

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

« ____ » _____ 2020 р.

**«Удосконалення технологічного процесу виготовлення
пробки 1.2750.127.810.04 крана шарового Ду400, Ру80
шляхом введення операції полірування в статично
ущільнювальному абразивному середовищі»**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студентка

В. Л. Стукало

Керівник

А. В. Євтухов

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі.....	10
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	10
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі.....	13
1.3 Визначення типу та форми організації виробництва.....	16
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	19
1.4.1 Якісна оцінка технологічності конструкції деталі.....	19
1.4.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції деталі.....	20
1.5 Аналіз базового технологічного процесу.....	22
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	25
Розділ 2 Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	27
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.....	27
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки.	28
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання.....	34
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.....	35
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів.....	42
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, металорізальних та вимірювальних інструментів.....	44
2.7 Розрахунок режимів різання.....	45
2.8 Технічне нормування операцій.....	49
2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою.....	50
2.9.1 Обґрунтування мети операції контролю.....	50
2.9.2 Вибір і обґрунтування методів вимірювання.....	52
2.9.3 Вибір і обґрунтування засобів вимірювання.....	53
2.9.4 Ескізне проектування КВП.....	55
2.9.5 Опис конструкції і роботи КВП.....	56
2.10 Висновок.....	56
Розділ 3 Дослідження обробки сферичних поверхонь у статично ущільнювальному абразивному середовищі.....	57
3.1 Пристрій для оздоблювальної обробки деталей, що обертаються...	57

3.2	Дослідження контактної взаємодії ущільнювального абразивного середовища із оброблювальними поверхнями.....	60
3.3	Визначення продуктивності обробки деталей із різних матеріалів в статично ущільнювальному абразивному середовищі.....	64
3.4	Розрахунок питомого видалення металу для матеріалів з різними фізико-механічними властивостями.....	68
3.5	Дослідження впливу режимів обробки на шорсткість поверхонь деталей.....	72
3.6	Побудова плану експериментальних досліджень.....	72
3.7	Оброблення експериментальних даних.....	74
3.8	Висновок.....	80
	Висновки.....	81
	Список джерел посилань.....	83
	Додаток А Технічний опис крана шарового Ду400, Ру80.....	88
	Додаток Б Креслення деталі «Пробка» 1.2750.127.810.04.....	89
	Додаток В Креслення заготовки 1.2750.127.810.04.....	90
	Додаток Г Розрахунок припусків на ЕОМ.....	91
	Додаток Д Специфікація КВП ТМ319320099–08.00.00.....	92
	Додаток Е Креслення КВП ТМ319320099–08.00.00 СК.....	94
	Додаток Ж Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях....	95

РЕФЕРАТ

Записка: 87 с., 24 рис., 31 табл., 7 додатків, 51 використаних посилань.

Об'єкт розробки – пробка 1.2750.127.810.04 кульового крана Ду400, Ру80.

Мета роботи – удосконалення технологічного процесу виготовлення пробки 1.2750.127.810.04.

Виконаний аналіз службового призначення кульового крана, пробки та технічних вимог на їх виготовлення. Визначений тип виробництва – дрібносерійний. Проаналізована технологічність конструкції пробки та існуючий на підприємстві технологічний процес її виготовлення.

Розроблена структура технологічного процесу виготовлення пробки. Вибраний спосіб виготовлення заготовки – штамповка на КГШП та розроблені технічні вимоги до неї. Розраховані припуски на механічну операцію за програмою «rgr» на ЕОМ. Вибрані схеми базування і закріплення заготовки на операції 035 «Токарна з ЧПК» та 050 «Свердлильна з ЧПК». Запропоновані моделі верстатів, технологічне оснащення, різальний та вимірювальний інструмент, розраховані режими різання та норми часу на наведені операції. Спроектований контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття двох поверхонь діаметром 75h9 мм, сфери діаметром 250h9 мм та їх співвісності в межах 0,02 мм.

Запропонований новий спосіб полірування сфери діаметром 250h9 мм з шорсткістю $R_a = 0,4$ мкм в статично ущільнювальному абразивному середовищі. Визначена залежність шорсткості поверхні від параметрів полірування. Розроблена структура оздоблювальної операції та надані рекомендації по вибору оптимального режиму полірування сфери пробки.

Розроблена технологічна документація на удосконалений технологічний процес виготовлення пробки – карти МК, ОК, КЕ.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ОПЕРАЦІЯ, ПРИПУСК, ПРИСТРІЙ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, НОРМА ЧАСУ, ПОЛІРУВАННЯ

РЕФЕРАТ

Записка: 87 с., 24 рис., 31 табл., 7 приложений, 51 использованных источников.

Объект разработки – пробка 1.2750.127.810.04 шарового крана Ду400, Ру80.

Цель работы – усовершенствование технологического процесса изготовления пробки 1.2750.127.810.04.

Выполнен анализ служебного назначения шарового крана, пробки и технических требований на её изготовление. Определён тип производства – мелкосерийный. Проанализирована технологичность конструкции пробки и существующий на предприятии технологический процесс её изготовления.

Разработана структура технологического изготовления пробки. Выбран способ изготовления заготовки – штамповка на КГШП и разработаны технические к ней. Рассчитаны припуски на механическую операцию по программе «prp» на ЭВМ. Выбраны схемы базирования и закрепления заготовки на операции 035 «Токарная с ЧПУ» и 050 «Сверлильная с ЧПУ». Предложены модели станков, технологической оснастки, режущий и измерительный инструмент, рассчитаны режимы резания и нормы времени на приведенные операции. Спроектировано контрольно-измерительное приспособление для контроля радиального биения двух поверхностей диаметром 75h9 мм, сферы диаметром 250h9 мм и их соосности в пределах 0,02 мм.

Предложенный новый способ полирования сферы диаметром 250h9 мм с шероховатостью $R_a = 0,4$ мкм в статически уплотнённой абразивной среде. Определена зависимость шероховатости поверхности от параметров полирования. Разработана структура отделочной операции и даны рекомендации по выбору оптимального режима полирования сферы пробки.

Разработана технологическая документация на усовершенствованный технологический процесс изготовления пробки – карты МК, ОК КЭ.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ОПЕРАЦИЯ, ПРИПУСК, ПРИСПОСОБЛЕНИЕ, РЕЖИМ РЕЗАНИЯ, НОРМА ВРЕМЕНИ, ПОЛИРОВАНИЕ

SUMMARY

Note: 87 pages, 24 figures, 31 tables, 7 annexes, 51 sources.

Development object - plug 1.2750.127.810.04 of a ball valve Du400, Pu80.

The purpose of the work is to improve the technological process of manufacturing the plug 1.2750.127.810.04.

The analysis of the service purpose of the ball valve, plug and technical requirements for its manufacture has been carried out. The type of production is determined - small-scale. The manufacturability of the plug design and the existing technological process of its manufacture are analyzed.

The structure of the technological manufacture of the plug has been developed. A method of billet manufacturing was chosen - stamping on KGSP and technical ones for it were developed. Allowances for mechanical operation are calculated according to the "prip" program on a computer. Selected schemes of basing and fixing the work piece on operations 035 "CNC turning" and 050 "CNC drilling". Models of machine tools, technological equipment, cutting and measuring tools are proposed, cutting modes and time norms for the above operations are calculated. A control and measuring device was designed to control the radial runout of two surfaces with a diameter of 75h9 mm, a sphere with a diameter of 250h9 mm and their alignment within 0,02 mm.

The proposed new method of polishing a sphere with a diameter of 250h9 mm with a roughness of $Ra = 0.4 \mu\text{m}$ in a statically compacted abrasive medium. The dependence of the surface roughness on the polishing parameters is determined. The structure of the finishing operation is developed and recommendations are given for choosing the optimal mode for polishing the cork sphere.

Technological documentation has been developed for an improved technological process of making a plug - MK cards, OK FE.

TECHNOLOGICAL PROCESS, OPERATION, START-UP, CUTTING MODE, TIME RATE, DEVICE, POLISHING

ВСТУП

Актуальність проблеми. Провідне місце в нафтогазовій промисловості країни є виготовлення шарових кранів. Однією із основних деталей, із яких складається шаровий кран, є пробка. Призначення пробки – регулювання подання природного газу крізь порожнини шарового крана в трубопровід мережі. Аналізом службового призначення шарового крана встановлено, що при його виготовленні основною проблемою є висока трудомісткість отримання потрібної точності форми і шорсткості поверхні сфери пробки. Наприклад, відхилення шарової поверхні від круглості повинно знаходитися в межах 20–40 мкм, а шорсткість поверхні дорівнювати $R_a = 0,2\text{--}0,25$ мкм.

В сучасних технологічних процесах оздоблювальна обробка поверхонь сфер пробок виконується притиранням, шліфуванням, поліруванням. На підприємствах із дрібносерійним типом виробництва широко застосовується метод полірування, де різальним інструментом є абразивні еластичні круги, абразивні стрічки, струмина абразивної рідини в обертальних барабанах і вібраційних контейнерах. Але зазначені способи оздоблювальної обробки мають низьку продуктивність і не завжди задовольняють вимоги виробництва до цих виробів.

Наявність в конструкції пробки наскрізного отвору не дозволяє застосувати деякі відомі фінішні способи абразивної обробки, котрі використовують при виготовленні підшипників ковзання.

Перспективним є метод фінішної обробки деталей в абразивному середовищі, де функцію інструменту виконує статично ущільнювальний дрібно-дисперсний абразив [1]. Цим методом можна підвищити продуктивність обробки хромових поверхонь, а також розширити діапазон матеріалів з різними фізико-механічними властивостями, із яких виготовляються пробки шарового крана.

Таким чином, застосування ефективних оздоблювальних методів обробки пробок шарових кранів є перспективним завданням при удосконаленні існуючого технологічного процесу їх виготовлення.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є пробка 1.2750.127.810.04 шарового крана Ду400, Ру80, яка призначена для регулювання подання природного газу в трубопровід.

Предмет дослідження. Оздоблювальна операція – полірування, яка забезпечує за кресленням потрібну точність форми і низьку шорсткість поверхні сфери пробки.

Мета і завдання дослідження. Підвищити продуктивність полірування поверхні сфери пробки, та встановити зв'язок між шорсткістю поверхневого шару деталі і технологічними режимами процесу полірування.

Задачі дослідження. Розробити структуру оздоблювальної операції обробки сфери пробки із застосуванням інструменту у вигляді статично ущільнювального абразивного середовища. Зробити теоретичні дослідження особливості динаміки контактної дії ущільнювального абразиву на оброблювальну поверхню деталі. Встановити аналітичний зв'язок дії ущільнювального абразиву із технологічним режимом обробки поверхні сфери пробки. Розробити практичні рекомендації для вибору раціонального технологічного режиму і умови обробки сферичної поверхні пробки.

Наукова новизна роботи. Запропонований новий спосіб оздоблювальної обробки поверхні сфери пробки інструментом у вигляді статично ущільнювального абразивного середовища.

Розроблена методика для визначення основних параметрів, які впливають на продуктивність і шорсткість поверхні при обробки пробки.

Розроблені практичні рекомендації для вибору режимів обробки залежно від різних вихідних умов.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані із використанням основних законів динаміки відносного руху, закону динаміки ущільнювального середовища і молекулярної фізики граничного тертя, теорії пружності і пластичності, теорії імовірності і математичної статистики, наукових положень технології машинобудування.

Практичні результати отриманих результатів. Запропонована конструкція технологічного обладнання для обробки поверхні сфери пробки, яка забезпечує підвищення якісних показників поверхонь деталі.

Особистий вклад магістранта. Результати виконаних досліджень отримані студенткою самостійно.

Апробація результатів магістерської роботи. Немає.

Публікації. Немає.

Структура і об'єм роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних посилань із 51 найменування, 87 сторінок машинописного тексту, 24 рисунків, 31 таблиці, 7 додатків. Загальний обсяг роботи складається із 104 сторінок.

РОЗДІЛ 1

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації

Шарові крани Ду400, Ру80 з ручним або пневмо-гідравлічним приводом застосовуються як запірні устрої на трубопроводах, що транспортують природний газ. Крани виготовляються в кліматичному виконанні УХП1 (для районів із помірним кліматом) згідно ГОСТ 15150–88. Технічна характеристика шарового крана Ду400, Ру80 наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика крана Ду400, Ру80

Параметр	Чисельні дані (опис)
Температура робочого середовища, °С	від –60 до +80
Температура навколишнього середовища, °С	від –60 до +50
Швидкість робочого середовища, м/с	Не більше 20
Герметичність затвору крана	За А класом ГОСТ 9594–93
Матеріал ущільнювання затвору крана	Композит
Привід забезпечує відкриття (закриття) кранів при перепаді тиску на крані, МПа	Не більше 16
Зусилля на штурвалі ручного приводу в момент відкриття (закриття), Н (кгс)	450 (45)
Час повороту запірного елемента крана, с	Не більше 5,0
Габарити (довжина, висота, ширина), мм	610×380×520
Маса, кг	275

Кран шаровий (дивись додаток А) складається із корпусу 11, в нутрі якого установлена на двох опорах пробка 12, яка обертається в підшипниках ковзання 10, виконаних у вигляді вкладишів із фторопластової стрічки. Корпус 11 крана – штампований і двома торцями приєднується до двох фланців 1 шпильками 13. З обох сторін фланців 1 і корпусу 11 розташовані ущільнювання 23, 25, 28. Якщо тиск в шаровому крані відсутній, то ущільнювання притиснуті до верхнього сидла 26 і

нижнього сидла 24 пружинами 27. Подальше притиснення ущільнювання відбувається тиском робочого середовища.

У верхній частині корпусу 11 виконаний отвір прикритий фланцями 3 і 19. Крутний момент від приводу до пробки 12 передається за допомогою шпинделю 5 через штифти 2. Функцію верхньої опори пробки виконує фланець 3, який закріплений на опорі 6 штифтами 4. Герметичність рухомих і нерухомих з'єднань крана від впливу зовнішнього середовища забезпечуються ущільнювальними кільцями 17, 22, 23, 25, 28, манжетою 15.

Принцип роботи крана заснований на повороті шпинделя 5 у одне із робочих положень «Відчинено» або «Зачинено». Не допускається використовувати кран як регулююча арматура.

Пробка шарового крана призначена для подання або не подання робочого середовища крізь порожнину крана (дивись додаток Б – креслення пробки 1.2750.127.810.04). Деталь у виробі установлюється (базується) основними базами А, Б, В, Г (див. рис. 1.1).

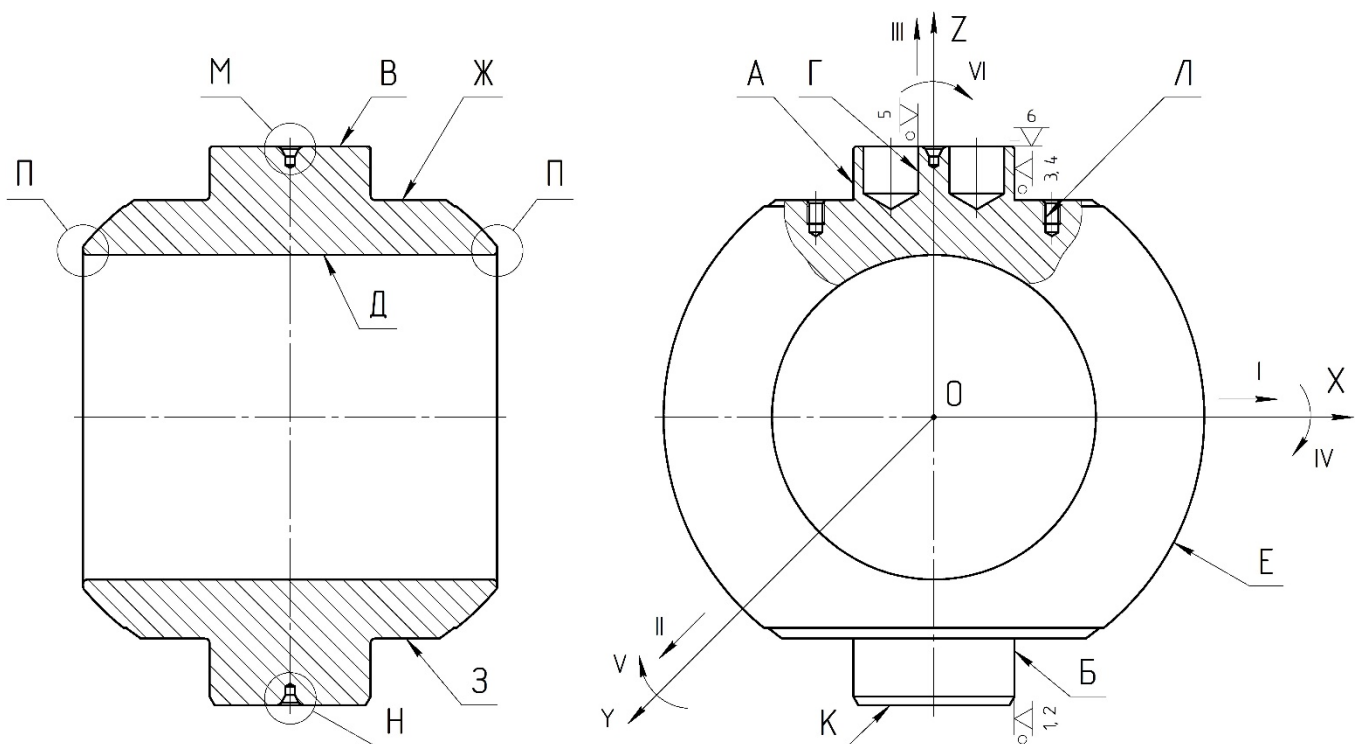


Рисунок 1.1 – Основні і допоміжні бази деталі

Поверхні А і Б виконують функцію подвійної напрямної бази, яка позбавляє деталь чотирьох ступенів вільності: переміщення і обертання відносно осей Х і У. Поверхні В і Г є опорними базами, які позбавляють деталь однієї ступені вільності кожна. Поверхня В позбавляє переміщення уздовж осі Z, а поверхня Г обертання відносно осі Z (див. табл. 1.2 і 1.3).

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступень вільності	Найменування бази
1, 2, 3, 4	I, II, IV, V	ПНБ
5	III	ОБ
6	VI	ОБ

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

Х, У, Z / l, α	Х	У	Z	Найменування бази
α	1	1	0	Подвійна напрямна база (ПНБ)
l	1	1	0	
α	0	0	0	Опорна база (ОБ)
l	0	0	1	
α	0	0	1	Опорна база (ОБ)
l	0	0	0	
Всього	2	2	2	6 зв'язків

Деталь має ряд поверхонь, які визначають її службове призначення у виробі і безпосередньо впливають на роботу шарового крана.

Поверхня Д – виконавча поверхня, яка призначена для перепустки робочого середовища (стиснутого газу) крізь кран, що знаходиться у стані «Відчинено».

Поверхня Е – виконавча поверхня, яка призначена для проходження або не проходження робочого середовища крізь порожнини крана, що знаходиться у стані «Відчинено» або «Зачинено».

Поверхні П – дві виконавчі поверхні, які призначені для запобігання виникненню турбулентного руху природного газу, що перетікає крізь отвір пробки у магістраль.

Поверхні М і Н – технологічні бази, які визначають розташування пробки при її обробленні на механічних операціях технологічного процесу виготовлення.

Поверхні Л – дві поверхні, які передбачені конструкцією деталі тільки для виконання технологічних операцій (наприклад, операція «Отримання покриття» передбачена для покриття поверхонь Е і П хромом).

Поверхні З, Ж, К та інші є вільними і визначають габарити і масу деталі.

Аналіз умов роботи вузла виробу визначив, що пробка, яка знаходиться в робочому стані, працює під високим тиском, в несприятливих природних умовах, за якими її поверхні піддаються дії тертя та корозії.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

1.2.1 Обґрунтування вибору матеріалу деталі.

