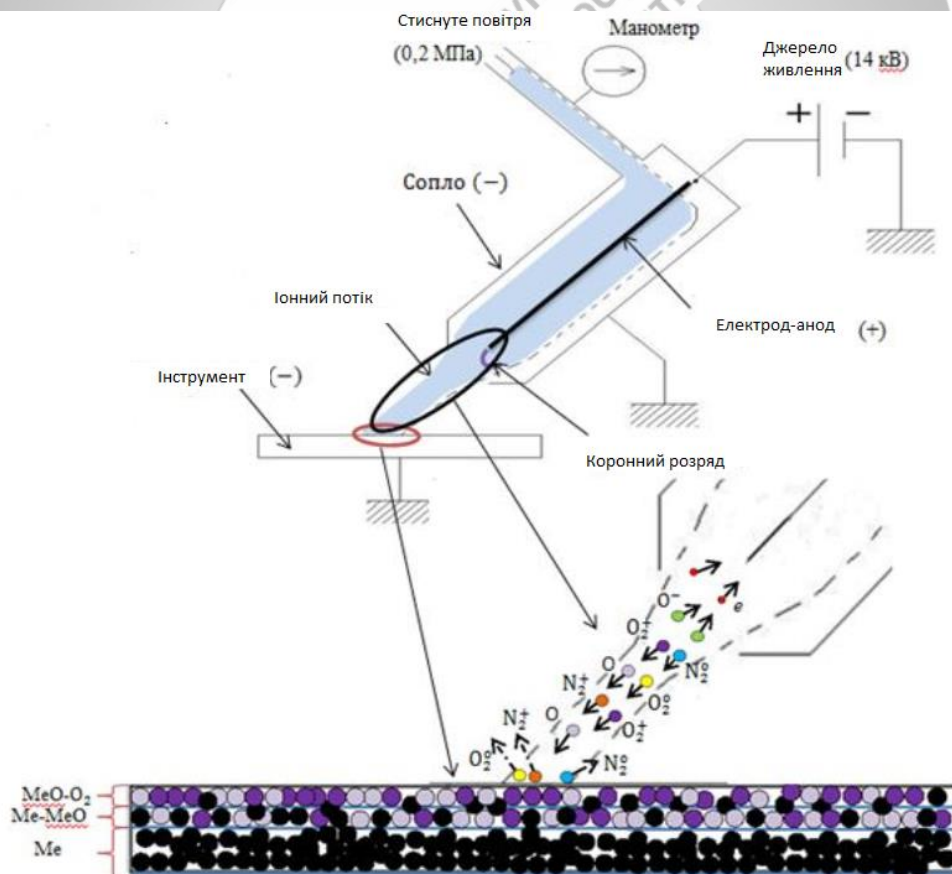


Рисунок 3.1 – Схема формування дифузійного шару

Формування локального дифузійного покриття, одержуваного впливом на основу активованим повітряним потоком, що проходить через коронний розряд, з умовно виділеними межами пошаровим дифузійної самоорганізації за схемою, (рисунок 3.1) виробляли на установці, в яку входить пристрій для створення іонізованого повітряного потоку «УІВ-1» і електромеханічний блок електроерозійного верстата «Ельфа». При формуванні локального дифузійного покриття використовували спеціальний голчастий анод з жорсткою регламентацією. Як матеріал анода використовували вольфрам.

Блокування процесу освіти нітридів іонами кисню на електроді установки сприяє нейтралізації позитивних іонів азоту повітря. Розпилення нейтралізованої азотної складової іонізованого потоку і бомбардувальної очищенням поверхні, в свою чергу, полегшує дифузію іонів (або атомів) кисню в поверхневий шар з утворенням дифузійного внутрішнього покриття оксидного типу.

Метал акумулює енергію, внутрішня енергія поверхневого шару істотно зростає. Ця прихована енергія розподілена в металі нерівномірно, і, в основному, сконцентрована в дефектах кристалічної решітки. Молекули кисню впроваджується в кристалічну решітку металу і утворює тверді розчини і, тим самим, підвищуються твердість і міцність поверхневого шару інструментального матеріалу.

Поверхневий шар металу швидко заповнюється хемосорбованим окислювачем і утворюється тонкий шар окисленого металу. При знижених температурах після хемосорбованого кисню за рахунок ван дер Ваальсових сил може виникнути і фізична адсорбція молекул кисню. Якщо між металом і киснем є хімічна спорідненість, то плівка, що складається з хемосорбованого кисню, перетворюється в оксидну плівку. метал і кисень в оксидній плівці створюють іонну зв'язок. В такому випадку дуже швидко виникає шар хемосорбованого кисню і в той же час в оксидах формується значне електричне поле. На поверхні розділу $Me-MeO$ утворюються катіони, а на поверхні розділу $MeO-O_2$ утворюються аніони кисню. Електричне поле сприяє міграції катіонів до

поверхні розділу MeO-O₂. Таким чином, будь-який кристал, що знаходиться при температурі, відмінній від нуля, завжди буде містити певне число дефектів структури. Метал переходить в термодинамічно нестійкий нерівноважний стан з підвищеною внутрішньою енергією. При підвищенні температури оксиди переходять в більш стабільний стан, що відповідає більш високому вмісту кисню в металі. Підвищення вмісту кисню в поверхневому шарі в формі твердого розчину впровадження супроводжується збільшенням питомої обсягу, формуванням залишкових стискаючих напружень, підвищенням твердості і зносостійкості. Цим пояснюється зміцнення матеріалів при їх обробці. Для оцінки активаційної ефективності корони в якості постачальника однозарядних позитивних аеронів скористаємося поняттям коефіцієнта іонізації K_i^+ , визначивши його як відношення усередненої концентрації утворених позитивних іонів n_i^+ до концентрації стандартної атмосфери $n_c = 25,47 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$:

$$K_i^+ = \frac{n_i^+}{n_c}.$$

З точки зору реєстрованих струмів коефіцієнт K_i^+ зручно оцінювати у вигляді відношення щільності струмів, створюваних спрямованим рухом однорідного повітряного потоку зі швидкістю v в випадках його частковою та повною іонізацією:

$$K_i^+ = \frac{j_i^+}{j_c^+},$$

$$\text{де } j_i^+ = e \cdot n_i^+ \cdot v, j_c^+ = e \cdot n_i^+ \cdot v$$

Проведені таким способом розрахунки дають уявлення про порядок величини K_i^+ . В таблиці 3.1 в якості прикладів наведені чисельні значення j_c^+ , реалізовані по) при різних значеннях v [25].

Таблиця 3.1 – Чисельні значення щільності струму, що створюються одновимірним рухом щільністю іонізованого повітряного потоку

v , м/с	100	200	300	400	500	1000
j_c^+ , мкА/см ²	$4,08 \cdot 10^{10}$	$8,16 \cdot 10^{10}$	$12,24 \cdot 10^{10}$	$16,32 \cdot 10^{10}$	$20,4 \cdot 10^{10}$	$40,8 \cdot 10^{10}$

Отже, як було встановлено на вихідні параметри процесу нанесення локального дифузійного покриття найбільший вплив робить струм коронного розряду, а також тиску стисненого повітря. Для дослідження впливу зазначених параметрів нанесення локального дифузійного покриття і отримання дифузійного шару проведені дослідження, результати яких представлені в цьому розділі. Склад локального дифузійного покриття і розподіл елементів по глибині розсіювання визначають на установці «Сокіл-3» (рис. 3.2).