Пробка крана Ду400, Ру80 виготовляється із конструкційної сталі 10Г2 ГОСТ 4543–71. Сталь призначена для виготовлення закріплювальних (стояки ферм, хребтові балки, подвійний тавр) та інших деталей, які працюють під тиском при температурі від -70° до $+450^{\circ}\text{C}$. Сталь 10Г2 віднесена до класу марганцевих сталей. Із марок цих сталей виготовляються кулачкові вали, шестірні, зубчасті колеса, шарніри, муфти, пальці, тяги, а також деталі із високою твердістю поверхні і невисокою міцністю серцевини.

В технологічному процесі таких деталей присутні операції «Хіміко-термічна обробка» і «Отримання покриття», які призначені для забезпечення високої міцності поверхонь.

Хімічний склад сталі 10Г2 ГОСТ 4543–71 наведений в таблиці 1.4, а механічні властивості – в таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сталі 10Г2 (в процентах)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
			Не більше					
0,07-0,15	0,17-0,37	1,2-1,6	0,3	0,035	0,035	0,3	0,3	0,08

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі 10Г2

Вид	$\delta_{0,2}$, МПа	$\delta_{\text{в}}$, МПа	δ ,%	ψ ,%	КСУ, Дж/см ²	НВ
Поковка	215	430	20	48	49	123–167

Технологічні властивості сталі 10Г2 [10]:

- температура кування, °С: початок 1250; кінець 800–700. Заготовки із перерізом до 100 мм охолоджуються повітрям;
- зварювання – зварюється без обмежень. Способи зварювання: РДС, АДС;
- проявлення хрупкості під час відпалювання – не проявляється;
- чутливість до проявлення флокену – не чутлива.

Застосування цієї сталі для виготовлення пробки виправдано, тому що за умовами роботи деталі у виробі, вона повинна мати високу в'язкість і міцність, що досягається застосуванням хіміко-термічною обробкою поверхонь.

1.2.2 Аналіз точності розмірів.

Точність розмірів деталі зазначених на креслення повинна відповідати рекомендованим значенням згідно ГОСТ 25347–82. Точність розмірів деталі відповідають зазначеному ГОСТ 25347–82. Не зазначена на кресленні точність розмірів приймається для отворів – $H14$, валів – $h14$, інших – $\pm t_2/2$.

Аналіз точності розмірів основних конструкторських баз (ОКБ) і виконавчих поверхонь (ВП) визначив наступне.

Дві поверхні діаметром $75h9$ мм є ОКБ і призначені для установаження деталі у вузол. Квалітет точності розмірів зазначений конструктором вірно.

Поверхня сфери діаметром $250h9$ мм є ВП, до якої зазначені високі вимоги щодо точності і шорсткості. Виходячи із умови роботи цієї поверхні у виробі, зазначені конструктором параметри – обґрунтовані.

Поверхні діаметром $25,5H11$ мм (два отвори, які розташовані на торці пробки) призначені для приєднання пробки до шпинделю крана. Одна із цих поверхонь є ОКБ і позбавляє обертання навколо своєї повздожньої осі відносно шпинделю. Точність цих поверхонь обґрунтована, але номінальний розмір поверхні не відповідає рекомендованому ряду чисел. Треба прийняти номінальний розмір 25 мм.

1.2.3 Допуски форми і розташування поверхонь.

На кресленні деталі надані допуски співвісності, відхилення від перпендикулярності (торцеве биття), відхилення від співвісності (радіальне биття).

Допуск співвісності отвору діаметром $151H14$ мм складає 0,2 мм і відповідає десятій степені точності згідно ГОСТ 24643–81. Але десята степінь точності не відповідає чотирнадцятому квалітету допуску згідно ГОСТ 25346–82 [1]. Тому треба прийняти допуск співвісності 0,5 мм, який відповідає дванадцятій степені точності згідно ГОСТ 24643–81.

Допуск співвісності поверхні сфери діаметром $250h9$ мм складає 0,02 мм і відповідає п'ятій степені точності згідно ГОСТ 24643–81. П'ята степінь точності не відповідає дев'ятому квалітету точності згідно ГОСТ 25346–82 [1]. Для усунення цього недоліку допуск співвісності треба призначити 0,05 мм, який відповідає сьомої степені точності (рівень відносної геометричної точності В) згідно ГОСТ 24643–81.

Допуск співвісності двох поверхонь діаметром $75h9$ мм складає 0,02 мм і також не відповідає ГОСТ 24643–81, тому приймається допуск 0,04 мм і який відповідає сьомій степені точності (рівень відносної геометричної точності В) згідно ГОСТ 24643–81.

Дві поверхні діаметром $75h9$ мм є основними конструкторськими базами і їх допуск становить 0,03 мм. Це не відповідає вимогам ГОСТ 24643–81. Приймається допуск 0,04 мм, що відповідає сьомій степені точності згідно ГОСТ 24643–81. Сьома степінь точності відповідає дев'ятому квалітету допуску згідно ГОСТ 25346–82 (рівень відносної геометричної точності В).

Допуск торцевого биття поверхні діаметром $75h9$ мм становить 0,05 мм – восьма степінь точності згідно ГОСТ 24643–81. Восьма степінь точності відповідає дев'ятому квалітету допуску згідно ГОСТ 25346–82.

1.2.4 Шорсткість поверхонь.

Шорсткість поверхонь пробки відповідають мінімальним вимогам її експлуатації і залежить від допуску розмірів і точності форми поверхонь [1].

Для вільних поверхонь, які оброблені по квалітетам $IT12$ – $IT14$, шорсткість становить $R_a = 6,3$ мкм. Базові поверхні виконані по $IT9$ і їх шорсткість становить $R_a = 1,6$ мкм. Базові поверхні із квалітетами $IT10$ – $IT11$ виконані із шорсткістю $R_a = 3,2$ мкм. Зазначена конструктором шорсткість цих поверхонь відповідає

мінімальним вимогам, які обумовлені функціональним призначенням поверхонь пробки.

Креслення пробки має достатню кількість видів, перетин, розрізів, які дають повне уявлення о конфігурації деталі. Усі поверхні пробки мають розміри, зазначена їх точність, також шорсткість поверхонь. Розміри проставлені правильно і зручні для читання креслення.

Вибір конструктором базою поверхню сфери пробки (база Е на кресленні) не обумовлений, тому що конструкторська база не суміщена із технологічною базою. На протязі технологічного процесу виготовлення пробки не витримується принцип постійності технологічних баз. Поверхня сфери остаточно оброблюється на останній механічній операції. Таким чином, базу Е треба сумістити із віссю центрових отворів пробки і технологічні вимоги будуть виконані.

1.3 Визначення типу та форми організації виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій K_{30} [2]. Вихідними даними для розрахунку K_{30} є існуючий технологічний процес виготовлення пробки і норми штучно-калькуляційного часу $T_{ш-к}$ за всіма операціями. Розрахунок K_{30} наведений в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

Номер операції	Найменування операції	$T_{ш-к}$, хв	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
1	2	3	4	5	6	7
010	Токарна чорнова	38,7	0,1	1	0,1	8
015	Токарна чистова	36,8	0,095	1	0,095	8,42
020	Горизонтально-розточувальна	57,0	0,148	1	0,148	5,41
025	Вертикально-свердлильна	3,0	0,008	1	0,008	100
030	Шліфувальна	13,7	0,036	1	0,036	22,3
035	Полірувальна	13,7	0,036	1	0,036	22,3
	Всього	162,9		6		166,43

Визначення типу виробництва [2].

Кількість верстатів для кожної операції визначається за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.ср.}}$$

де $N = 500$ шт – об'єм випуску деталей за рік;

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

$\eta_{з.н.ср.} = 0,8$ – середній нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (на цьому етапі тип виробництва ще не визначений).

Беремо цілу кількість робочих місць P , які округляємо до ближнього більшого цілого значення m_p .

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}.$$

Кількість операцій, що виконуються на робочому місці:

$$O = \frac{\eta_{з.н.ср.}}{\eta_{з.ф.}}.$$

Результати розрахунків наведені в таблиці 1.6.

Коефіцієнт закріплення операцій розраховується за формулою:

$$K_{з0} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{166,43}{6} = 27,8.$$

Згідно ГОСТ 14.004–83, якщо $20 < K_{з0} = 27,8 \leq 40$, то це відповідає дрібносерійному виробництву.

Визначення форми організації виробництва [2].

Випуск деталей за добу

$$N_d = \frac{N}{254} = \frac{500}{254} \approx 2 \text{ шт},$$

де 254 – кількість робочих днів за рік.

Продуктивність Q поточної лінії за добу, якщо вона завантажена на 60%

$$Q = \frac{F_{добр.} \cdot 60\%}{T_{ср}} = \frac{952 \cdot 0,6}{27,15} = 21 \text{ шт},$$

де $F_{добр.} = \frac{F_d \cdot 60}{254} = \frac{4029 \cdot 60}{254} = 952$ хв – фонд часу роботи обладнання за добу, якщо режим роботи виконується впродовж двох змін.

$$T_{ср} = \frac{\sum T_{ш-к}}{n_p} = \frac{162,9}{6} = 27,15 \text{ хв} - \text{ середня трудомісткість основних механічних}$$

операцій;

$n_p = 6$ – кількість основних механічних операцій у технологічному процесі.

Якщо $N_d = 2 < Q = 21$, то застосування одно номенклатурної поточної лінії недоречно. Беремо групову форму організації виробництва. Запуск виробів у виробництво виконується партіями за визначеним періодом, що відповідає серійному виробництву.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску можна визначати за спрощеним способом

$$N_{\text{п}} = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{500 \cdot 6}{254} \approx 12 \text{ шт.},$$

де $a = 6$ дн – період запуску деталей у виробництво для їх виготовлення.

Розмір партії корегуємо за рахунок кількості змін C , що потрібно для обробки всієї партії

$$C = \frac{T_{\text{ср}} \cdot N_{\text{п}}}{F_3 \cdot \eta_{\text{з.н.}}} = \frac{27,15 \cdot 12}{476 \cdot 0,8} = 0,86,$$

де $F_3 = \frac{F_{\text{доб}}}{b} = \frac{952}{2} = 476$ хв – фонд часу роботи обладнання за одну зміну;

$b = 2$ – кількість змін;

$\eta_{\text{з.н.}} = 0,8$ – нормативний коефіцієнт загрузки станків в серійном виробництві.

Кількість змін округляємо до ближнього цілого значення $C_{\text{п}} = 1$. Тоді кількість деталей в партії

$$N_{\text{п}} = \frac{F_3 \cdot C_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{з.н.}}}{T_{\text{ср}}} = \frac{476 \cdot 1 \cdot 0,8}{27,15} = 15 \text{ шт.}$$

В умовах дрібносерійного типу виробництва вироби виготовляються партіями або серіями, що складаються із одного найменування та одного типу за конструкцією і розмірами виробів, які запускаються у виробництво одночасно. Застосовується різне технологічне обладнання і оснастка: верстати універсальні і з ЧПК; оснастка універсальна, стандартизована із механізованим та ручним приводом. Заготовки оброблюються партіями із послідовним виконанням операцій. Обладнання розташовується, в основному, за ходом технологічного процесу, технологічна оснастка – спеціалізована.

Середня кваліфікація основних робочих вище, ніж у масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному виробництві. Розряди робочих знаходяться в межах 3–5 розрядів. Дрібносерійне виробництво значно економніше, ніж одиничне, тому що краще використовується спеціальне обладнання і оснастка (за рахунок партій деталей), що дозволяє зменшити собівартість продукції.

Технологічна документація і технічне нормування ретельно розроблюється для складних та відповідальних заготовок. Одночасно має місце застосування укрупненої документації.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

1.4.1 Якісна оцінка технологічності конструкції деталі.

Можливість змінювання конструкції деталі дозволяє знизити трудомісткість її виготовлення. Деталь має конструктивні елементи які можна спростити.

Деталь несиметрична відносно площини, яка проходить по осі центрального отвору пробки. Зменшення довжини циліндричної поверхні із 31 мм до 25 мм спростить конструкцію деталі, поліпшить умови базування, зменшить масу матеріалу і собівартість виготовлення деталі.

Фаску розміром 4x30° можна зменшити до розміру 2x45°.

Пропоновані спрощення треба узгодити з конструктором розробленого виробу.

Підвищити технологічність конструкції деталі можна змінюванням конструкції деталі і марки матеріалу із якого виготовлена пробка. Для умов дрібносерійного виробництва можна запропонувати наступні методи виготовлення заготовок – прокат, поковка, штамповка.

Прокат передбачає форму заготовки максимально наближену до готової деталі. Прокат має високі техніко-економічні показники порівняно із іншими способами обробки металів. Цей метод має високу продуктивність, низьку собівартість і високий коефіцієнт використання металу.

Кування заготовки передбачає використання універсального інструменту і обладнання. Шорсткість поверхонь після вільного кування молотом становить $R_z=320\dots80$ мкм, а при використуванні підкладених штампів – $R_z=80\dots40$ мкм. В

дрібносерійному виробництві економічно доцільно виготовляти заготовку штампуванням на КГШП. Штампована заготовка має невеликі припуски, що максимально наближує форму заготовки до готової деталі. Це дуже важливо для конструкції, яка має форму сфери з отвором великого діаметру. Штампування на КГШП дозволить виготовити сферу і отвір, що значно підвищить коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{вм}}$.

Матеріалом заміником сталі 10Г2 пропонується сталь 20 ГОСТ 1050–88. Хімічний склад і механічні властивості сталі 20 наведені в таблицях 1.7 і 1.8.

Таблиця 1.7 – Хімічний склад сталі 20 ГОСТ 1050–88 (у відсотках)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni	As
			Не більше					
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	0,25	0,04	0,035	0,25	0,25	0,08

Таблиця 1.8 – Механічні властивості сталі 20 ГОСТ 1050–88

Показники	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ ,%	Ψ ,%	КСУ, Дж/см ²	НВ
Поковка	215	430	24	53	54	123–167

Запропоновану заміну треба з'ясувати з конструктором виробу.

Третім напрямком підвищення технологічності конструкції деталі є зменшення об'єму механічної обробки. Це пов'язано із способом виготовлення вихідної заготовки та призначенням технічних вимог до точності і якості її поверхонь.

Для обробки поверхонь заготовки треба застосувати високопродуктивні методи обробки. Для реалізації методів треба використати високопродуктивне і точне обладнання, технологічну оснастку з пневматичними або гідравлічними приводами, високопродуктивний різальний інструмент. Налагодження верстатів виконувати один раз і обробку виконувати по налагоджувальному розміру, що значно скоротить допоміжний час операції.

Розміри на кресленні проставлені відповідно вимогам ЕСКД. Конструкторську базу Е треба щоб вона співпадала із віссю центрових отворів (технологічною базою). Кількість видів, перерізів, розтинів достатньо для повного уявлення конструкції деталі.

За цим показником конструкцію деталі «Пробка» можна вважати технологічною.

1.4.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції деталі.

Коефіцієнт точності K_T визначається за формулою [18]:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}},$$

де T_{cp} – середня точність розмірів деталі, яка визначається за формулою:

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^k T_i n_i}{\sum_{i=1}^k n_i},$$

де i – кількість квалітетів точності розмірів деталі;

T_i – кількість допусків i -го квалітету;

n_i – кількість розмірів i -го квалітету.

Розподілення розмірів по квалітетам точності наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Кількість розмірів різних квалітетів

Квалітет, T_i	9	10	11	14
Кількість розмірів, n_i	3	3	4	13

$$T_{\text{cp}} = \frac{9 \cdot 3 + 10 \cdot 3 + 11 \cdot 4 + 14 \cdot 13}{3 + 3 + 4 + 13} = 12,3.$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{12,3} = 0,92.$$

Коефіцієнт точності наближений до одиниці, тому можна зробити висновок, що конструкція деталі достатньо технологічна за цим показником.

Коефіцієнт шорсткості $K_{\text{ш}}$ визначається за формулою [18]:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{cp}}},$$

де Ш_{cp} – середня шорсткість поверхонь деталі, яка визначається за формулою:

$$\text{Ш}_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^k \text{Ш}_i n_i}{\sum_{i=1}^k n_i},$$

де i – кількість класів шорсткості поверхонь деталі;

Ш_i – значення шорсткості для i -ої ступені;

n_i – кількість поверхонь i -ої ступені шорсткості.

Розподілення поверхонь по степеням шорсткості, які призначені конструктором, наведено в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Кількість поверхонь із різною шорсткістю

Шорсткість за критерієм R_a , мкм, $Ш_i$	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3
Кількість поверхонь, n_i	1	3	2	1	16

$$Ш_{\text{ср}} = \frac{0,4 \cdot 1 + 0,8 \cdot 3 + 1,6 \cdot 2 + 3,2 \cdot 1 + 6,3 \cdot 16}{1 + 3 + 2 + 1 + 16} = 4,78.$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{4,78} = 0,21.$$

За цим показником конструкція деталі є технологічною.

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{вм}}$ визначається за формулою:

$$K_{\text{вм}} = \frac{m_{\text{д}}}{m_{\text{з}}} = \frac{30,7}{46,2} = 0,66.$$

За коефіцієнтом використання матеріалу конструкція деталі недостатньо технологічна. Цей показник можна підвищити, якщо застосувати більш сучасний спосіб виготовлення заготовки. Пропонований спосіб треба визначити за економічним показником із урахуванням об'єму випуску виробів.

Таким чином, за кількісними показниками $K_{\text{т}}$, $K_{\text{ш}}$, $K_{\text{вм}}$ конструкція деталі «Пробка» є технологічною.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу

Базовий технологічний процес виготовлення пробки складається із вісімнадцяти технологічних операцій, із яких сім – механічні, дві – слюсарні, дві розміточні, одна – маркувальна, одна – термічна, дві – промивальні, одна – гальванічна і дві – контрольних. Нумерація поверхонь наведена на рисунку 1.2, а послідовність виконання операцій з позначенням оброблених поверхонь – в таблиці 1.11.

Аналіз заводського технологічного процесу (див. табл. 1.9) виявив, що при виготовленні деталі використовуються немеханізовані операції. До таких операцій віднесені операції «Розмічування» та «Слюсарна». Наявність таких операцій в існуючому технологічному процесі – це низька точність методів механічної

Продовження таблиці 1.11

1	2	3	4																																
040 Свердлильна	11	6,3																	+	+	+	+												+	
045 Слюсарна																				+	+														
050 Розточувальна	14	6,3	+																															+	
050 Шліфувальна	9	0,8–1,6	+	+	+																														
055 Промивання	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
065 Маркування	–	–										+																							
070 Контроль ВТК			+		+	+															+	+	+	+											+
075 Гальванічна			+																																+
080 Полірувальна	9	0,4	+																																+
085 Промивання	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
085 Слюсарна	9	0,8–6,3																			+	+													+
090 Контроль ВТК			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

В існуючому технологічному процесі виготовлення пробки використовуються стандартні різці із напаяними пластинами із твердого сплаву і швидкорізальної сталі. Для обробки зовнішніх поверхонь методами точіння. При обробки отворів використовуються стандартні свердла, інший осьовий («мірний») інструмент із швидкорізальної сталі.

Режими різання на операціях призначаються безпосередньо робочими. Це потребує високої кваліфікації робочих-верстатників, що збільшує собівартість виготовлення пробки за рахунок збільшення заробітної плати. Крім того, керівний персонал цеху і дільниць не може точно визначити ступінь завантаження робочих місць, що утруднює раціональне використання основних фондів підприємства.

Позитивним у існуючому технологічному процесі є отримання готової деталі із заданими конструктором параметрами. Також, технологічний процес складений правильно і відповідає рекомендованим етапам його виконання. При призначенні схем базування на операціях виготовлення пробки виконувався принцип постійності і суміщення баз (конструкторських, технологічних і вимірювальних).

В існуючому технологічному процесі витримувався принцип концентрації операцій, що характерно для одиничного типу виробництва. Особливо це проявилось на токарних операціях, де оброблювалась значна кількість поверхонь заготовки.

До недоліків існуючого технологічного процесу можна віднести підвищена кількість оброблених зовнішніх циліндричних поверхонь. Наприклад, поверхні із квалітетом точності IT9 і шорсткістю $R_a = 1,6$ мкм достатньо обробляти чистовим точінням (без операції шліфуванні). На операції «Слюсарна» нарізається різь М8 і М10, які рекомендується нарізати не ручним, а механізованим способом.

В операцію 090 «Контроль ВТК» треба включити вимірювання якості поверхневого хромованого шару пробки, щоб контролювати недоліки (похибки) гальванічного процесу покриття пробки хромом.

Таким чином, основний перелік операцій існуючого технологічного процесу виготовлення пробки можна прийняти за основу, а виявлені недоліки треба виправити при застосуванні його у дрібносерійному виробництві.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Аналіз операцій існуючого технологічного процесу виявив завдання для його удосконалення.

1 Для умов дрібносерійного виробництва треба запропонувати новий спосіб виготовлення вихідної заготовки – штамповку на КГШП. Запропонований спосіб треба визначити за техніко-економічними показниками.

2 Ретельно дослідити схеми базування і закріплення заготовок на операціях 035 «Токарна з ЧПК» і 040 «Свердлильна з ЧПК». Із запропонованих схем вибрати оптимальну.

3 У пропонованому технологічному процесі запропонувати нові, більш продуктивні, моделі верстатів, підібрати відповідну технологічну оснастку, різальний та вимірювальний інструменти. Зробити розрахунок режимів різання та норм часу на наведені операції.

4 З метою підвищення якості контролю радіального биття базових поверхонь пробки (двох поверхонь діаметром $75h9$ мм) і поверхні сфери діаметром $250h9$ мм (співвісність цих поверхонь відносно осі E) пропонується розробити спеціальний контрольно-вимірювальний пристрій.

5 Потрібні експлуатаційні характеристики поверхонь пробки формуються на оздоблювальному етапі її оброблення. На операції 050 «Шліфувальна» виконується обробка поверхні сфери пробки. Для обробки застосовується круглошліфувальний верстат із спеціальним абразивним кругом. Обробка виконується методом врізаного шліфування (копіювання). За практичними даними підприємства шліфування незагартованої сталі 10Г2 може призвести до появи прожогів обробленої поверхні. Крім того, в багатьох випадках на поверхні сфери відбувається огранювання, яке зостається від недостатньо врівноваженого шліфувального круга. Для усунення виявлених недоліків шліфування в структурі операції треба змінити режими різання та зменшити дисбаланс круга.

6 Правильна назва операції 075 існуючого технологічного процесу – «Отримання покриттів». На цієї операції виконується покриття хромом поверхні сфери діаметром $250h9(0;-0,1)$ мм. Згідно вимог креслення (Хтв.21) покриття хромом треба виконувати дифузійним методом. Покриття сфери пробки дифузійним методом дозволяє забезпечити рівномірний шар хрому на всієї поверхні сфери і витримати якісні характеристики покриття (вимоги креслення).

7 Операція 080 «Полірувальна» в існуючому технологічному процесі виконується на токарно-гвинторізному верстаті. Обробка виконується абразивною шкуркою, ручним способом. Суб'єктивний характер робітника може вплинути на точність розміру, форму і шорсткість поверхні сфери. Для усунення цього недоліку треба запропонувати новий, більш ефективний спосіб оздоблювальної обробки. Пропонується обробку виконувати в середовищі, де інструментом є абразивна суміш, яка періодично знаходиться в різних станах (твердому або сипучому).

8 Для реалізації запропонованого способу обробки треба виконати теоретичні та експериментальні дослідження, розробити спеціальний пристрій для полірування і надати рекомендації для вибору оптимального режиму різання при обробки хромової поверхні сфери пробки.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Операція 005 «Обробка тиском». На операції попередньо формуються основні поверхні деталі – поверхня сфери, наскрізний отвір пробки (дивись креслення заготовки 1.2750.127.810.04).

Операція 010 «Термічна обробка». Операція виконується на термічній ділянці цеху. Виконується відпалювання з метою зняття внутрішніх напружень і формування поліпшеної структури металу.

Операція 015 «Токарно-гвинторізна». На операції відрізаються зразки для дослідження механічних властивостей та хімічного складу заготовки.

Операція 020. «Технічний контроль». Виконується контроль заготовки на наявність у неї пустот і раковин за допомогою ультразвуку (ультразвукова дефектоскопія).

Операція 025 «Горизонтально-розточувальна». Мета операції – виготовлення технологічних баз (торцевих поверхонь та центрових отворів) для наступної обробки поверхонь пробки.

Операція 030 «Токарна з ЧПК». На операції виконується чорнове і півчистове точіння зовнішніх поверхонь деталі (точність розмірів – 10-й квалітет точності).

Операція 035 «Токарна з ЧПК». На операції остаточно точаться зовнішні циліндричні поверхні із точністю розмірів 9-го квалітету та шорсткістю поверхонь $R_a=1,6$ мкм; оброблюються торцеві поверхні пробки.

Операція 040 «Горизонтально-розточувальна». На операції розточується отвір діаметром $151(+0,87;0)$ мм та витримується розмір $126(0;-0,16)$ мм. Також підрізаються торці і забезпечуються розміри $96,5(0;-0,1)$ мм і $193(0;-0,2)$ мм.

Операція 045 «Вертикально-свердлильна». На операції свердлиться отвір під різь і нарізається різь M10 у центровому отворі деталі.

Операція 050 «Свердлильна з ЧПК». На операції за один установ заготовки в торці заготовки оброблюються отвори. Обробка виконується в спеціальному пристрої на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК моделі 2P135Ф2-1.

Операція 055 «Круглошліфувальна». На операції шліфуються поверхня сфери пробки та її два торці.

Операція 060 «Промивання». Деталь промивається у ванні бензином «Калоша» та обдувається сухим стислим повітрям.

Операція 065 «Технічний контроль». На операції відбувається контроль шорсткості і точності розміру поверхні сфери пробки, на яку на наступній операції буде нанесений хром.

Операція 070 «Отримання покриттів (металічних)». На поверхню сфери діаметром 250h9 (поверхня Т) та на поверхні К наноситься хром (виконується четверта технічна вимога креслення).

Операція 075 «Полірувальна». На операції полірується сферична поверхня пробки, радіуси R2 поверхонь К (дивись креслення пробки). Забезпечується шорсткість поверхонь $R_a = 0,4$ мкм та $R_a = 0,8$ мкм які поліруються. Полірування виконується в спеціально спроектовану пристрої.

Операція 080 «Промивання». Деталь промивається від бруду, остатку ЗОР, металевого і абразивного шламу.

Операція 085 «Слюсарна». Видаляються задирки, притуплюються гострі кромки деталі.

Операція 090 «Технічний контроль». Виконується контроль основних технічних вимог креслення пробки.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

У дрібносерійному виробництві вихідними заготовками для валів застосовуються поковки штамповані або прокат. Застосування того або іншого способу заготовки визначається техніко-економічними розрахунками. Порівняємо поковку штампованою на КГШП з поковкою, штампованою на молотах.

Розрахунок штампованої заготовки на КГШП.

Штампувальне обладнання – КГШП, спосіб штамповки – відчинена («облойна») штамповка, нагрівання заготовок – індукційний.

Визначаємо масу поковки $G_{\text{п}}$

$$G_{\text{п}} = G_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}} = 30,7 \cdot 1,8 \cong 55,3 \text{ кг.}$$

де $G_{\text{д}} = 30,7$ кг – маса деталі;

$K_{\text{р}} = 1,8$ – розрахований коефіцієнт [11, додаток 3].

Клас точності Т4 [11, додаток 1], група сталі – М2, середня масова доля вуглецю в сталі 10Г2 – 0,11%; сумарна масова доля легуючих елементів $\approx 2,72\%$ (0,27%Si; 1,4%Mn; 0,3%Cu; 0,3%M; 0,3%Cr), ступень складності – С2 [11, додаток 2].

Розмір фігури – циліндр діаметром 250 мм, довжиною 260 мм. Маса фігури $G_{\text{ф}}$:

$$G_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 25^2 \cdot 26 \cdot 1,05 \cdot 7,8}{4} = 104,5 \text{ кг.}$$

$$C = \frac{G_{\text{п}}}{G_{\text{ф}}} = \frac{55,3}{104,5} = 0,53.$$

Конфігурація поверхні рознімання штампа – П (плоска) [11, т.1]. Вихідний індекс – 17 [11, т.2].

Основні припуски на розміри, мм [11, т.3]:

3,5 – діаметр 250 мм і шорсткість поверхні 0,4 мкм;

3,0 – діаметр 151 мм і шорсткість поверхні 6,3 мкм;

2,7 – діаметр 75 мм і шорсткість поверхні 1,6 мкм;

3,5 – товщина 260 мм і шорсткість поверхонь 3,2 мкм / 6,3 мкм;

2,5 – довжина 31 мм і шорсткість поверхонь 6,3 мкм / 1,6 мкм;

2,5 – довжина 25 мм і шорсткість поверхонь 3,2 мкм / 1,6 мкм;

4,1 – ширина 193 мм і шорсткість поверхонь 0,4 мкм / 0,4 мкм;

3,5 – довжина 126 мм і шорсткість поверхні 6,3 мкм;

4,1 – товщина 96,5 мм і шорсткість поверхні 0,4 мкм.

Додаткові припуски, які враховують: зміщення поверхонь рознімання штампа – 0,6 мм [11, т.4]; зігнутість і відхилення від площинності та прямолінійності 0,6 мм [11, т.5]

Штампувальні ухили: на зовнішній поверхні не більше 5°; на внутрішній поверхні не більше 7°.

Треба передбачити напуск на довжину 260 мм, який потрібен для зразків, що визначають механічні властивості металу поковки із розрахунку 40 мм на сторону (на діаметрі 75 мм).

Розміри поковки:

- діаметр $250+(3,5+0,6+0,6)\times 2=259,4$ мм, приймаємо 260 мм;
- діаметр $151-(3,0+0,6+0,6)\times 2=142,6$ мм, приймаємо 142 мм;
- діаметр $75+(2,7+0,6+0,6)\times 2=82,8$ мм, приймаємо 83 мм;
- товщина $260+(3,5+0,6)\times 2=268,2$ мм, приймаємо 268 мм;
- довжина $31-2,5-0,6=27,9$ мм, приймаємо 28 мм;
- довжина $25-2,5-0,6=21,9$ мм, приймаємо 22 мм;
- ширина $193+(4,1+0,6)\times 2=202,4$ мм, приймаємо 202 мм;
- товщина $96,5+(4,1+0,6)=101,2$ мм, приймаємо 101 мм;
- довжина $126+3,5+0,6=130,1$ мм, приймаємо 130 мм.

Радіус закруглення кутів: зовнішніх – 5 мм; внутрішніх – 7 мм.

Допуски на розміри, мм [11, т.8]:

діаметр 260(+3,7;-1,9); діаметр 142(+1,5;-3,0); діаметр 83(+2,7;-1,3);
товщина 268(+3,7;-1,9); довжина 28(+2,4;-1,2); довжина 22(+2,4;-1,2);
товщина 101(+3,3;-1,7); довжина 130(+3,0;-1,5); ширина 202(+3,7;-1,9).

Розраховані розміри наведені в таблиці 2.1, а ескіз заготовки на рисунку 2.1.

Таблиця 2.1 – Розміри поковки виготовленої на КГШП

Розміри креслення	Припуски і допуски	Допуски	Додатковий припуск	Розміри поковки
1	2	3	4	5
М8-7Н	Напуск	–	–	–
Ø25,5Н11		–	–	–
Ø40		–	–	–
Ø75h9	2,7	4,0	1,2	Ø83(+2,7;-1,3)
Ø110	Напуск	–	–	–
Ø151	3,0	4,5	1,2	Ø142(+1,5;-3,0)
Ø250h9	3,5	5,6	1,2	Ø260(+3,7;-1,9)

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
R2	Напуск	—	—	—
3		—	—	—
5		—	—	—
22		—	—	—
25	2,5	3,6	0,6	22(+2,4;-1,2)
31	2,5	3,6	0,6	28(+2,4;-1,2)
96,5	3,5	5,0	0,6	101(+3,3;-1,7)
126	3,0	4,5	0,6	130(+3,0;-1,5)
193	4,1	5,6	0,6	202(+3,7;-1,9)
260	3;5	5,6	0,6	268(+3,7;-1,9)

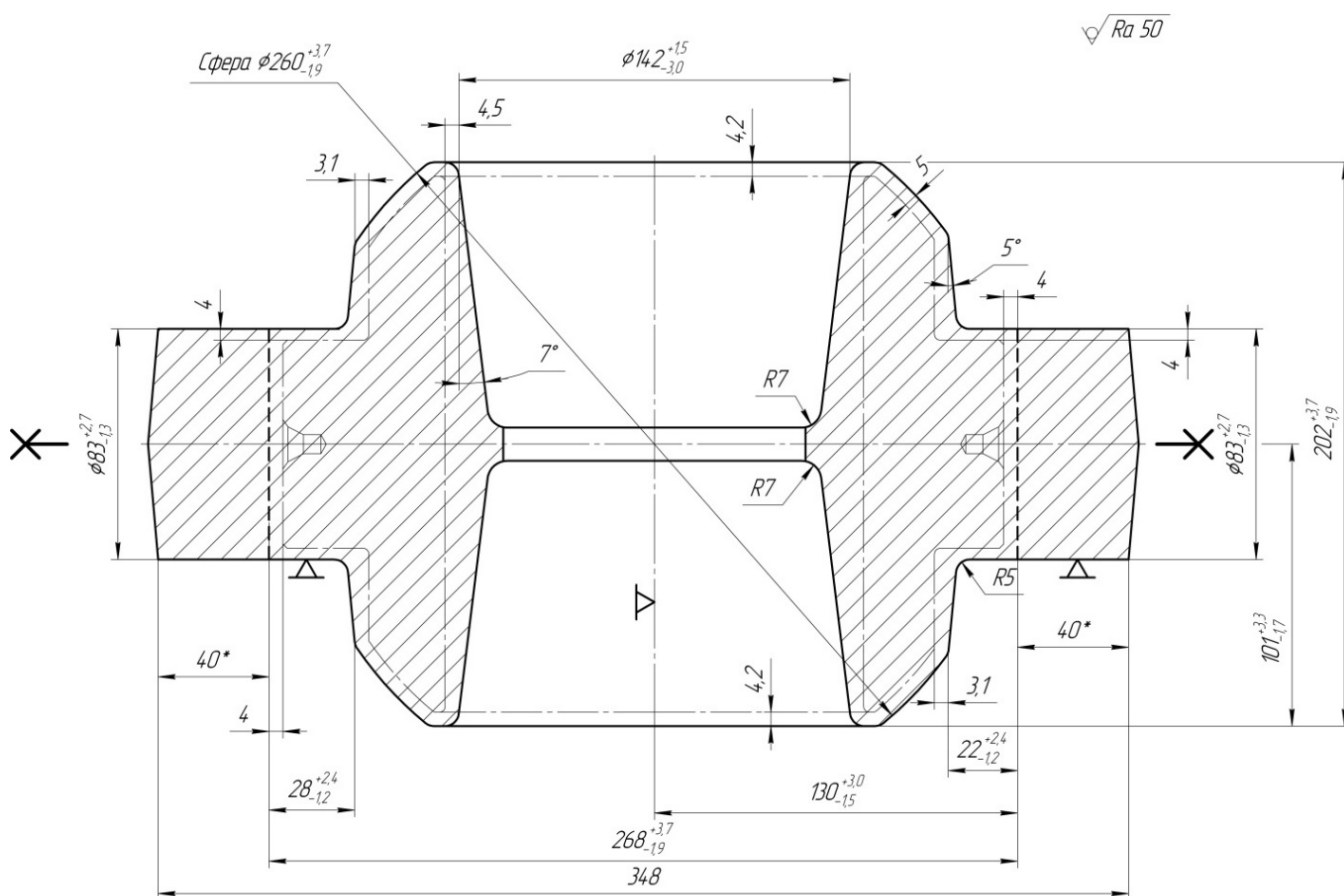


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки виготовленої на КГШП

Маса поковки M_3 , яка виготовлена штамповкою на КГШП

$$M_{шз} = V_{п} \cdot \rho = 5915,56 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 46,2 \text{ кг.},$$

де $\rho = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^3$ – густина матеріалу заготовки; $V_{п} = 5915,56 \text{ см}^3$ – об'єм поковки, яка розрахована згідно рисунку 2.1.

Гранична величина зміщення по поверхні рознімання штампа складає 1,2 мм [11, т.9], гранична величина остаточного «облоя» 1,4 мм [11, т.10], граничне найбільше відхилення від концентрично пробитого отвору 2 мм [11, т.12], граничне відхилення від зігнутості 1,2 мм [11, т.13].

Вартість штампованої заготовки визначається за формулою [2, с.31]:

$$S_{\text{шз}} = M_{\text{шз}} \cdot S_3 \cdot K_T \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_M \cdot K_{\Pi} - (M_{\text{шз}} - M_{\text{д}}) \cdot S_{\text{отх}},$$

де $M_{\text{шз}} = 46,2$ кг – маса штампованої заготовки;

$S_3 = 12,3$ грн – вартість одного кілограма заготовки;

$K_T = 1,0$; $K_B = 0,7$; $K_C = 1,15$; $K_M = 1,13$; $K_{\Pi} = 1,0$ – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і об'єму виробництва заготовок [2, с.37, 38];

$S_{\text{отх}} = 2,1$ грн – вартість одного кілограма відходів;

$M_{\text{д}} = 30,7$ кг – маса деталі.

$$S_{\text{шз}} = 46,2 \cdot 12,3 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,15 \cdot 1,13 \cdot 1 - (46,2 - 30,7) \cdot 2,1 = 485 \text{ грн.}$$

Розрахунок штампованої заготовки на молотах.

Обладнання – штампований молот, маса поковки 55,3 кг (розрахована), розрахований коефіцієнт $K_p=1,8$ [11, додаток 3].

Клас точності Т4 [11, додаток 1], група сталі – М2, ступень складності – С2 [11, додаток 2].

Конфігурація поверхні рознімання штампа – (плоска) [11, т.1], вихідний індекс – 17 [11, т.2].

Розраховані розміри заготовки, яка отримана ковкою на молотах, наведені в таблиці 2.2, а ескіз заготовки – на рисунку 2.2.

Маса заготовки $M_{\text{пз}}$, яка виготовлена ковкою на молотах:

$$M_{\text{пз}} = V_{\Pi} \cdot \rho = 14760,5 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} = 115,2 \text{ кг.}$$

де $\rho = 7,8 \cdot 10^{-3}$ кг/см³ – густина матеріала заготовки;

$V_{\Pi} = 14760,5$ см³ – об'єм поковки, розрахований за даними рисунку 2.2.