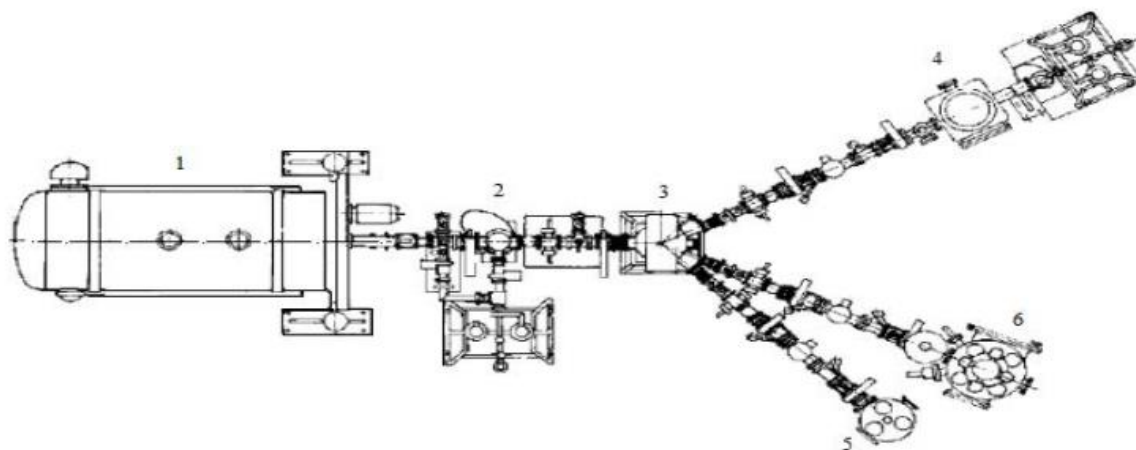


Рисунок 3.2 – Установка «Сокіл-3»

Для насичення беруться ріжучі пластинки з твердого сплаву та швидкорізальних сталей, геометричні параметри яких зазначені в таблиці 3.2, поміщаються в установку (рис.3.3) і відбувається дифузійний процес.

Таблиця 3.2 – Геометричні параметри ріжучих пластин

Конструкція пластинок	Робочі кути, град						Радіус при вершині r, мм
	γ	α	φ	φ_1	α_1	λ	
Квадрат 18x18x8	8	18	45	15	10	0	1,5



Рисунок 3.3 – Установка для нанесення локального дифузійного покриття

Насичення відбувається за допомогою однієї з найважливіших, спеціально розробленої деталі, сопла, яке здійснює організацію спрямованого повітряного потоку і його активацію позитивними іонами, підключений до джерела постійного напруги (в діапазоні 0 – 16 кВ). Корпус сопла складається з центрального повітроводу і двох знімних насадок на вході і виході (рис. 3.4). Вхідна насадка забезпечена штуцером для підведення стисненого повітря з стаціонарної магістралі з наявністю волого-мастиловідділювача і фільтра для затримки фракцій з великих частинок. Тиск повітря на вході в сопло регулюється гвинтом редуктора повітряної магістралі і вимірюється розташованим за ним манометром, формування активованого повітряного потоку на виході з сопла здійснюється вихідною насадкою.