Таблиця 2.2 – Розміри заготовки, які отримані ковкою на молотах

Розміри креслення	Припуски и допуски	Допуски	Додатковий припуск	Розмір поковки
1	2	3	4	5
M8-7H	Напуск	–	–	–
Ø25,5H11		–	–	–
Ø40		–	–	–
Ø75h9	2,7	4,0	1,2	Ø83(+2,7;-1,3)
Ø110	Напуск	–	–	–
Ø151		–	–	–
Ø250h9	3,5	5,6	1,2	Ø260(+3,7;-1,9)
R2	Напуск	–	–	–
3		–	–	–
5		–	–	–
22		–	–	–
25	2,5	3,6	0,6	22(+2,4;-1,2)
31	2,5	3,6	0,6	28(+2,4;-1,2)
96,5	Напуск	–	–	–
126		–	–	–
193		–	–	–
260		3,5	5,6	0,6

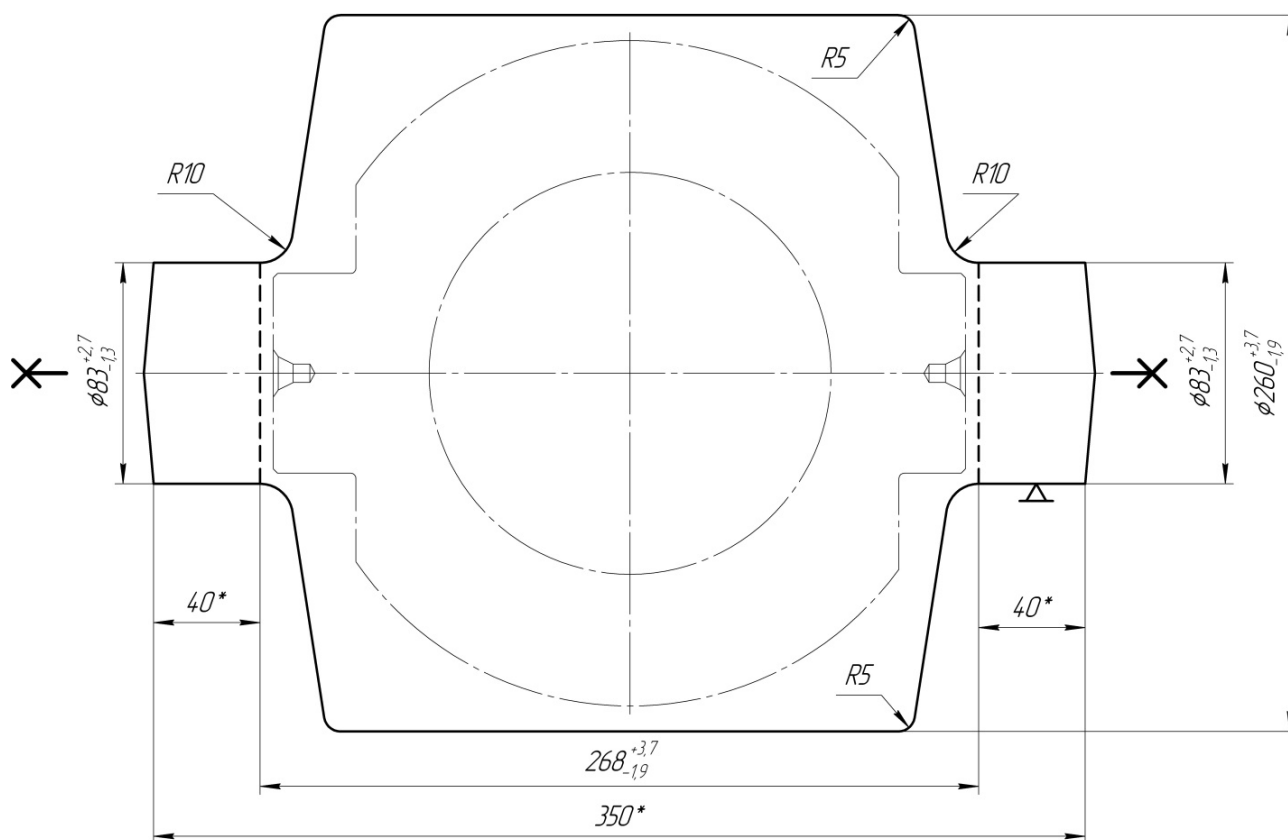


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки виготовленої на молотах

Вартість заготовки, яка виготовлена ковкою на молотах, визначається за формулою [2, с.31]:

$$S_{\text{пз}} = M_{\text{пз}} \cdot S_3 \cdot K_T \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_M \cdot K_{\text{п}} - (M_{\text{пз}} - M_{\text{д}}) \cdot S_{\text{відх}},$$

де $M_{\text{пз}} = 115,2$ кг – маса кованої на молотах заготовки;

$S_3 = 12,3$ грн – вартість одного кілограма заготовки;

$K_T = 1,0$; $K_B = 0,7$; $K_C = 1,15$; $K_M = 1,13$; $K_{\text{п}} = 1,0$ – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і об'єму заготовок [2, с.37–38];

$S_{\text{відх}} = 2,1$ грн – вартість одного кілограма відходів;

$M_{\text{д}} = 30,7$ кг – маса деталі.

$$S_{\text{шз}} = 115,2 \cdot 12,3 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1,15 \cdot 1,13 \cdot 1 - (115,2 - 30,7) \cdot 2,1 = 1112 \text{ грн.}$$

Вартість штампованої на КГШП заготовки менше вартості заготовки, виготовленої ковкою на молотах

$$S_{\text{шз}} = 485 \text{ грн} < S_{\text{пз}} = 1112 \text{ грн.}$$

Приймаємо заготовку, яка виготовлена штампуванням на КГШП.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Розрахунок припусків виконується розрахунково-аналітичним методом для розміру діаметром $75h9(0;-0,074)$ мм [2].

Визначається шорсткість поверхні R_{Zi-1} і величина дефектного шару H_{i-1} за технологічними переходами:

Поковка на КГШП: $R_{Zi-1}=200$ мкм; $H_{i-1}=300$ мкм.

Точіння (чорнове): квалітет 12; $R_{Zi-1}=50$ мкм; $H_{i-1}=50$ мкм;

Точіння (напівчистове): квалітет 10; $R_{Zi-1}=30$ мкм; $H_{i-1}=30$ мкм;

Точіння (чистове): квалітет 9; $R_{Zi-1}=10$ мкм; $H_{i-1}=15$ мкм.

Величина просторових відхилень заготовки ρ_3 розраховується за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2 + \rho_{\text{ж}}^2} = \sqrt{1^2 + 1,62^2 + 0,165^2} = 1,911 \text{ мм,}$$

де $\rho_{\text{зм}} = 1$ мм – величина зміщення поверхонь заготовки;

$\rho_{ц}$ – величина центрування заготовки в призмах при затисканні її одностороннім затискачем розраховується за формулою:

$$\rho_{ц} = \sqrt{\left(\frac{T_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{3,2}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 1,62 \text{ мм};$$

$\rho_{ж} = \Delta \cdot L = 0,7 \cdot 235 = 0,165 \text{ мм}$ – величина жолоблення заготовки ($\Delta=0,7 \text{ мкм/мм}$ – кривизна заготовок на 1 мм довжини; $L = 235 \text{ мм}$ – відстань від опори до перерізу заготовки).

Для чорнового точіння: $\rho_{чорн} = \rho_3 \cdot 0,06 = 1911 \cdot 0,06 = 115 \text{ мкм}$.

Для напівчистового точіння: $\rho_{п/чист} = \rho_3 \cdot 0,04 = 1911 \cdot 0,04 = 76 \text{ мкм}$.

Для чистового точіння: $\rho_{чист} = \rho_3 \cdot 0,02 = 1911 \cdot 0,02 = 38 \text{ мкм}$.

Величина похибки установлення ε_{yi} заготовки не розраховується, тому що обробка виконується на центрах.

Розраховані дані є вихідними даними для розрахунку припусків і граничних розмірів для операцій на яких формується розмір $75h9$. Розрахунок виконується за допомогою програми «rgr» СумДУ (дивись додаток Б). За результатами розрахунків побудована схема розташування припусків і допусків (див. рис. 2.3).

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки

Розглянемо дві схеми базування заготовки на операції 035 «Токарна з ЧПК». Перша схема передбачає базування на передньому жорсткому та задньому обертовому центрах і передачу крутного моменту заготовки через торець повідковим патроном (див. рис 2.4).

При базуванні заготовки на передній жорсткий центр (схема №1), вона позбавляється одночасно п'яти ступенів вільності: подвійна напрямна база (ПНБ) та опорна база (ОБ) (див. табл. 2.3 та 2.4).

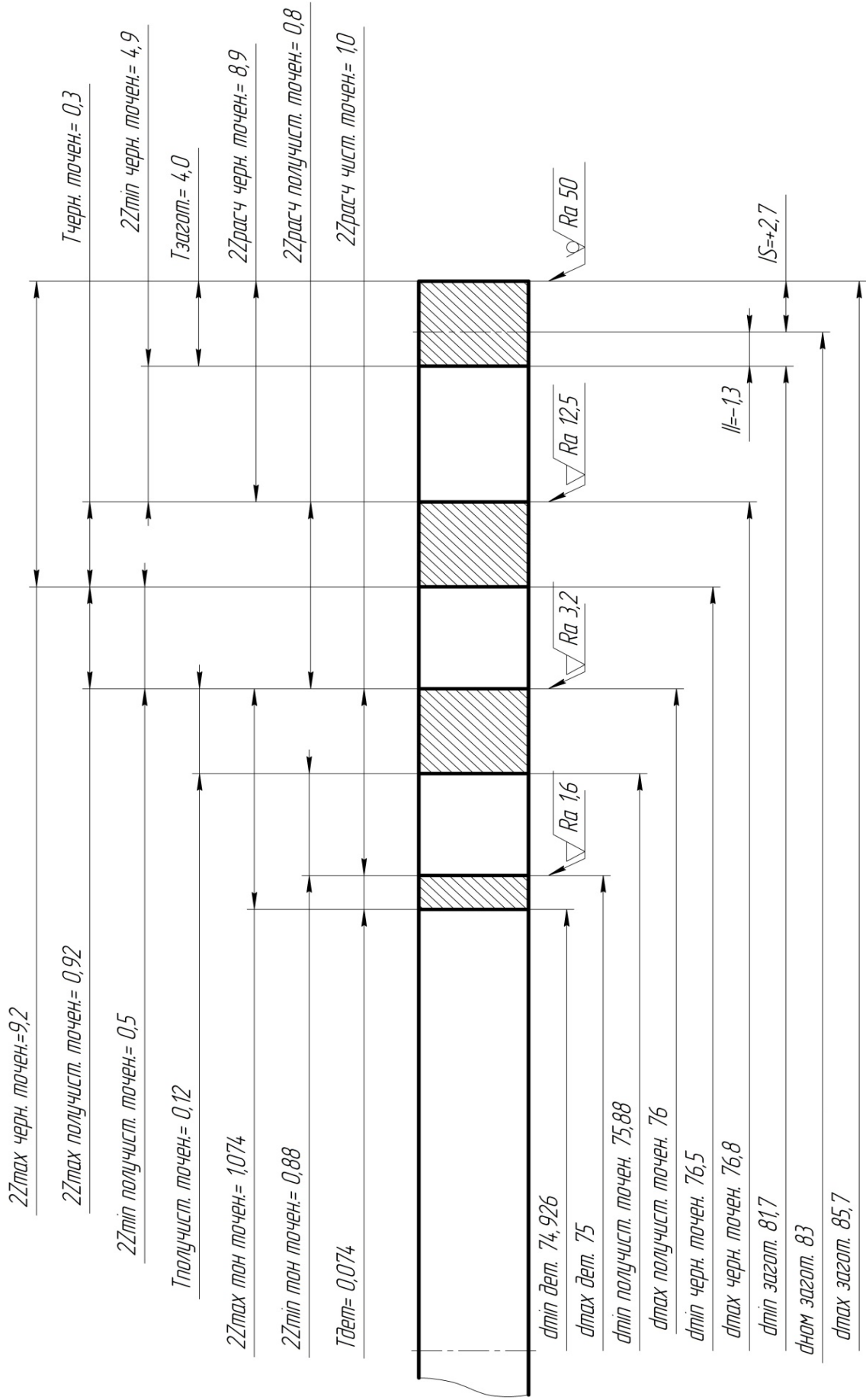


Рисунок 2.3 – Схема розгашування припусків і допусків для діаметру 75h9

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступень вільності	Найменування бази, характер прояву
1, 2, 3, 4, 5	I, II, III, V, VI	ПНБ + ОБ, приховані бази
6	IV	Вакансія

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / I, α	X	Y	Z	Найменування бази
1	1	1	1	ПНБ + ОБ
α	1	1	0	
1	0	0	0	–
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5-Ь зв'язків

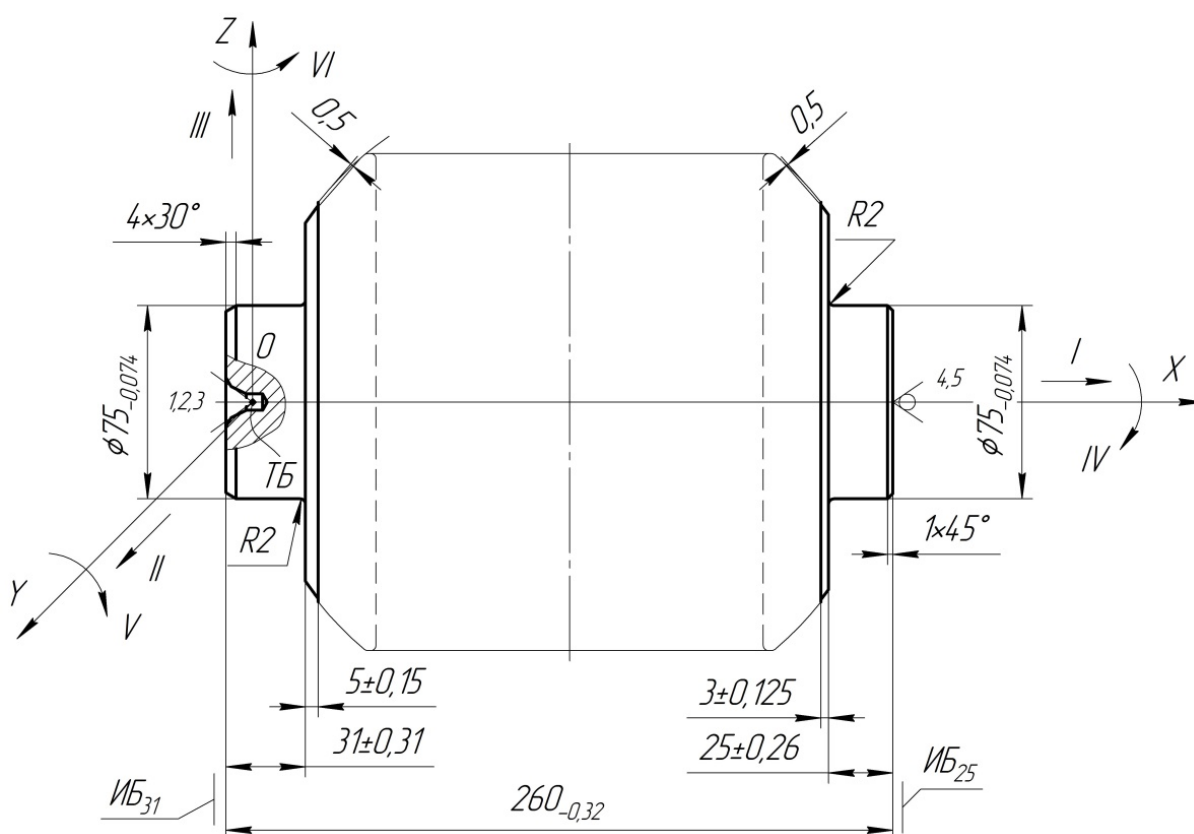


Рисунок 2.4 – Базування заготовки на операції 035. Схема №1

При базуванні заготовки за цією схемою виникає похибка центрування, що пов'язано із допуском довжини центрального отвору (див. рис. 2.5). Різна глибина центрального отвору призводить до «просадки» жорсткого центру. Так як шпичок центру є технологічною базою (ТБ), то виникає її різне розташування (див. рис. 2.4) і ТБ не співпадає з ВБ.

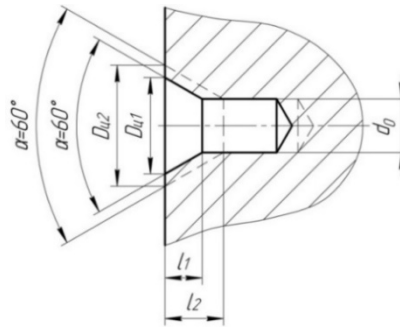


Рисунок 2.5 – Схема для визначення похибки центрування

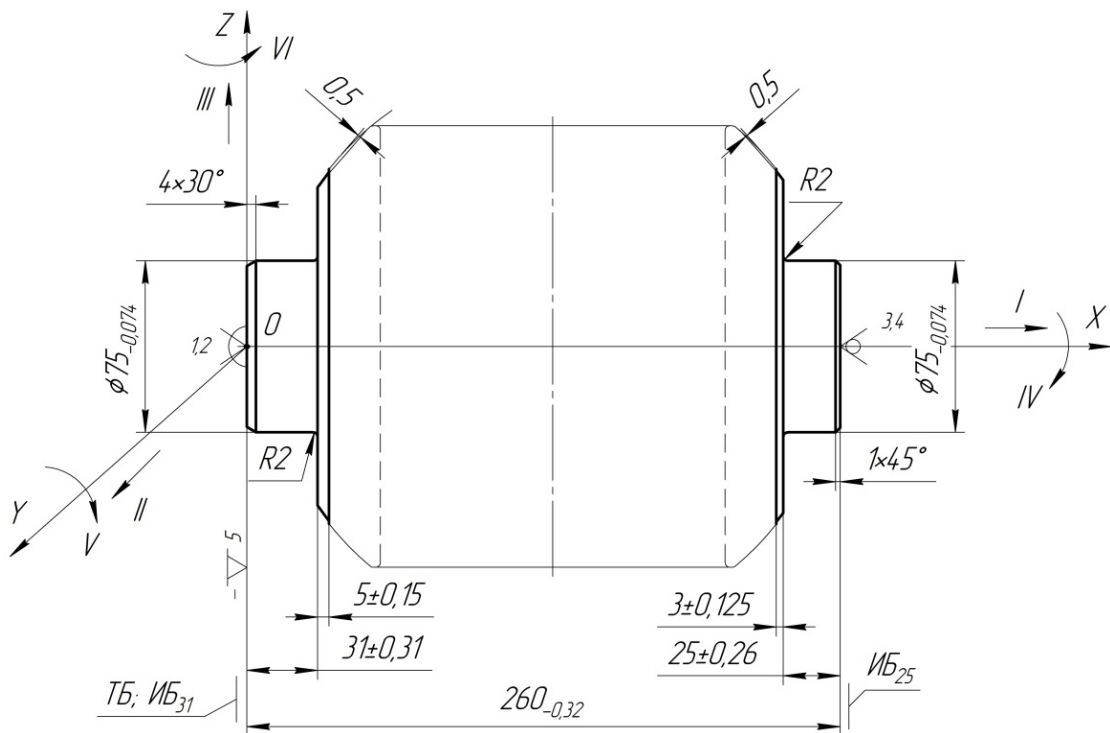


Рисунок 2.6 – Базування заготовки на операції 035. Схема №2

Похибку центрування можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{ц} = \frac{TD_{ц}}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{180}{2 \tan \frac{60^\circ}{2}} = 156 \text{ мкм},$$

де $TD_{ц} = (D_{ц2} - D_{ц1}) = 180 \text{ мкм}$ – допуск на діаметр центрального отвору;

$\alpha = 60^\circ$ – кут центрального отвору;

$\varepsilon_{ц} = (l_2 - l_1)$ – похибка центрування.

Визначимо похибку базування для лінійних розмірів $25 \pm 0,26 \text{ мм}$ та $31 \pm 0,31 \text{ мм}$, точність яких треба забезпечити на операції.

$$\varepsilon_{631} = \varepsilon_{ц} = 156 \text{ мкм}; \varepsilon_{625} = T_{260} + \varepsilon_{ц} = 320 + 156 = 476 \text{ мкм},$$

де $T_{260} = 320 \text{ мкм}$ – допуск розміру 260 мм .

Порівняємо: $T_{25} = 520 \text{ мкм} > \varepsilon_{625} = 476 \text{ мкм}$ – точність забезпечується;

$T_{31} = 620 \text{ мкм} > \varepsilon_{631} = 156 \text{ мкм}$ – точність забезпечується.

Для діаметральних розмірів $75(0;-0,074)$ мм похибка базування дорівнює нулю (осі заготовки та верстата збігаються). Точність цих розмірів залежать від точності налагодження інструменту на розмір та кінематичної точності верстата.

При базуванні заготовки на передній «плаваючий» центр із упором в торець, заготовка також позбавляється п'яти ступенів вільності, але схема базування буде іншою (див. табл. 2.5 та 2.).

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступень вільності	Найменування бази, характер прояву
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ, прихована база
5	I	ОБ, явна база
6	IV	Вакансія

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / 1, α	X	Y	Z	Найменування бази
1	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	–
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5-ь зв'язків

Похибка базування для розміру $31 \pm 0,31$ мм $\varepsilon_{631} = 0$, тому що, вимірювальна (ВБ₃₁) та технологічна (ТБ) бази суміщені. Для розміру $25 \pm 0,26$ мм $\varepsilon_{625} = T_{260} = 320$ мкм. Так як $T_{25} = 520$ мкм $> \varepsilon_6 = 320$ мкм, то точність розміру забезпечується.