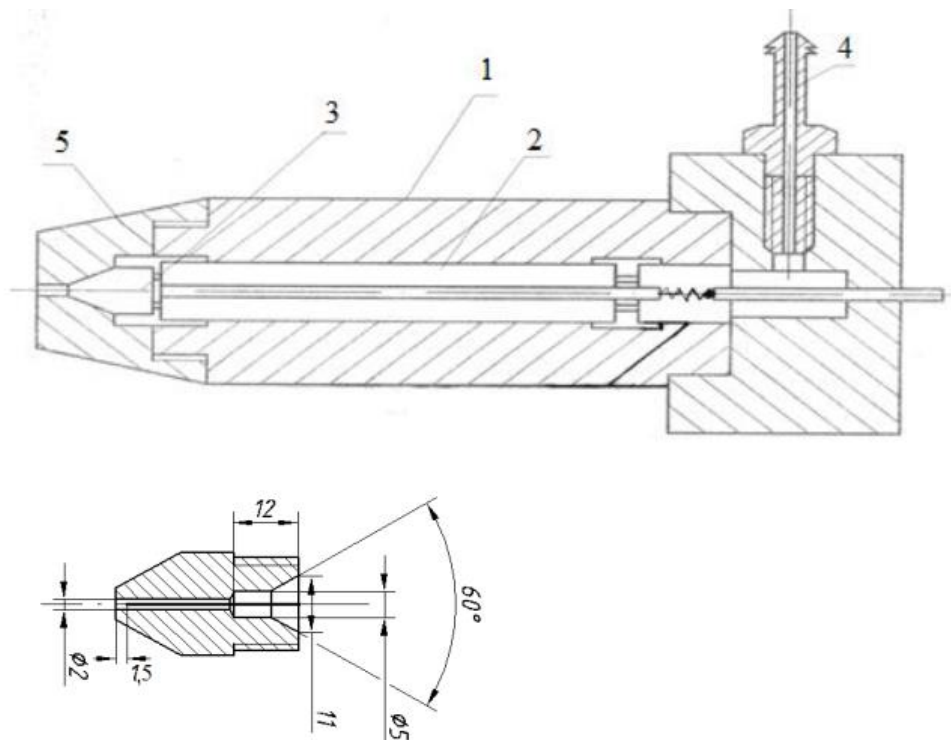


Рисунок 3.4 – Конструкція сопла-іонізатора:

1 – корпус; 2 – центральний повітровід; 3 – вольфрамовий електрод;
4 – штуцер; 5 – насадка, що регулює вихідний потік.

Під час проведення дослідів було виміряно концентрацію озону в залежності від сило коронного струму та тиску стисненого повітря (табл. 3.3)

Таблиця 3.3 – Концентрацію озону в зоні нанесення покриття

p_B , МПа	I_K , мкА	K , мг/м ³
0,1	100	0,073
0,1	200	0,077
0,1	440	0,086
0,2	100	0,051
0,2	200	0,064
0,2	440	0,082
0,5	100	0,037
0,5	200	0,031
0,5	440	0,026

Експериментально було встановлено вплив відстані кута нахилу сопла та відстані до пластини на зношення поверхні пластини (рис. 3.5 та 3.6) [26].

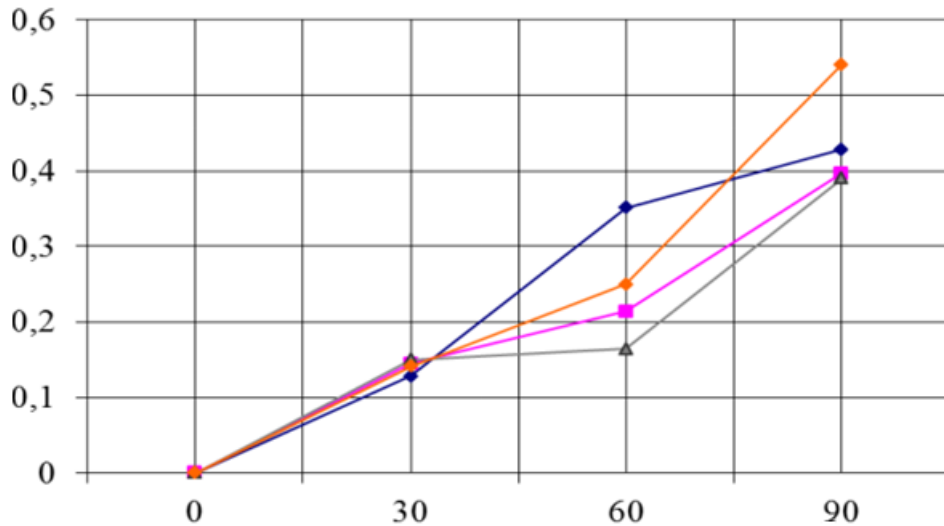


Рисунок 3.5 – Вплив кута нахилу сопла на зношення задньої грані пластини Р6М5 при точінні легованих сталей