Із двох схем базування більша точність розмірів забезпечується схемою №2, тому її приймаємо для операції 035 «Токарна з ЧПК».

Розглянемо дві схеми базування заготовки на операції 050 «Свердлильна з ЧПК». За схемою №1 заготовка базується центровим отвором із упором в торець шарової поверхні (див. рис. 2.7), а за схемою №2 – центровим отвором із упором в торець поверхні діаметру $75h9$ (див. рис. 2.8). Також за обома схемами підводиться упор до отвору діаметром 151 мм.

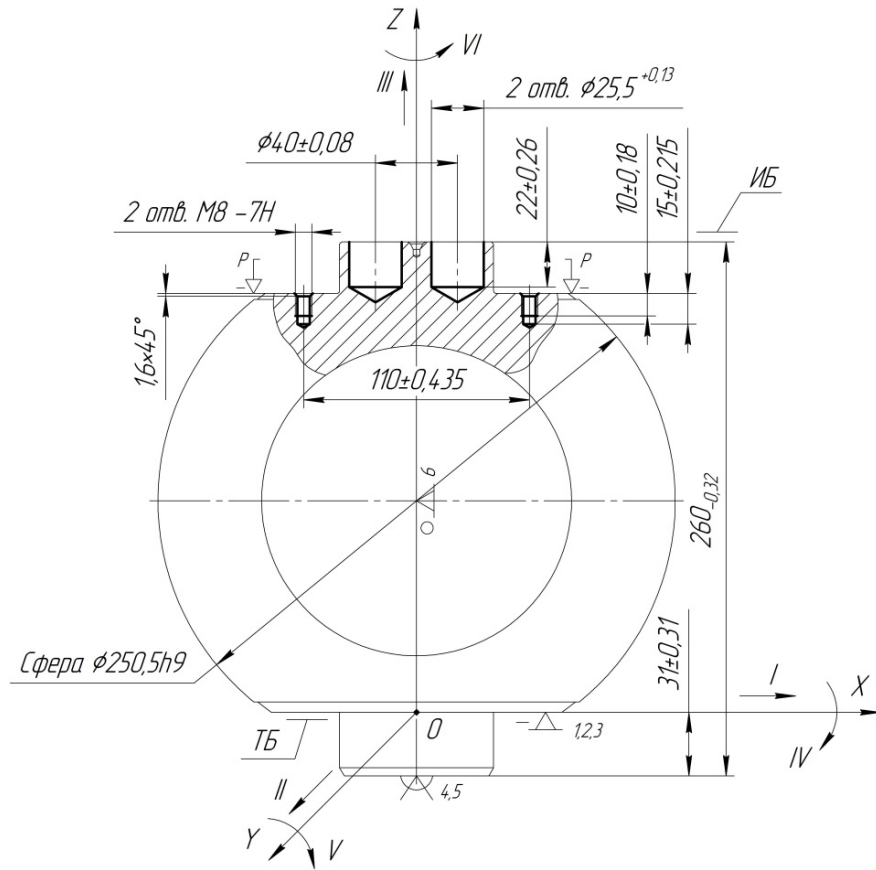


Рисунок 2.7 – Базування заготовки на операції 050. Схема №1

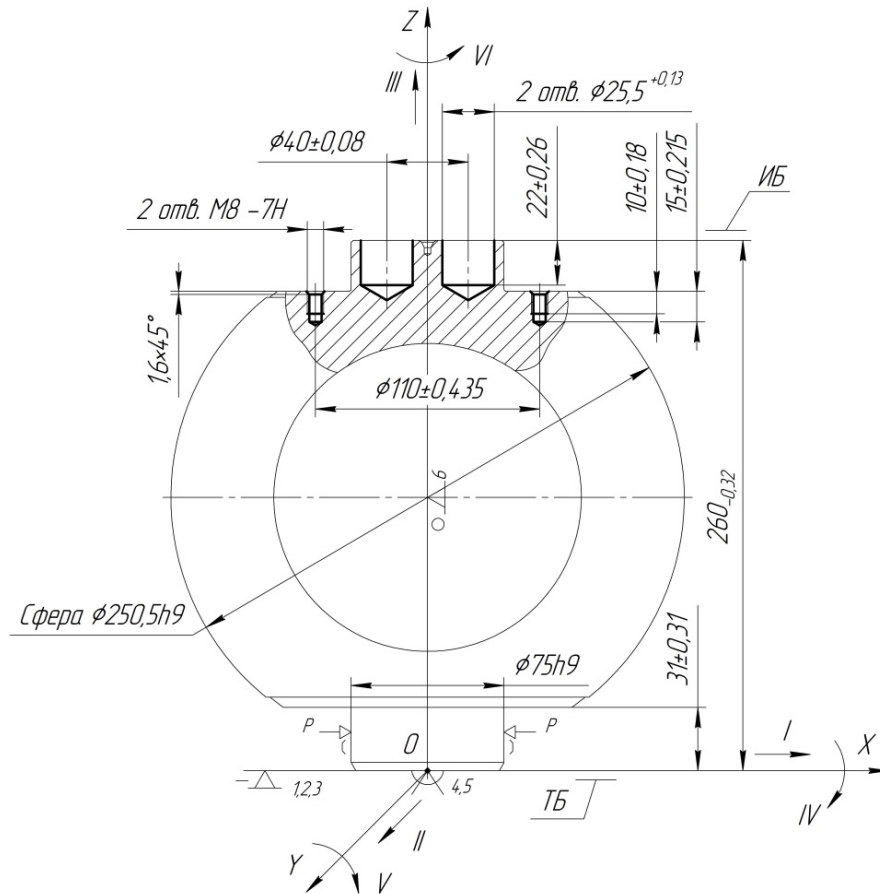


Рисунок 2.8 – Базування заготовки на операції 050. Схема №2

За схемою №2 заготовка установлюється на торець шарової поверхні і позбавляє трьох ступенів вільності – установча база (УБ) (див. рис. 2.8). У центровий отвір підводиться «плаваючий» центр, що позбавляє заготовку ще двох ступенів вільності – подвійна опорна база (ПОБ). Для виключення шостої ступені вільності до отвору діаметром 151 мм заготовки підводять рухомий упор – опорна база (ОБ). Таким чином, заготовка позбавляється шести ступенів вільності (див. табл. 2.7 та 2.8).

Таблиця 2.7 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступень вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	УБ
4, 5	I, II	ПОБ
6	VI	ОБ

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / 1, α	X	Y	Z	Найменування бази
α	1	1	0	УБ
1	0	0	1	
α	0	0	0	ПОБ
1	1	1	0	
α	0	0	1	ОБ
1	0	0	0	
Всього	2	2	2	6-Ь зв'язків

За схемою №1 похибка базування становить $\varepsilon_{622}=T_{31}+T_{260}=0,62+0,32=0,94$ мм і тоді $\varepsilon_{622}=0,94$ мм > $T_{22}=0,52$ мм – точність не забезпечується. Для інших розмірів похибка базування дорівнює нулю і їх точність залежить від точності обладнання і точності налагодження верстата.

За схемою №2 заготовка встановлюється у спеціальній пристрій, базується торцем діаметром $75h9$, центровим отвором та отвором діаметром 151 мм (див. рис. 2.8). Заготовка теж позбавляється шести ступенів вільності (див. табл. 2.9 та 2.10).

Таблиця 2.9 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступень вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	УБ
4, 5	I, II	ПОБ
6	VI	ОБ

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / I, α	X	Y	Z	Найменування бази
α	1	1	0	УБ
1	0	0	1	
α	0	0	0	ПОБ
1	1	1	0	
α	0	0	1	ОБ
1	0	0	0	
Всього	2	2	2	б-ь зв'язків

За цією схемою похибка базування $\varepsilon_{622} = T_{260} = 0,32$ мм і тоді $\varepsilon_{622} = 0,32$ мм < $T_{22} = 0,52$ мм – точність забезпечується. Для інших розмірів похибка базування дорівнює нулю і не залежить від схеми базування.

Таким чином, схема №1 має більш розвинену установчу базу ніж схема №2. Якщо сумістити ВБ із ТБ при виконанні розміру $22 \pm 0,26$ мм, то похибка базування буде дорівнювати нулю. Це можливо, якщо налагодження верстата з ЧПК на цей розмір виконувати від ВБ. Враховуючи цю обставину, можна прийняти схему №1 для базування заготовки на операції 050 «Свердлильна з ЧПК».

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

На вибір обладнання впливають методи обробки поверхонь, потужність електродвигунів, габарити робочої зони, тип виробництва, кількість різальних інструментів.

Для операції 035 «Токарна з ЧПК» можна запропонувати дві моделі токарних верстатів з ЧПК (див. табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика токарних верстатів

Параметр	16К20Ф3	16К30Ф305
1	2	3
Найбільший діаметр оброблювальної заготовки, мм:		
над станиною	400	630
над супортом	220	320
Найбільша довжина оброблювальної заготовки, мм	1000	1400
Крок нарізаної різі (метричної), мм	до 20	до 10
Частота обертання шпинделю, об/хв	12,5-2000	6,3-1250
Кількість швидкостей шпинделю	22	24
Подача супорта, мм/хв:		
повздовжня	3-1200	1-200
поперечна	1,5-600	1-600

Продовження таблиці 2.11

1	2	3
Кількість ступенів подач - безступеневе регулювання	б/р	б/р
Кількість позицій револьверної головки	6	6
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	10	22
Габаритні розміри (без ЧПК), мм:		
довжина	3360	4360
ширина	1710	2925
висота	1750	1600
Маса	4000	6800
Дискретність системи керування розмірами, мм:		
повздовжніх	0,01	0,01
поперечних	0,005	0,005

Для обробки пропонується верстат моделі 16К20Ф3, який має меншу потужність, масу і габарити.

Для операції 050 «Свердлильна з ЧПК» пропонується свердлильний верстат із діаметром обробки не менше 25,5 мм. Пропонуються верстати двох моделей 2Р135Ф2–1 та 2Н150 (див. табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика свердлильних верстатів

Параметр	2Р135Ф2–1	2Н150
1	2	3
Найбільший умовний діаметр свердління в сталі, мм	35	50
Робоча поверхня стола, мм	400×710	500×560
Найбільша відстань від торця шпинделя до робочої поверхні стола, мм	800	800
Виліт шпинделя, мм	450	350
Найбільший рух шпинделя, мм	–	300
Найбільше вертикальне переміщення, мм: свердлильної (револьверної) головки стола	560	250 360
Конус Морзе отвору шпинделя, №	4	5
Кількість швидкостей шпинделя	12	12
Частота обертання шпинделя, об/хв	45-2000	22-1000
Кількість подач шпинделя (револьверної головки)	18	12
Подача шпинделя (револьверної головки), (мм/об), мм/хв	10-500	0,05-2,24
Потужність електродвигуна привода головного руху, кВт	3,7	7,5
Габаритні розміри, мм:		
довжина	1800	1355
ширина	2170	890
висота	2700	2930
Маса, кг	4700	1870

Із наведених характеристик верстатів можна використати обоє на операції. Але у дрібносерійному виробництві за економічними показниками доцільно прийняти верстат моделі 2P135Ф2–1, що дозволить знизити час операції та поліпшити умови праці верстатника.

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, металорізальних та вимірювальних інструментів

Операція 035 «Токарна з ЧПК».

На операції застосовуються токарний патрон, умовне позначення патрона ТМ319320099–07–01.00.00 СК; обертовий центр 7032–4015 ГОСТ 8742–75.

Для обробки заготовок застосовується інструмент зі змінними пластинами: різець 2101–0641 Т30К4 ГОСТ 20872–80; різець 2101–0642 Т30К4 ГОСТ 20872–80.

Для контролю розмірів і шорсткості поверхонь використовуються: штангенциркуль ШЦ–І–500–0,05 ГОСТ166–89; мікрометр МК50-75 ГОСТ 6507–90; зразки шорсткості ГОСТ 9378–75; набір спеціальних шаблонів 4×30°; 1×45°; R2.

Операція 050. «Свердлильна з ЧПК».

Для операції треба розробити спеціальний пристрій для надійного базування і закріплення заготовки.

На операції свердляться два «глухих» отвори діаметром 25,5 мм і два «глухих» отвори із різью М8×1,25-7Н. Різальний інструмент для обробки наведених отворів: свердло 2301–1025Р6М5 ОСТ 2 И 20–2–80; свердло 2301–1083 Р6М5 ОСТ 2–И20–2–80; свердло 2301–1004 Р6М5 ОСТ 2–И20–80; зенківка 2353–0134 Р6М5 ГОСТ 14953–80; мітчик 2620–0502 Н2 Р6М5 ГОСТ 3266–81; втулка 6143–0145 ГОСТ 15936–70; втулка 6143–0111 ГОСТ 15936–70; втулка 6143–0105 ГОСТ 15936–70; патрон 6161–0172 ГОСТ 22627–77.

Для контролю розмірів і шорсткості поверхонь використовується калібр-пробка гладка Ø25,5Н11 ПР/НЕ ГОСТ 148101–69; зразки шорсткості ГОСТ 9378–75, калібр-пробка для різі М8×1,25-7Н ПР/НЕ ГОСТ 17756–72.

2.7 Розрахунок режимів різання

Операція 035 «Токарна з ЧПК».

Глибина різання t , мм [6, с.265]

$$t = \frac{75,4 - 75,0}{2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Подача при чистовому точінні вибирається залежно від шорсткості поверхні ($R_a=1,6$ мкм) і радіуса шпичака різця [6, т.9, с.268]:

$$S = 0,1 \text{ об/хв.}$$

Швидкість різання V , м/хв

$$V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} = \frac{420 \cdot 1,76}{60^{0,2} \cdot 0,2^{0,15} \cdot 0,1^{0,2}} = 657 \text{ м/хв,}$$

де $C_v=420$; $x=0,15$; $y=0,2$; $m=0,2$ [6, т.17, с.269-270];

$T=60$ хв – найбільше значення стійкості різця [6, с.268];

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 1,57 \cdot 0,8 \cdot 1,4 = 1,76; \quad K_{mv} = K_r \cdot (750/\sigma_B)^{1,0} = 1,57 [6, \text{т.1, с.261}];$$

$$K_r = 0,9 [6, \text{т.2, с.262}]; \quad n_v = 1,0; \quad K_{pv} = 0,8 [6, \text{т.5, с.263}]; \quad K_{iv} = 1,4 [6, \text{т.6, с.263}].$$

Частота обертання заготовки n , об/хв

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 657}{3,14 \cdot 75} = 2790 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_n=2000$ об/хв, тоді

$$V_\phi = \frac{\pi D n_\pi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 75 \cdot 2000}{1000} = 471 \text{ м/хв.}$$

Повздовжня подача $S_{np}=S \cdot n_\pi=0,1 \cdot 2000=200$ мм/хв;

Поперечна подача $S_{non}=S \cdot n_\pi=0,1 \cdot 1000=100$ мм/хв.

Сила різання P_z (Н)

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p = 10 \cdot 300 \cdot 0,2^{1,0} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 471^{-0,15} \cdot 0,59 = 25 \text{ Н,}$$

де $C_p=300$; $x=1,0$; $y=0,75$; $n=-0,15$ [6, т.22, с.273–274];

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{pp} \cdot K_{rp} \cdot K_{lp} \cdot K_{rp} = 0,66 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 0,59 [6, \text{т.9, с.264}];$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{430}{750}\right)^{0,75} = 0,66;$$

$$K_{pp} = 0,89 [6, \text{т.23, с.275}]; \quad K_{rp} = 1,0 [6, \text{т.23, с.275}]; \quad K_{lp} = 1,0 [6, \text{т.23, с.275}];$$

K_{rp} – немає даних [6, т.23, с.275].

Визначимо потужність різання N , кВт

$$N = \frac{P_z \cdot V_\phi}{1020 \cdot 60} = \frac{25 \cdot 471}{1020 \cdot 60} = 0,2 \text{ кВт.}$$

Порівняємо $N_n = N_c \cdot \eta = 10 \cdot 0,75 = 7,5 \text{ кВт} > N = 0,2 \text{ кВт}$ – обробка можлива.

Визначимо основний (машинний) час обробки двох діаметрів 75(0;-0,074) мм

$$T_{012} = T_{01} + T_{02} = 0,17 + 0,14 = 0,31 \text{ мин.},$$

де T_{01} – час обробки діаметра 75 мм довжиною 31 мм;

T_{02} – час обробки діаметра 75 мм довжиною 25 мм.

$$T_{01} = \frac{L_{p1} \cdot i}{S_{пр}} = \frac{(L_{01} + l_{вр} + l_{пер}) \cdot i}{S_{пр}} = \frac{(31 + 2,5 + 0) \cdot 1}{200} = 0,17 \text{ хв};$$

$$T_{02} = \frac{L_{p2} \cdot i}{S_{пр}} = \frac{(L_{02} + l_{вр} + l_{пер}) \cdot i}{S_{пр}} = \frac{(25 + 2,5 + 0) \cdot 1}{200} = 0,14 \text{ хв};$$

де $L_{01} = 31$ мм – довжина обробки за кресленням; $L_{02} = 25$ мм – довжина обробки за кресленням; $l_{вр} = 2,5$ мм – величина врізання; $l_{пер} = 0$ – величина перебігу; $i = 1$ – кількість ходів.

На інші переходи операції режими різання визначені табличним способом [13] (див. табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Режими різання на операції 035

Номер поверхні	Різальний інструмент, матеріал	Режим різання					Розміри поверхні		Час
		t , мм	i	S , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	L_p , мм	D , мм	
3	Різець 2101-0641 Т30К4	1,4	1	200	471	2000	1	75	0,005
4	Різець 2101-0642 Т30К4	1,2	1	200	471	2000	8	75	0,04
5	Різець 2101-0641 Т30К4	0,5	1	75	122/59	250	40	Ø150/ Ø75	0,533
6	Різець 2101-0642 Т30К4	0,5	1	75	122/59	250	40	Ø150/ Ø75	0,533
7	Різець 2101-0641 Т30К4	0,5	1	75	122	250	6	150	0,08
8	Різець 2101-0642 Т30К4	0,5	1	75	122	250	8	150	0,107
9	Різець 2101-0641 Т30К4	0,1	1	100	118/32	500	27, 5	Ø75/ Ø20	0,3
Основний час технологічних переходів									1,6
Основний час операції $T_0 = T_{01} + T_{02} + T_{03} = 0,17 + 0,14 + 1,6 = 1,91$ хв									

Операція 050 «Свердлильна з ЧПК».

Розрахунок режимів різання виконується розрахунково-аналітичним методом для одного технологічного переходу – свердління отвору діаметром 12 мм.

Різальний інструмент – свердло діаметром 12 мм; свердло 2301-1025 P6M5 OСТ2 И20-2-80. Форма заточки подвійна із підточуванням поперечної кромки і стрічки.

Геометричні параметри [6, т.43,44, с.151–152]: $2\varphi=118^\circ$; $2\varphi_0=70^\circ$, кут нахилу поперечної кромки при стандартній заточці $\psi=50^\circ$, $\alpha=11^\circ$, $\omega=30^\circ$, $f_v=0,4\text{мм}$, $\alpha_1=6^\circ$.

Глибина різання $t = D/2 = 12/2 = 6$ мм.

Призначимо період стійкості свердла. При обробки конструкційної вуглецевої сталі спіральними свердлами із діапазоном діаметрів 11–20 мм із швидкорізальної сталі період стійкості $T=45$ хв [6, т. 30, с. 279].

Визначимо подачу S , мм/об. При свердлінні отворів глибиною $l \leq 3D$ із точністю IT12 для сталених заготовок з НВ < 160 і діаметром свердла 10–12 мм подача призначається в межах 0,32–0,36 мм/об [6, т.25, с.277]. Приймаємо $S=0,32$ мм/об.