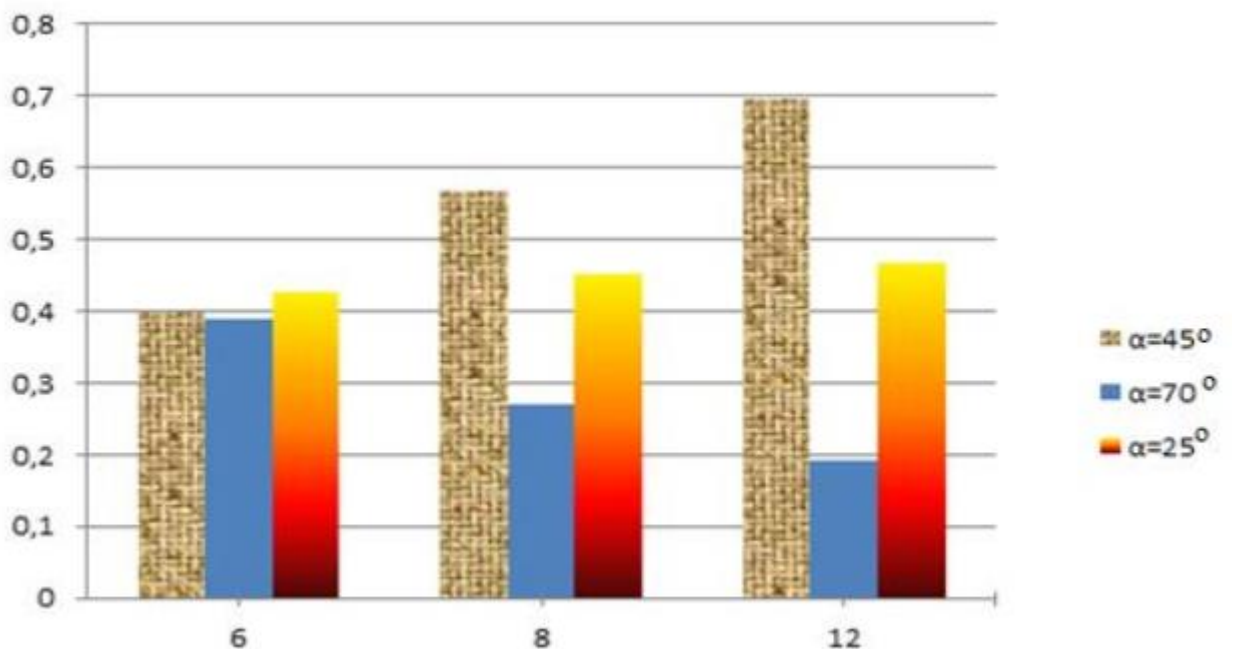
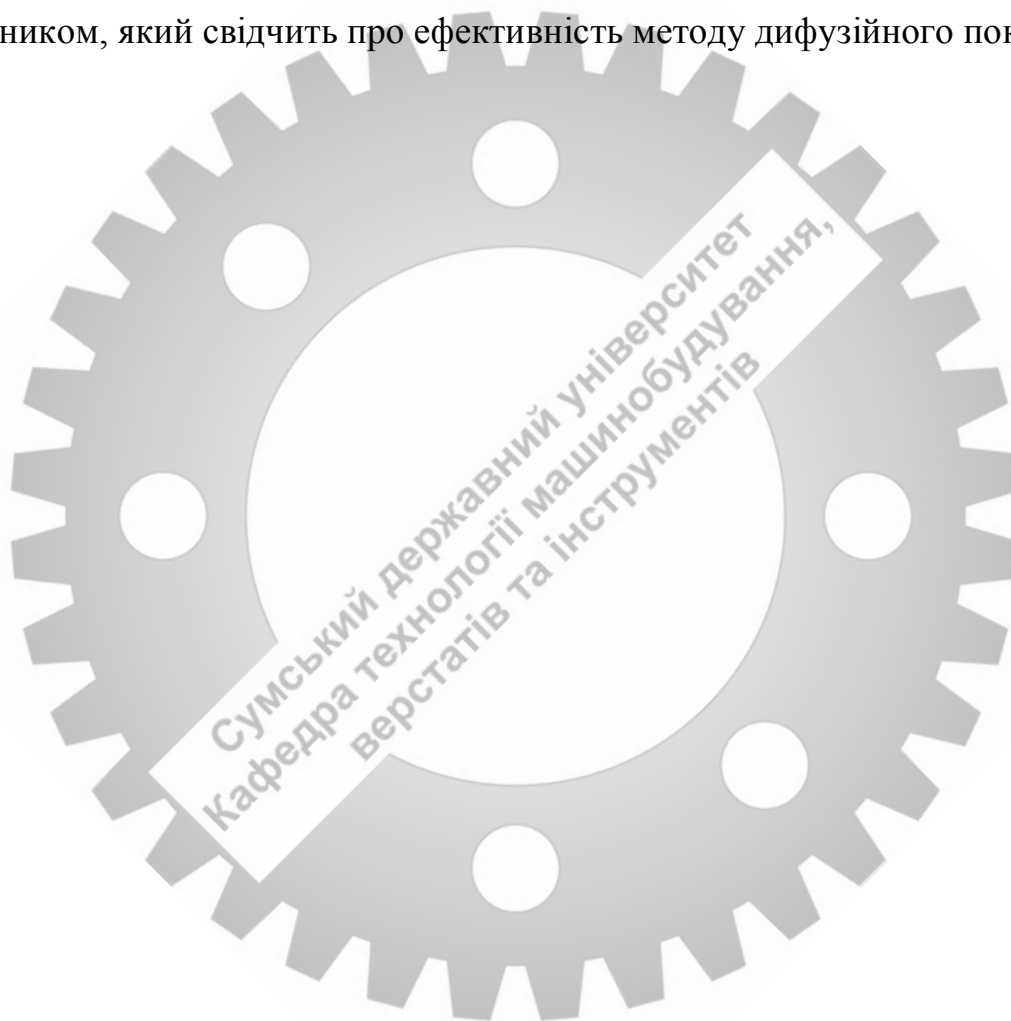