Визначимо швидкість різання V , м/хв за формулою

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

де $C_v=9,8$; $q=0,4$; $y=0,5$; $m=0,2$ [6, т.28, с.278].

Поправковий коефіцієнт на швидкість різання

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{lv},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує властивості матеріалу інструмента [6, т.1, с.261].

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n = 0,75 \cdot \left(\frac{750}{430} \right)^{0,9} = 1,24.$$

$K_r = 0,75$; $n = 0,9$ [6, т.2, с.262].

$K_{pv} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує властивості поверхні заготовки [6, т.5, с.263];

$K_{lv} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує глибину обробленого отвору [6, т.31, с.280].

$$V = \frac{9,8 \cdot 12^{0,4}}{45^{0,2} \cdot 0,32^{0,5}} \cdot 1,24 \cdot 1 \cdot 1 = 27 \text{ м/хв.}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя n , об/хв

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 27}{3,14 \cdot 12} = 716,6 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n_{\Pi} = 700$ об/хв.

Тоді хвилинна подача $S_{хв} = 0,32 \cdot 700 = 224$ мм/хв.

Корегуємо подачу за паспортом верстата $S_{хв} = 200$ мм/хв. Перерахована подача $S = 0,286$ мм/об. Фактична швидкість різання

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\Pi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 700}{1000} = 26,4 \text{ м/хв.}$$

Визначимо крутний момент $M_{кр}$, Нм, силу P_0 , Н

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p,$$

де $C_p = 68$; $q = 1,0$; $y = 0,7$; $K_p = 0,66$; $C_m = 0,0345$; $q = 2,0$; $y = 0,8$; [6, т.32, с.281];

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{430}{750}\right)^{0,75} = 0,66 \text{ [6, т.31, с.280].}$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,345 \cdot 12^{2,0} \cdot 0,286^{0,8} \cdot 0,66 = 12 \text{ Нм.}$$

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 68 \cdot 12^{0,1} \cdot 0,286^{0,7} \cdot 0,66 = 2241 \text{ Н.}$$

Визначимо потужність різання N , кВт

$$N = \frac{M_{кр} \cdot n_{\Pi}}{9750} = \frac{12 \cdot 700}{9750} = 0,86 \text{ кВт.}$$

Обробка можлива, якщо потужність шпинделю верстата (3,7 кВт) більше потужності різання (0,86 кВт).

Визначимо основний час переходу T_0 , хв

$$T_{01} = \frac{(l + l_{вр} + l_{пер}) \cdot m}{S_m} = \frac{(22 + 2,5) \cdot 2}{200} = 0,245 \text{ хв,}$$

де $m = 2$ – кількість оброблених отворів;

$l = 22$ мм – довжина різання (довжина отворів за кресленням);

$l_{вр} = 2,5$ мм – величина врізання;

$l_{пер} = 0$ – величина перебігу (при свердлінні «глухих» отворів).

На інші технологічні переходи режим різання визначається табличним способом за даними довідника [9] (див. табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Режими різання на операції 050

Різальний інструмент	t , мм	S , мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	P_0 , Н	$M_{кр}$, Нм	T_{02} , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Свердло 2301-1025 Р6М5 (Ø12)	6	200	26,4	700	2241	12,0	0,245
Свердло 2301-1083 Р6М5 (Ø25,5)	6,75	160	40	500	2086	34,0	0,31

Продовження таблиці 2.14

1	2	3	4	5	6	7	8	
Свердло 2301-1004 Р6М5 (Ø6,7)	3,35	127	29,5	1400	563	1,5	0,276	
Зенківка 2353-0134 Р6М5 (Ø20)	2,3	50	17,6	700	162	13,6	0,2	
Мітчик 2620-0502 Р6М5 (М8×1,25)	0,65	S=1,25 мм/об	8,9	355	–	7,0	0,113	
Основний час технологічних переходів							1,15	
Основний час операції $T_0 = T_{01} + T_{02} = 0,245 + 1,15 = 1,395 \approx 1,4$ хв								

2.8 Технічне нормування операцій

Операція 035 «Токарна з ЧПК».

Допоміжний час

$$T_d = T_{уст} + T_{пер} + T_{вим} = 2,4 + 0,12 + 0,58 = 3,1 \text{ хв},$$

де $T_{уст} = 2,4$ хв – час установавлення і зняття деталей [12, с.39, карта 6];

$T_{пер} = 0,12$ хв – час технологічних переходів;

$T_{вим} = 0,58$ хв – час вимірювання розмірів деталі [12, с.185, карта 86].

Штучний час

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{обс} + T_{від} = 1,91 + 3,1 + 0,18 + 0,2 \approx 5,4 \text{ хв},$$

де $T_0 = 1,91$ хв – основний час;

$T_{обс} = 0,18$ хв – час обслуговування робочого місця;

$T_{отд} = 0,2$ хв – час відпочинку та особисті потреби.

$$T_{обс} = (T_0 + T_d) \cdot \frac{\alpha_{обс}}{100\%} = (1,91 + 3,1) \cdot \frac{3,5}{100} = 0,18 \text{ хв},$$

$$T_{від} = (T_0 + T_d) \cdot \frac{\alpha_{від}}{100\%} = (1,91 + 3,1) \cdot \frac{4}{100} = 0,2 \text{ хв}.$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{ш-к} = T_{шт} + \frac{T_{п-з}}{N_{п}} = 5,4 + \frac{21}{47} \approx 5,9 \text{ хв},$$

де $T_{п-з} = 21$ хв – підготівельно-завершальний час [12, с.84, карта 26].

Операція 050 «Свердлильна з ЧПК».

Допоміжний час визначається

$$T_v = T_{уст} + T_{пер} + T_{вим},$$

де $T_{уст} = 1,0$ хв – час установавлення і зняття деталі [12, с.56, карта 16];

$T_{\text{пер}} = 2,04$ хв – час технологічних переходів операції (установлення і зняття інструментів, змінювання швидкості обертання шпинделя, подачі) [12, с.72, карта 22; с.108, карта 31];

$T_{\text{вим}} = 0,82$ хв – час вимірювання розмірів заготовки [12, с.192, карта 86; с.195, карта 86; с.189. карта 86].

$$T_d = 1,0 + 2,04 + 0,82 \approx 3,9 \text{ хв.}$$

Штучний час розраховується за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_d + T_{\text{обс}} + T_{\text{від}} = 1,4 + 3,9 + 0,19 + 0,22 = 5,71 \text{ хв,}$$

де $T_o = 1,4$ хв – основний час;

$T_{\text{обс}} = 0,18$ хв – час обслуговування робочого місця;

$T_{\text{від}} = 0,2$ хв – час відпочинку і особистих потреб.

$$T_{\text{обс}} = (T_o + T_d) \cdot \frac{\alpha_{\text{обс}}}{100\%} = (1,4 + 3,9) \cdot \frac{3,5}{100} = 0,19 \text{ хв;}$$

$$T_{\text{від}} = (T_o + T_d) \cdot \frac{\alpha_{\text{від}}}{100\%} = (1,4 + 3,9) \cdot \frac{4}{100} = 0,22 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N_{\text{п}}} = 5,71 + \frac{34}{47} = 6,5 \text{ хв,}$$

де $T_{\text{п-з}} = 34$ хв – підготівельно-завершальний час [11, с.198, карта 88].

2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

2.9.1 Обґрунтування мети операції контролю.

Для контролю радіального биття двох поверхонь діаметрами 75h9 мм та сфери діаметром 250h9 мм відносно осі центрів Е в межах 0,03 мм, контролю співвісності відносно загальної осі деталі в межах 0,02 мм треба спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) (дивись креслення 1.2750.127.810.04).

Вихідні дані: $N = 500$ штук, тип виробництва – дрібносерійний, такт випуску деталей при двозмінній роботі $\tau = 481,8$ хв., повний контроль всього об'єму випуску, контроль виконується на контрольному столі (КС) відділу технічного контролю цеху після зняття деталі із верстата.

Аналіз конструкції деталі на технологічність вимірювання. Базами якими деталь орієнтується при її установленні в КВП є два центрових отвори В4 і М10 згідно ГОСТ 14034–74. Наведені поверхні доступні і відкриті для засобів вимірювання. Для установлення пробки на центри конструкція КВП повинна мати один із центрів рухомим уздовж осі Е.

Дві поверхні діаметром 75h9 мм і сфера діаметром 250h9 мм знаходяться в контакті з засобом вимірювання (ЗВ) (див. рис. 2.9). Використовування ЗВ по всій вимірювальній площині не має обмеження. Поверхня сфери діаметром 250h9 мм перетинається отвором діаметром 151(+0,87;0) мм, тому вимірювання можна виконувати на краях сфери під кутом $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$ відносно осі Е.

Згідно ГОСТ 20736–75 приймається нормальний режим контролю. Показники контролю: за об'ємом – безперервний, за часом – постійний, за структурою – однократний, перевіряються 100% деталей [16].

Контрольними точками вимірювання є довільні точки поверхонь двох діаметрів 75h9 мм і сфери діаметром 250h9 мм. Вхідні точки А₁, А₂, А₃, А₄ – точки дотику індикатора із поверхнями – точки початку вимірювання. Кінцеві точки Б₁, Б₂, Б₃, Б₄ – точки поверхонь деталі при її обертанні на кут 360° навколо осі Е (див. рис. 2.9).

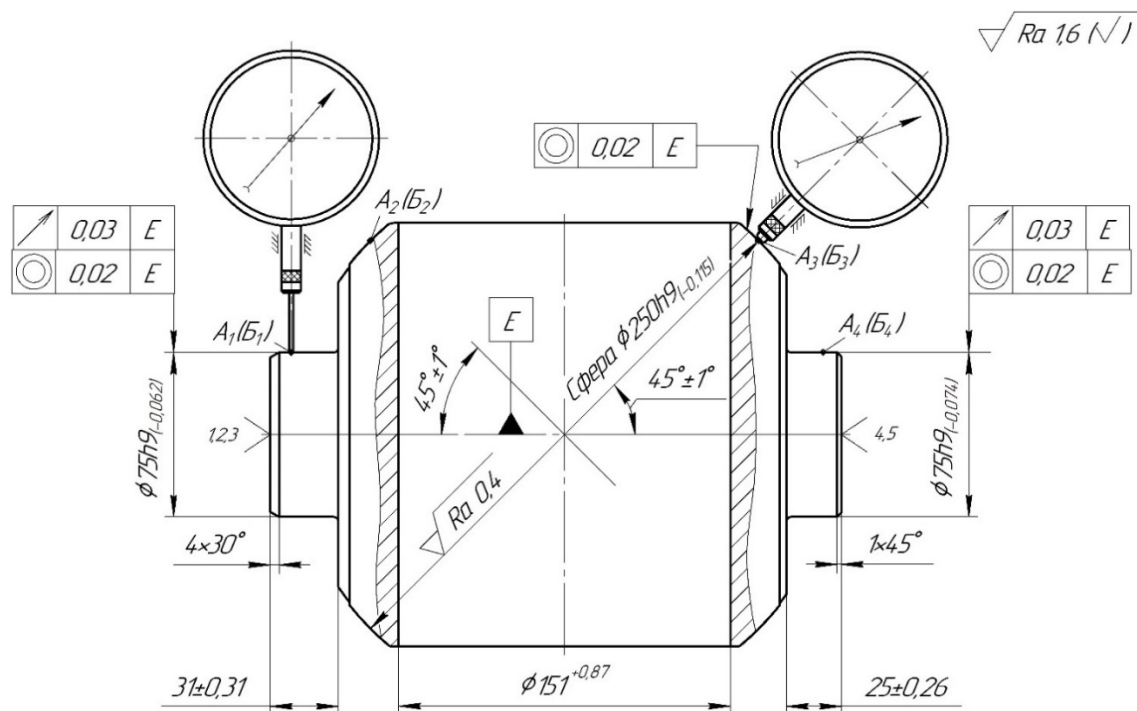


Рисунок 2.9 – Схема вимірювання радіального биття і співвісності поверхонь пробки

За найбільшим діапазоном відхилення стрілки ЗВ при обертання деталі можна визначити радіальне биття поверхонь відносно осі Е. Квалітет точності двох поверхонь діаметрами $75h9(0;-0,074)$ мм і сфери діаметром $250h9(0;-0,115)$ мм – дев'ятий, допуски діаметрів $75h9 T_{\phi 75} = 74$ мкм; допуск сфери діаметром $250h9$ мм $T_{\phi 250} = 115$ мкм; шорсткість поверхонь двох діаметрів $75h9$ мм – $R_a = 1,6$ мкм; а сфери діаметром $250h9$ мм – $R_a = 0,4$ мкм. Точність форми діаметрів $75h9$ мм $\Delta_{\phi 75} = 0,4 \cdot 74$ мкм = 30 мкм, що відповідає рівню В – підвищеної геометричної точності форми. Точність форми сфери діаметром $250h9$ мм $\Delta_{\phi 250} = 0,25 \cdot 115 = 30$ мкм, що відповідає рівню С – відносно високій геометричній форми.

Базові поверхні: конічний отвір В4 з кутом $60^\circ \pm 20'$ і охоронним конусом $120^\circ \pm 1^\circ$, шорсткістю поверхні $R_a = 1,6$ мкм. Конічний отвір М10 має різь з полем допуску 7Н, що відповідає грубому класу точності, шорсткість поверхні різі $R_a = 3,2$ мкм. Інші параметри конічних отворів однакові.

Деталь є тілом обертання, за технологічним показником пробка відноситься до класу валів, маса пробки 30,7 кг, матеріал деталі – сталь 10Г2 ГОСТ 4543–71, твердість НВ123–167, густина матеріалу $j = 7,905 \cdot 10^3$ кгс/м³.

2.9.2 Вибір і обґрунтування методів вимірювання.

Деталь установлюється на два центри. Перший центр нерухомий – відсутнє переміщення уздовж осі Е, другий – рухомий уздовж осі Е, що дозволяє переустановлювати деталь для вимірювання. Центри розташовані в корпусах, які установлені на верхній площині плити КВП. Площина плити повинна бути паралельна осі Е і дорівнювати не більше 2 мкм на довжині вимірювання 200 мм. Точність взаємного розташування корпусів досягається шліфуванням центрів і площини плити із однієї установки.

Площина плити є базою, на яку установлюється магнітний корпус із стійкою з мікронним індикатором (ЗВ) годинного типу. Вимірювання виконується послідовним переустановленням ЗВ в точки А₁, А₂, А₃, А₄. Потім деталь обертається на кут 360° і візуально фіксується найбільший діапазон переміщення стрілки по шкалі індикатора. Отриманні дані порівнюються із наданими на кресленні деталі

значеннями радіального биття і співвісності, а потім робиться висновок о придатності пробки за виміряним показником.

Метод вимірювання – контактний, контроль – прямий. Умови для вимірювання: температура в зоні вимірювання $20^{\circ}\pm 5^{\circ}$ С згідно ГОСТ 12.01.005-76; відносна вологість повітря $\varphi_{п} = 80\%$; тиск $P_{ам} = 86\text{--}106$ КПа; швидкість руху повітря $V_{в} < 0,5$ м/с; освітленість (місцева) $E_{ф} = 1000$ люкс.

2.9.3 Вибір і обґрунтування засобів вимірювання.

В КВП застосовується контактний метод вимірювання, поверхня яка контролюється сприймає вимірювальне зусилля без деформації і змінання. Тому можна прийняти змінні вимірювальні вставки для індикаторів із стрілками сферичної форми з радіусом сфери $r = 1,5$ мм (див. рис. 2.10) [15].

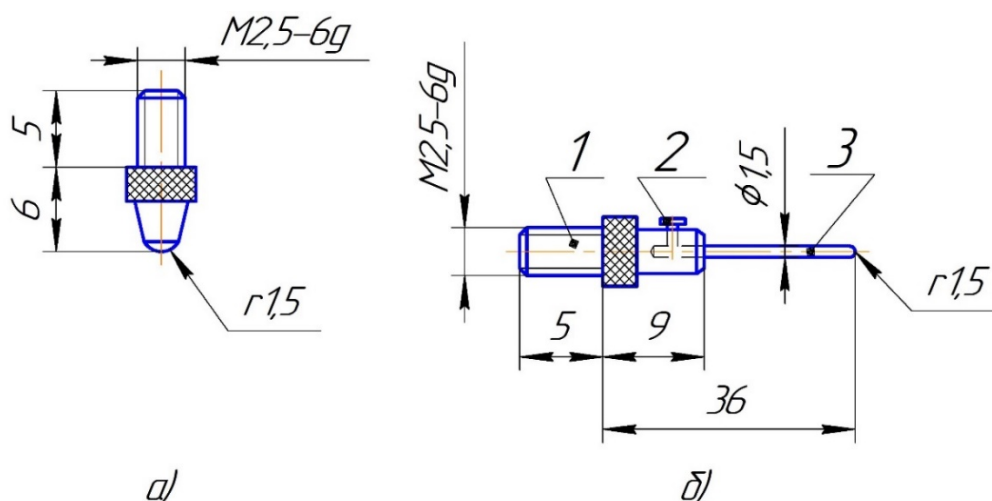


Рисунок 2.10 – Змінні вимірювальні вставки для індикатора із стрілкою: а) стандартна вимірювальна вставка (стальна) №35.10001 (TN10); б) вимірювальна вставка 1 із змінними стальними штифтами 3 №35.10201 (TN12)

Вставка № 35.10201 застосовується для вимірювання двох поверхонь діаметром $75h9$ мм, а вставка № 35.10001 для вимірювання сфери діаметром $250h9$ мм.

Похибка Δ_{yc} вимірювального зусилля (для двох вставок) визначається за формулою [16]:

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{yc}^2}{r}} = 0,43 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,7^2}{1,5}} = 0,6 \text{ мкм,}$$

де $K = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального наконечника (сталевий вставка);

$P_{yc} = 1,7 \text{ Н}$ – найбільше значення вимірювального зусилля;

$r = 1,5 \text{ мм}$ – радіус вимірювального наконечника.

Вибираємо ЗВ. Розрахунок виконуємо за технічною вимогою для допуску співвідношення $0,02 \text{ мм}$.

Досяжна сумарна $|T_{\text{вим}}|$ похибка вимірювання КВП визначається за формулою:

$$|T_{\text{вим}}| = K \cdot IT = (0,2 \dots 0,35) \cdot 20 = 4 \dots 7 \text{ мкм.}$$

Згідно ГОСТ 8051–81 рекомендується прийняти $|T_{\text{вим}}| = 6 \text{ мкм}$.

Визначимо граничну $|\Delta_{\text{ін}}|$ похибку ЗВ.

$$|\Delta_{\text{ін}}| = 0,7 \cdot |T_{\text{вим}}| = 0,7 \cdot 6 = 4,2 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки ЗВ визначається залежно від величини граничної похибки $|\Delta_{\text{ін}}|$. Приймаємо $C = 0,001 \text{ мм}$. Відстань між поділками шкали дорівнює $2,0 \text{ мм}$. Межа вимірювання за шкалою (А) повинна перевищувати допуск ІТ, щоб зняття показань не викликало утруднень. Приймаємо $A = 4 \cdot IT = 4 \cdot 20 = 80 \text{ мкм}$.

Діапазон індикації визначається умовами експлуатації. Приймаємо $B = 1 \text{ мм}$. Вимірювальне зусилля $P_{yc} = 1,7 \text{ Н}$, похибка вимірювального зусилля $\Delta P_{yc} = 0,5 \text{ Н}$.

Показник надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови при імовірності безвідмовної роботи $|P| = 0,85$:

$$t(P) = 500 \cdot 4 = 2000 \text{ циклів.}$$

Витрати на придбання ЗВ становить 300 грн . Приймаємо ЗВ: індикатор із стрілкою ТЕЗА, модель $\text{Ø}80$, $C = 0,001 \text{ мм}$; №14.10801 із цифровою шкалою у двох напрямках. Стандартне виконання ЗВ наведено на рисунку 2.11.

2.9.4 Ескізне проектування КВП.

Фактична сумарна ε_0 похибка КВП визначається за формулою:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon + \Delta_p + \Delta_e + \Delta_{\text{ін}} + \Delta_t + \Delta_{\text{зус}},$$

де $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = 2 \text{ мкм}$ – похибка положення деталі в пристрої;

$\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування;

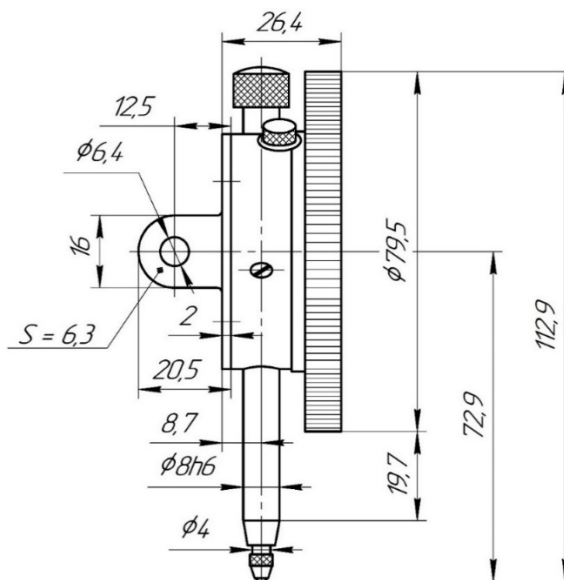


Рисунок 2.11 – Прецизійний мікроіндикатор із стрілкою ТЕЗА №14.10801, модель Ø80

$\varepsilon_3 = 0$ – похибка закріплення;

$\varepsilon_{пр} = 2$ мкм – похибка виготовлення елементів пристрою (паралельність осі E відносно поверхні плити);

$\Delta_p = 0$ – похибка передавального засобу (в КВП немає);

$\Delta_e = 0$ – похибка виготовлення еталону (в КВП немає);

$\Delta_{ін} = 1$ мкм – похибка ЗВ (ціна поділки шкали);

$\Delta_{зус} = 0,6$ мкм – похибка вимірювального зусилля.

Похибка, яка визначається вимірювальною температурою Δ_t і визначається за формулою:

$$\Delta_t = l[\alpha_1(t_1 - 20^0) - \alpha_2(t_2 - 20^0)],$$

де $l = 250$ мм – найбільший розмір вимірювальної поверхні;

$\alpha_1 = 12,0 \cdot 10^{-6}$ і $\alpha_2 = 11,5 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнти лінійного розширення відповідно матеріалу деталі (сталь 10Г2) і вимірювального наконечника (сталевий вставка);

$t_1 = t_2 = 25^{\circ}\text{C}$ – температура деталі і ЗВ.

$$\Delta_t = 250 \cdot [12 \cdot 10^{-6}(25^0 - 20^0) - 11,5 \cdot 10^{-6}(25^0 - 20^0)] \cong 0,7 \text{ мкм.}$$

$\varepsilon_0 = 2 + 0 + 0 + 1 + 0,7 + 0,6 = 4,3$ мкм.–

Якщо $\varepsilon_0 = 4,3$ мкм $< |T_{вим}| = 6$ мкм, то контроль виконується. Остаточне проектування КВП виконується на кресленні.

2.9.5 Опис конструкції і роботи КВП.

КВП складається із плити 2, корпусів 3 і 4, в яких розташовані відповідно нерухомий 5 і рухомий 6 центри. Рухомий центр 6 вставлений в піноль 7, яка розташована в шпинделі 8. Переміщення центра 6 виконується обертанням маховика 9. На плиті 2 розташований затискач 12, валик 13 і фіксатор 14. Одночасне закріплення затискача 12 і валика 13 виконується рукояткою 15.

Пробка установлюється на центри 5 і 6 та підтискується рухомим центром 6. На плиті 2 установлюється магнітний стояк 1, а ніжка мікроіндикатора 28 установлюється із натягом на вимірювальну поверхню (на кресленні це діаметр $75h9$). Потім рукояткою 15 виконується обертання деталі на кут 360° і візуально фіксується показання мікроіндикатора 28. Далі вимірюється другий діаметр $75h9$. Останньою вимірюється сферична поверхня деталі розміром $250h9$.

За результатами вимірювань робиться висновок о придатності деталі згідно технічних вимог креслення. Далі стояк 1 знімається з плити 2. Обертанням маховика 9 рухомий центр 6 виводиться із центрального отвору і деталь, яка підтримується кран-балкою, знімається з пристрою.

Пристрій треба зберігати в спеціальному футлярі, охороняти від випадкових ударів, вологи, вібрацій.

2.10 Висновок.

1. Запропонований технологічний процес виготовлення пробки з удосконалення окремих операцій.

2. Вибраний спосіб виготовлення заготовки пробки – штамповка на КГШП, розрахунково-аналітичним методом розраховані припуски і допуски на дві поверхні діаметром $75h9$, вибрані технологічні бази на операції 035 «Токарна з ЧПК» і 050 «Свердлильна з ЧПК», моделі верстатів, верстатні пристрої, різальний та вимірювальний інструмент, розраховані режими різання та норми часу.

3. Спроектований КВП для контролю радіального биття і співвісності поверхонь пробки.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБРОБКИ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ У СТАТИЧНО УЩІЛЬНЮВАЛЬНОМУ АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

3.1 Пристрій для оздоблювальної обробки деталей, що обертаються

Аналізом креслення пробки шарового крана встановлено, що основна вимога сферичної поверхні це відхилення від круглості в межах 20–40 мкм із шорсткістю поверхні в межах $R_a = 0,2\text{--}0,25$ мкм. Наведена вимога обумовлена середовищем у якому експлуатується пробка. В існуючому технологічному процесі оздоблювальною операцією застосовувалася операція із ручним поліруванням сфери наждачною шкуркою на токарно-гвинторізному верстаті. Ця операція введена в технологічний процес з метою видалення можливих дефектів залишених після покриття сфери хромом, а також для зниження шорсткості шарової поверхні пробки.

Недоліком застосованої на підприємстві операції є велика трудомісткість обробки, низька продуктивність і значний час ручної праці. Ці недоліки операції є «вузьким місцем» на виробництві, і застосування цієї операції при збільшеному об'єму випуску виробів стає практично неможливою.

Таким чином, треба запропонувати більш ефективний спосіб обробки сферичної поверхні із виключенням ручної праці та забезпеченням потрібних вимог креслення пробки.

Для вирішення поставленого завдання був запропонований спосіб полірування в середовищі, яка є статично ущільнювальною абразивною сумішшю. Пропонуємий спосіб реалізується в пристрої, який складається із корпусу 1 і двох еластичних стінок 2 і 3 циліндричної форми (див. рис. 3.1). Еластичні стінки виготовлені із спеціальної резини, яка не пропускає вологу, витримує термічні коливання температури середовища, стійка до дії хімічних речовин. В конструкції пристрою резинова стінка 2 є центральною, а резинова стінка 3 – периферійною (див. рис. 3.1).

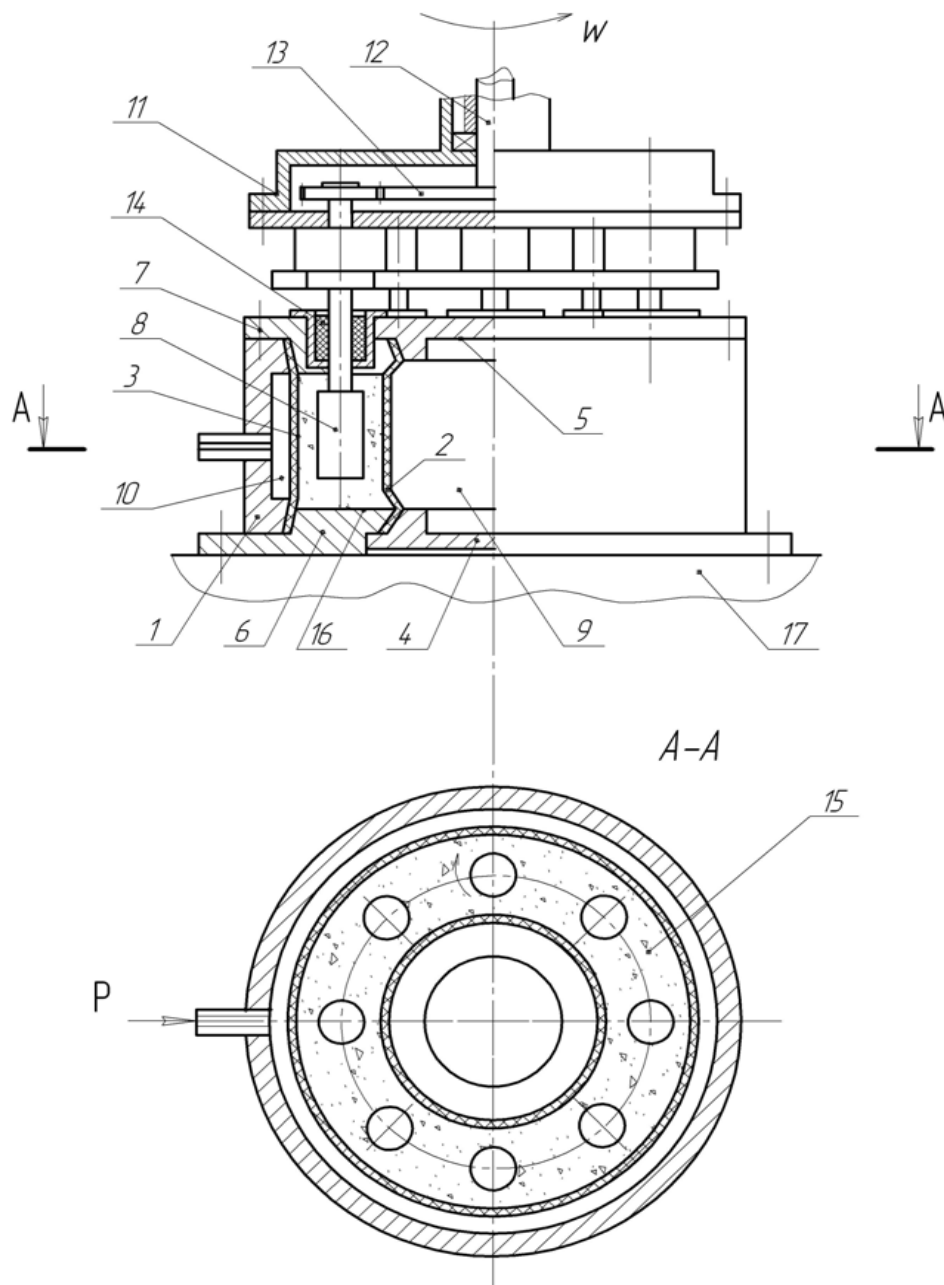


Рисунок 3.1 – Схема пристрою для обробки деталей сферичної форми

Центральна стінка 2 закріплюється до корпусу 1 кришками 4 і 5, а периферійна – кришками 6 і 7. За такою конструкцією в корпусі 1 з'являються дві герметичні порожнини 9 і 10, до яких подається стисле повітря. Оброблювальні заготовки 8 установлюються на оправках багатшпindelної головки 11. Обертання заготовкам 8 надається від шпинделю 12 і зубчастої передачі 13. Багатшпindelна головка має можливість рухатися зворотно-поступально. Для виключення витoku абразивного оброблювального середовища із робочої порожнини в пристрої застосовуються ущільнювання 14.

Зібраний пристрій змонтований на пневматичному столі 17, який за час обробки заготовок, виконує рухи осциляції. Осцилюючі рухи стола дозволяє продуктам зносу оброблювального середовища переміщуватися на дно барабана 16. Барабан 16 виконаний у вигляді набору сит із отворами, розміри яких менше розмірів оброблювальних абразивних зернин. Дно барабана 16 – це місце де відбувається видалення продуктів зносу із робочої порожнини пристрою.

Робочий цикл пристрою відбувається наступним чином. Перед початком роботи завантажується абразивна оброблювальна суміш 15 в робочу порожнину пристрою. Оброблювальні заготовки 8 устанавлюються на оправки багатошпindelної головки, яка знаходиться у верхньої частини пристрою, і тому до робочої порожнини та заготовкам є вільний доступ.

Після операції завантаження багатошпindelна головка із заготовками переміщується у робочу порожнину і її вхідні вікна зачиняються вузлом ущільнювання. Далі вмикаються оберти багатошпindelної головки і шпindelі із заготовками обертаються. Одночасно в порожнини 9 і 10 подається стисле повітря під заданим тиском. Під дією стислого повітря резинові стінки 2 і 3 деформуються і стискають абразивну суміш, яка за час оброблення виконує функцію абразивного інструменту форма якого співпадає із формою оброблювальної заготовки. Далі виконується заданий цикл роботи пристрою, а після його закінчення стисле повітря видаляється із порожнин 9 і 10, багатошпindelна головка піднімається в гору і заготовки виходять із робочого середовища. Потім відбувається перезавантаження заготовок.

Оброблювальним абразивним середовищем є сухі або вологі (абразивні суспензії) абразивні порошки в ущільнювальному і напруженому стані. Різальний інструмент формується автоматично із вільних абразивних частинок, які знаходяться в складі суспензії, шляхом ущільнювання їх в шар або еластичний брусок.

Абразивні частинки, які знаходяться в ущільнювальному стані, копіюють форму оброблювальної поверхні. Таким чином, інструмент будується на початку фінішної (оздоблювальної) операції технологічного процесу в результаті контакту ущільнювальних абразивних частинок і оброблювальної поверхні. Основу

різального інструменту складають абразивні зернини або порошки, які можуть бути отримані із різних абразивних матеріалів.

Найбільше застосовується електрокорунд нормальний марок 14А, 15А, електрокорунд білий марок 24А, 25А із величиною зернин в межах від 125 мкм до М7. Електрокорунд є одним із найбільш розповсюджених абразивних матеріалів, який задовольняє всім вимогам оброблювальних деталей вільним абразивом.

3.2 Дослідження контактної взаємодії ущільнювального абразивного середовища із оброблювальними поверхнями

Основними технологічними параметрами, які формують якісні показники оброблювальної поверхні при їх обробки в пневматичному пристрої, є наступні. Тиск, який діє на резинові стінки пристрою, величина зернин абразивного середовища, геометричні розміри – співвідношення радіальних розмірів оброблювальної заготовки і резинових стінок камери.

Установлено [23, 26], що при відповідних співвідношеннях наведених параметрів різко зменшується продуктивність обробки. Це залежить від того, що поверхня заготовки практично не оброблюється, а саме, відбувається перекочування абразивних частинок по оброблювальній поверхні. Щоб виключити наведений недолік, треба теоретично визначити залежність тиску, який діє на резинові стінки камери, від розмірів частинок оброблювального абразивного середовища і розмірів оброблювальної заготовки (див. рис. 3.2).

Для визначення цієї залежності застосуємо рівняння сил і рівняння сумісності деформацій елементарного об'єму тіла, які запишуться у вигляді

$$\begin{cases} \frac{d\sigma_R}{dR} \cdot R = \sigma_t - \sigma_R; \\ \frac{d\sigma_t}{dR} - \nu \frac{d\sigma_R}{dR} = \frac{1 + \nu}{R} (\sigma_R - \sigma_t), \end{cases} \quad (3.1)$$

де σ_R – нормальна компонента напруження у радіальному напрямку;

σ_t – нормальна компонента напруження у обертальному напрямку;

ν – коефіцієнт Пуассона.

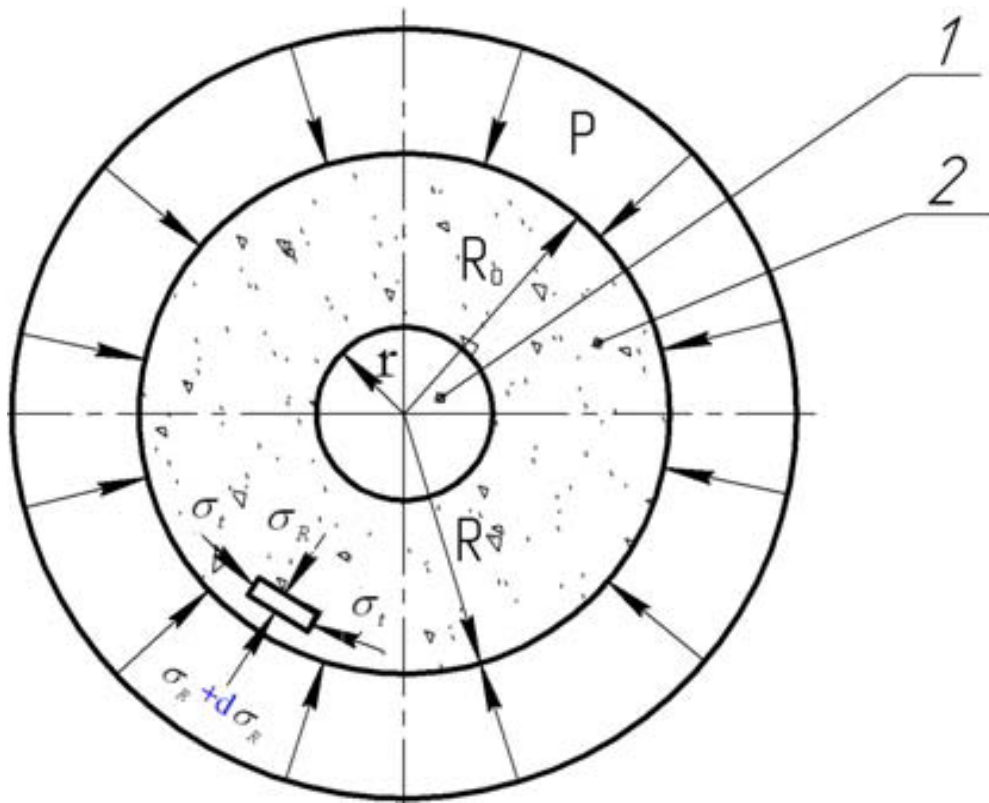


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку тиску оброблювального середовища при обробці поверхонь тіл обертання: 1 – оброблювальна заготовка; 2 – оброблювальне середовище

Систему рівняння (3.1) вирішимо за граничною умовою

$$\sigma_R = P \text{ при } R = R_0, \quad (3.2)$$

де R_0 – радіус резинової стінки камери;

P – тиск, який діє на резинову стінку камери.

Вирішимо систему рівняння (3.1), отримаємо:

$$\sigma_R = \sigma_t = P. \quad (3.3)$$

Тиск абразивного середовища P_2 , із урахуванням конструктивних параметрів пристрою, радіусу стінки P_0 , радіусу заготовки R і коефіцієнта Пуассона ν , які діють безпосередньо на поверхню заготовки, можна визначити за формулами, наведених у дослідницьких роботах В. А. Скрябіна [14, 15, 16]:

$$P_2 = (\sigma_R)_{R=R_0} = P \left[1 - \frac{R^2 - R_0^2}{R^2 + \frac{(1+\nu)}{(1-\nu)} R_0^2} \right]. \quad (3.4)$$

Для визначення тиску абразивного середовища у разі його контакту із різними профілями заготовок, які обертаються, а також різних оброблювальних матеріалів та виходячи із відомих положень математичної теорії пружності, був отриманий наступний вираз [14, 16]:

$$P(t) = \frac{\cos(\pi \cdot \alpha)}{\pi \cdot R(k + 1)} \cdot \frac{P_o \cdot R(k + 1) - 4\pi \cdot \mu \cdot \cos \pi \alpha}{(t - \alpha^l \cdot o)^{0,5+\alpha} + (\alpha^l \cdot b^l)^{0,5-\alpha}} \cdot \frac{t^2 - \left[\alpha^l \cdot o \left(\frac{1}{2} + \alpha \right) + o \cdot b^l \left(\frac{1}{2} - \alpha \right) \right] t - \left(\frac{1}{4} - \alpha^2 \right) \cdot (\alpha^l \cdot o - o^l \cdot b)^2 / 2}{(t - \alpha^l \cdot o)^{\frac{1}{2}+\alpha} + (\alpha^l \cdot b^l - t)^{\frac{1}{2}-\alpha}}. \quad (3.5)$$

$$\alpha = \left(\frac{1}{0,2284\pi} \right) \cdot \operatorname{arctg} \left[k \cdot \frac{k - 1}{k + 1} \right], \quad (3.6)$$

де $k = \frac{\lambda + 3\mu}{\lambda + \mu} = 3 - \mu$; λ і μ – постійні Ламе, які пов'язані з модулем пружності E і коефіцієнтом Пуассона ν співвідношенням $E = \mu(3\lambda + 2\mu)/(\lambda + \mu)$ і $\nu = \lambda/2(\lambda + \mu)$; $\alpha \alpha^l o b^l b$ – дуга контакту поверхні деталі із пружною деформуючим абразивним середовищем; P_o – нормальна сила, яка прикладена до деталі на одиниці її довжини; R – радіус деталі; k – коефіцієнт тертя між поверхнею деталі і оброблювальним середовищем (вважається, що на всій поверхні контакту за час полірування він є постійним); P – нормальний тиск, який діє на поверхні контакту; R_o – радіус оболонки камери, яка передає тиск крізь абразивний пружно деформуючий шар на поверхню заготовки.