Рисунок 3.6 – Вплив відстані сопла на зношення задньої грані пластини Р6М5 при точінні легованих сталей

Таким чином, як видно з представлених графіків, мінімальний знос твердосплавного інструменту відбувається при розташуванні сопла на відстань 12мм і під кутом $70 - 80^{\circ}$ до оброблюваної поверхні. Отже, при подальшому проведенні експериментів розташування ріжучого інструменту здійснювали тільки на відстань 10 - 12мм і під кутом $70 - 80^{\circ}$ до оброблюваної поверхні.

Після напилення було проведено термообробку пластин і виміряно їх твердість по критерію HRC, яка підвищилась на 30-40 одиниць, що є вагомим показником, який свідчить про ефективність методу дифузійного покриття.



ВИСНОВКИ

Під час виконання випускної роботи освітньо-кваліфікаційним рівнем магістра був виконаний наступний обсяг роботи:

- проведено аналіз службового призначення компресора ЗВШ1,6-2,3/230 УХЛ4, куди входить задана деталь. Виконано опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації. Проведено аналіз технічних вимог на виготовлення маховика.

- встановлено, що тип виробництва середньосерійний, а форма організації виробництва – групова;

- проаналізовано деталь на технологічність, за яким вона виявилась технологічною;

- проведено техніко-економічні розрахунки оптимального варіанта виготовлення заготовки і прийнято штамповка.

На найточнішу поверхню за допомогою ЕОМ були розраховані припуски на механічну обробку

Докладно розроблено три операції: : порівняні схеми базування і обрана найбільш раціональна; обрано найбільш раціональне металорізальне обладнання, верстатне технологічне оснащення; проведений розрахунок режимів різання та технічне нормування операцій.

На операцію 025 свердлувальна з ЧПК розраховане і спроектоване спеціальне пристосування та карту налагодження.

Для технології обробки деталі «Маховик 4835.003.001» оформлений альбом карт технологічного процесу.

В результаті наукових досліджень, розглянуто технологію поверхневого зміцнення інструментальних матеріалів шляхом нанесення дискретного дифузійного покриття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1 Анализ технических требований, выявление технологических задач, возникающих при изготовлении деталей, и технологический анализ конструкций / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: МВТУ, 1982. – 36 с.

2 Ансеров, М. А. Приспособления для металлорежущих станков / М. А. Ансеров. – М.; Л.: Машиностроение, 1964. – 652 с.

3 Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: «Высшая школа», 1983. – 256 с., ил.

4 Горошкин, А. К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник / А. К. Горошкин. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.

5 Егоров, М. Е. Технология машиностроения / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. Под ред. М. Е. Егорова. – Изд. 2-е и доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 534 с.

6 Колесов, И. М. Служебное назначение изделия и технические условия / И. М. Колесов. – М.: Знание, 1977. – 64 с.

7 Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. Сталь и чугуны. Т. II-2 / Г.Г. Мухин, А.И. Беляков, Н.Н. Александров и др.; Под общ. ред. О.А. Банных и Н.Н. Александрова. – М.: «Машиностроение», 2001. – 784 с., ил.

8 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.

9 Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з

технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 59 с.

10 Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. – М.: «Машиностроение», 1990. – 448с.

11 Общестроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного времени для технического нормирования станочных работ: Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.

12 Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. - Ч. 2. Зуборезные, горизонтально-расточные, резьбо-накатные и отрезные станки. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.

13 Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках. – М.: Машиностроение, 1974. – 203 с.

14 Режимы резания металлов: справ. / Под ред. Ю.Б. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 311с.

15 Силантьева Н.А., Малиновский В.Р. Техническое нормирование труда в машиностроении: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1990. – 256 с.: ил.

16 Справочник технолога – машиностроителя. В 2 – х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: «Машиностроение», 1986. – 496с.

17 Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. Панов. – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.

18 Чернавский С.А. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие для вузов. – М.: «Машиностроение», 1984. – 560 с.

19 ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.

20 Основы охраны труда: Підручник. 21ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

21 ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. П О С Т А Н О В А N 42 від 01.12.99 м. Київ: Web-сайт. – Режим доступу:https://dnaop.com/html/34094/doc%D0%94%D0%A1%D0%9D_3.3.6.042-99 – Назва з екрану.

22 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением №1). МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. Система стандартов безопасности труда. ОБЩИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВОЗДУХУ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ.

23 Чекалова, Е. А. Повышение эффективности лезвийной обработки применением экологически чистых сред / Е. А. Чекалова, А. С. Верещака, А. К. Кириллов // Сб. трудов научного симпозиума: «Интерпартнер – 97» «Высокие технологии в машиностроении. Тенденции развития, менеджмент, маркетинг». - Харьков. ХГПУ. – 1997. С. 45 – 46.

24 Чекалова, Е. А. Механическая обработка с применением активированного воздуха / Е. А. Чекалова, П. Д. Чекалов // 77-я Международная научно-техническая конференция ААИ «Автомобиле – тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров» – М.:МГТУ «МАМИ». – 2012. – С. 27 – 29.

25. Чекалова, Е. А. Механическая обработка с использованием озонированной среды / Е. А. Чекалова, В. Д. Гурин, В. И. Власов // Технология машиностроения – 2004. – № 5. – С. 22 – 24.

26. Чекалова, Е. А. Технология механической обработки озонированной среде / Е. А. Чекалова, Н. Н. Ромина // ИТО: инструменттехнология-оборудование. – 2005. – № 9. – С. 21 – 22.