Таким чином, використавши залежність (3.5) за наведеними вихідними умовами фінішної абразивної обробки, можна прогнозувати розподілення тиску на поверхні контакту заготовки із оброблювальним середовищем. Залежність тиску $P(t)$, який діє на поверхні заготовки від розміру Z абразивних частинок оброблювального середовища, наведена на рисунку 3.3.

Із наведеної залежності видно, що величина дуги контакту $\alpha \alpha^l o b^l b$ від зернистості не залежить, а точка дотику максимального тиску до поверхні деталі при збільшенні зернистості зміщується на незначну величину від точки o до точки α .

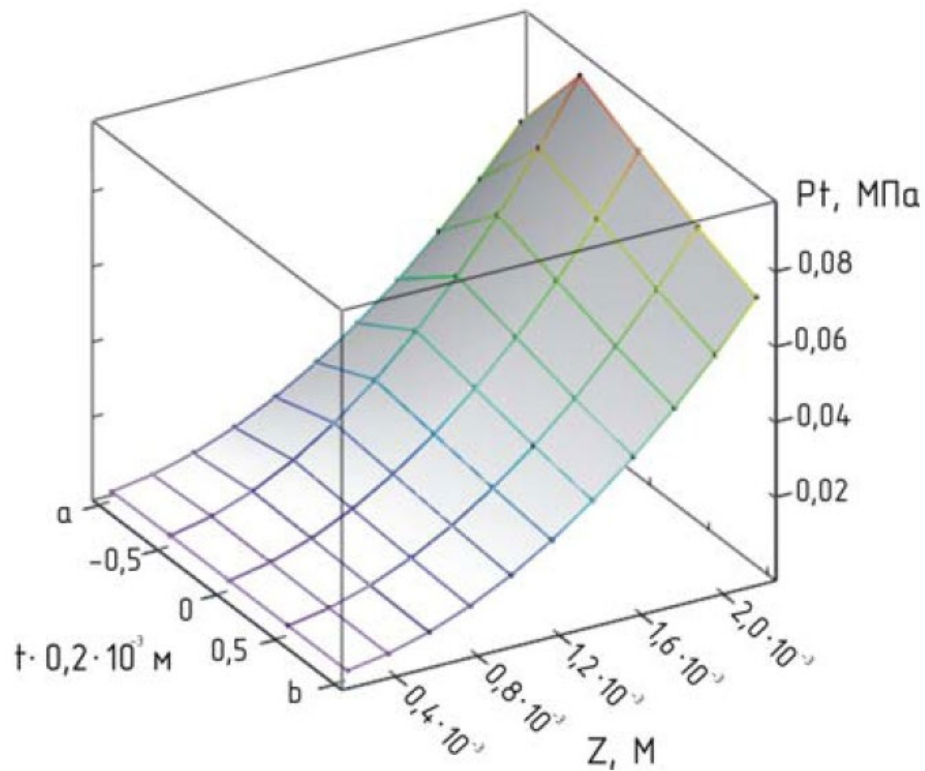


Рисунок 3.3 – Залежність тиску $P(t)$ на поверхні заготовки від розміру абразивних частинок Z оброблювального середовища

Залежність тиску, який діє на поверхню заготовки, від радіусу оброблюваної заготовки, наведена на рисунку 3.4.

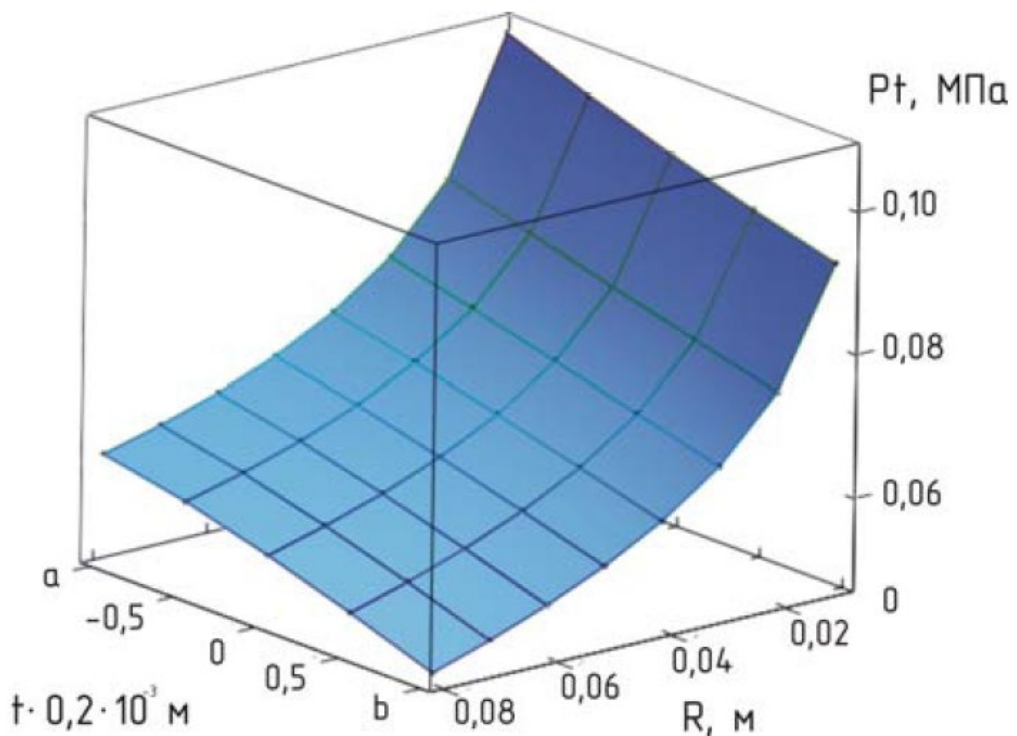


Рисунок 3.4 – Залежність тиску $P(t)$ на оброблювальну поверхню від радіусу заготовки R

Із збільшенням радіусу заготовки при постійної величини радіусу еластичної оболонки дуга контакту збільшується, а тиск абразивного середовища на поверхню заготовки зменшується. Одночасно розподілення тиску на дугі становиться більш рівномірним. Місце максимального тиску на поверхні заготовки плавно зміщується від точки o до точки α . Це підтверджується рівномірним характером розподілення тиску оброблюваного середовища на поверхні заготовки.

Отримані результати дають можливість регулювати тиск оброблюваного середовища на поверхні заготовки і визначити режими, за якими величина тиску буде становити потрібне значення. Для оцінювання продуктивності обробки в пневматичному устрої зовнішніх поверхонь заготовок, які обертаються і виготовлені із різних матеріалів, треба розробити методику розрахунку величини видалення метала.

3.3 Визначення продуктивності обробки деталей із різних матеріалів в статично ущільнювальному абразивному середовищі

Одним із показників процесу фінішної обробки заготовок в статично ущільнювальному абразивному середовищі є продуктивність, яка оцінюється інтенсивністю видалення металу із оброблюваної поверхні. На величину видалення металу впливає багато факторів: властивості оброблюваного середовища і матеріалу заготовки, режими і умови обробки і т. ін.

Відомо, що при шліфуванні нам величину видалення металу впливає кількість вершин абразивних зернин, які знаходяться в зоні контакту з поверхнею заготовки і видаляють одиничні стружки, що і визначає продуктивність процесу шліфування. Таким чином, оцінювання продуктивності процесу шліфування відбувається по сукупному видаленню металу різальними зернинами в зоні контакту або згідно характеристикам мікроскопічного різання одиничної зернини, якщо змодельовати для нього реальні умови шліфування.

Аналіз методів обробки заготовок не закріпленим абразивом ущільненим інерційними силами, дозволив установити, що густина контакту абразивних частинок з оброблюваною поверхнею вище ніж при обробки заготовок жорсткими

або еластичним кругами [29]. Теж саме слід зазначити і для способу обробки заготовок в статично ущільнювальному абразивному середовищі, де виявлена подібна закономірність стану абразивних частинок і їх дію на оброблювальну поверхню. Видалення металу відбувається виступами мікрорельєфу поверхонь абразивних зернин. Таким чином, має місце дуже мала дисперсність металу.

У разі оцінювання продуктивності абразивної обробки кількість різальних кромки в зоні контакту приймається рівним кількості вершин абразивних зернин, які приймають участь в мікроскопічному різанні. У цьому випадку робиться припущення, що кожна абразивна зернина контактує з оброблювальною поверхнею тільки однією вершиною [9]. Абразивна частина, яка контактує із поверхневим шаром заготовки, залишає на ній подряпину визначеної форми (див. рис. 3.5) [37].

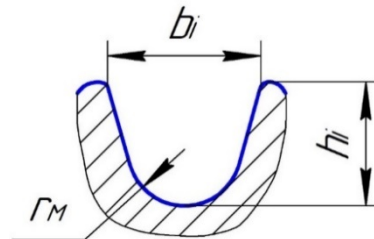


Рисунок 3.5 – Переріз подряпини, залишеної одиничним мікроскопічним виступом поверхні абразивного зерна

Припустимо, що кожна абразивна зернина, яка контактує з поверхнею заготовки і бере участь у мікроскопічному різанні, видаляє одиничним виступом стружку об'ємом $V_c = K_c \cdot V_{pi}$. Вагове знімання металу G можна визначити у вигляді

$$G = \rho \cdot K_c \cdot V_{pi}, \quad (3.7)$$

де ρ – густина оброблювального матеріалу;

K_c – коефіцієнт стружко-утворення;

V_{pi} – сумарний об'єм подряпини.

Коефіцієнт стружко-утворення визначається як

$$K_c = 1 - \varepsilon_n, \quad (3.8)$$

де ε_n – коефіцієнт навалів, які визначені у роботі [3].

Сумарний об'єм подряпини на шляху різання визначиться за формулою [3]

$$V_{pi} = L_{\text{різ}} \sum_{i=1}^n S_{pi}, \quad (3.9)$$

де $L_{\text{різ}}$ – шлях різання;

$S_{\text{пі}}$ – площа i -ої подряпини;

n – кількість подряпин.

Для розрахунку теоретичної величини видалення металу виступами мікрорельєфу абразивним зерном треба визначити сумарну площину перерізу подряпини в зоні контакту абразивних частинок із оброблювальною поверхнею $\sum_{i=1}^n S_{\text{пі}}$ та шлях різання $L_{\text{різ}}$.

У разі контакту абразивного зерна із оброблювальною поверхнею, на останній з'являється мікроскопічна подряпина, параметри якої залежать від величини тиску абразивного зерна на цю поверхню. Площина подряпини (див. рис. 3.5), яка оставлена при різанні мікроскопічним виступом одиничного зерна із радіусом закруглення r_m , визначиться за формулою

$$S_{\text{п}} = 0,5[(b_i + 2r_m) \cdot (h_i - r_m) + \pi r_m^2], \quad (3.10)$$

де b_i і h_i – відповідно ширина та глибина подряпини.

Якщо глибина і ширина подряпини, які zostавлені виступами мікрорельєфу абразивних зернин на поверхні ущільнювального шару заготовки будуть різні, то продуктивність видалення металу оцінюється за площиною перерізу подряпини в середині абразивного шару. Також треба враховувати кількість зернин, які розташовані на всій площині контакту при безперервній циркуляції оброблювального середовища.

Таким чином, сумарна площина перерізу подряпини визначиться

$$S_{\text{п}} = 0,5[(b_o + 2r_m) \cdot (h_o - r_m) + \pi r_m^2] \cdot N_{\Sigma}, \quad (3.11)$$

де b_o і h_o – відповідно ширина і глибина подряпини, яка zostавлена одиничним мікроскопічним виступом абразивного зерна із вихідним мікрорельєфом на оброблювальному матеріалі середньою частиною абразивного шару;

N_{Σ} – сумарна кількість зернин, які контактують із поверхнею оброблювальної заготовки.

Сумарна кількість зернин N_{Σ} , яка знаходиться в контакті із оброблювальною поверхнею заготовки, визначається за формулою

$$N_{\Sigma} = S_{\kappa} (\sqrt[3]{n_i \cdot \rho_a})^2, \quad (3.12)$$

де S_{κ} – площа оброблювальної поверхні заготовки;

n_i – кількість зернин в одиниці маси ущільнювального шару;

ρ_a – густина абразиву.

Довжину шліху різання $L_{\text{різ}}$ на поверхні оброблювальної заготовки від кожного одиничного виступу мікрорельєфу абразивного зерна можна записати як

$$L_{\text{різ}} = V_{\text{різ}} \cdot t_{\text{ц}}, \quad (3.13)$$

де $V_{\text{різ}}$ – швидкість різання;

$t_{\text{ц}}$ – час циклу обробки заготовок.

Із урахуванням визначених параметрів аналітичний вираз для визначення вагового видалення металу за час циклу обробки $t_{\text{ц}}$ буде мати вигляд:

$$Q_{\Sigma} = 0,5\rho(1 - \varepsilon_{\text{н}})V_{\text{різ}}t_{\text{ц}}[(b_0 + 2r_{\text{м}})(h_0 - r_{\text{м}}) + \pi r_{\text{м}}^2] \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (3.14)$$

де $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт, якій враховує вплив вихідної шорсткості оброблювальної поверхні [3];

$K_{\text{р}} = (1,2 - 1,5)$ – коефіцієнт, якій враховує вплив рідкої фази абразивної суспензії (залежно від виду змащувально-охолоджувальної рідини).

При впровадженні абразивних зернин в оброблювальну поверхню та їх відносному руху, виникають сили різання, які визначають характер відносного положення абразивних зернин. Якщо сила різання буде більше сили нормального тиску абразивного зерна на оброблювальну поверхню, то воно повернеться до цієї поверхні іншою гранню або вершиною. Тоді як абразивні частинки знаходяться у стані щільного упакування, то змінювання розташування одного зерна може призвести до відносного зміщення інших зернин, які межують із цим зерном.

При обертанні абразивних частинок відбувається часткове сколювання і викришування окремих вершин. Мікроскопічний профіль зернин оновлюється і їх різальні властивості підтримуються на постійному рівні.

Обертання абразивних частинок дає спроможність підвищити величину видалення металу при обробки, що враховується коефіцієнтом обертання Y .

Величину коефіцієнта Y у першому наближенні можна визначити [3]:

$$Y = \sum_{i=1}^m P(d_i) \cdot P_i, \quad (3.15)$$

де $P(d_i) = \frac{d_i^o}{d_i}$ – імовірність обертання абразивного зерна у вигляді еліпсоїду обертання навколо його повздожньої осі;

d_i^o – можлива кількість контактів зерна при обертанні його навколо повздожньої горизонтальної осі;

d_i – загальна кількість розташувань абразивного зерна при його обертанні;

P_i – імовірність обертання зерна у вертикальне розташування ($0 \leq P_i \leq 1$);

m – кола виступів.

На видалення металу впливає коефіцієнт K_B , який враховує те, що при обертанні абразивних частинок частина металу випадає із впадин мікронерівностей, що збільшує їх різальну спроможність. Крім того, зростає різальна спроможність зернин за рахунок мікроскопічних сколов різальних частинок.

Остаточно залежність для визначення величини видалення металу при обробки заготовок в статично ущільнювальному абразивному середовищі має вигляд:

$$Q_{\Sigma} = 0,5\rho(1 - \varepsilon_H)V_{\text{різ}}t_{\text{ц}}[(b_0 + 2r_M)(h_0 - r_M) + \pi r_M^2] \cdot Y \cdot K_B \cdot N_{\Sigma} \cdot K_{\text{ш}}K_{\text{ж}}. \quad (3.16)$$

3.4 Розрахунок питомого видалення металу для матеріалів з різними фізико-механічними властивостями

Виконаємо розрахунок видалення металу при обробки пробок шарових кранів в статично ущільнювальному абразивному середовищі. Матеріал пробок – сталь 10Г2, яка спочатку гальванічним способом покрита шаром міді, а потім захисним шаром хрому. Абразивний матеріал – електрокорунд нормальний (14А), величина зерна абразиву – М30. Тиск стислого повітря на еластичну оболонку камери із оброблювальним середовищем становить $P_0=0,1$ МПа. Величини густини матеріалів: сталі 10Г2 $\rho=7,9 \cdot 10^3$ кг/м³; міді $\rho=8,9 \cdot 10^3$ кг/м³; хрому $\rho=7,1 \cdot 10^3$ кг/м³; $r_M=0,36 \cdot 10^{-6}$ м; $t_{\text{ц}}=6$ хв; $V_{\text{різ}}=0,16$ м/с; $h_0=0,36 \cdot 10^{-6}$ м; $b_0=0,72 \cdot 10^{-6}$ м; $K_B=1,3$; $K_{\text{ш}}=1,16$; $K_{\text{ж}}=1,5$; $Z=30$ мкм; $N_{\Sigma}=3,78 \cdot 10^4$; $Y=1,2$.

Величини густини сталі 10Г2, міді, хрому підставимо у формулу (3.16) і виконаємо розрахунок.

Для сталі 10Г2:

$$Q_{10Г2} = 0,5 \cdot 7,9 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,16 \cdot 360 \cdot \\ \cdot [(0,72 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,36 \cdot 10^{-6})(0,36 \cdot 10^{-6} - 0,36 \cdot 10^{-6}) + 3,14 \cdot 0,36^2 \cdot \\ \cdot 10^{-12}] \cdot 3,78 \cdot 10^4 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,29 \cdot 1,5 = 10,04 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Для міді:

$$Q_{\text{м}} = 0,5 \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,16 \cdot 360 \cdot \\ \cdot [(0,72 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,36 \cdot 10^{-6})(0,36 \cdot 10^{-6} - 0,36 \cdot 10^{-6}) + 3,14 \cdot 0,36^2 \cdot \\ \cdot 10^{-12}] \cdot 3,78 \cdot 10^4 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,29 \cdot 1,5 = 11,31 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Для хрому:

$$Q_{\text{хр}} = 0,5 \cdot 7,1 \cdot 10^3 \cdot 0,95 \cdot 0,16 \cdot 360 \cdot \\ \cdot [(0,72 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 0,36 \cdot 10^{-6})(0,36 \cdot 10^{-6} - 0,36 \cdot 10^{-6}) + 3,14 \cdot 0,36^2 \cdot \\ \cdot 10^{-12}] \cdot 3,78 \cdot 10^4 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,29 \cdot 1,5 = 9,02 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Залежність величини видалення металу від густини при обробки в статично ущільнювальному середовищі наведені на рисунку 3.6.

Питоме видалення металу визначається за формулою:

$$q = \frac{Q_{\Sigma}}{S}, \quad (3.17)$$

де Q_{Σ} – величина видалення металу, кг;

$S = 0,105 \cdot 10^4 \text{ см}^2$ – оброблювальна площа заготовки.

Для сталі 10Г2:

$$q_{10Г2} = \frac{10,04 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{0,105 \cdot 10^4} = 9,56 \text{ мг/см}^2.$$

Для міді:

$$q_{\text{м}} = \frac{11,31 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{0,105 \cdot 10^4} = 10,77 \text{ мг/см}^2.$$

Для хрому:

$$q_{\text{хр}} = \frac{9,02 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6}{0,105 \cdot 10^4} = 8,6 \text{ мг/см}^2.$$

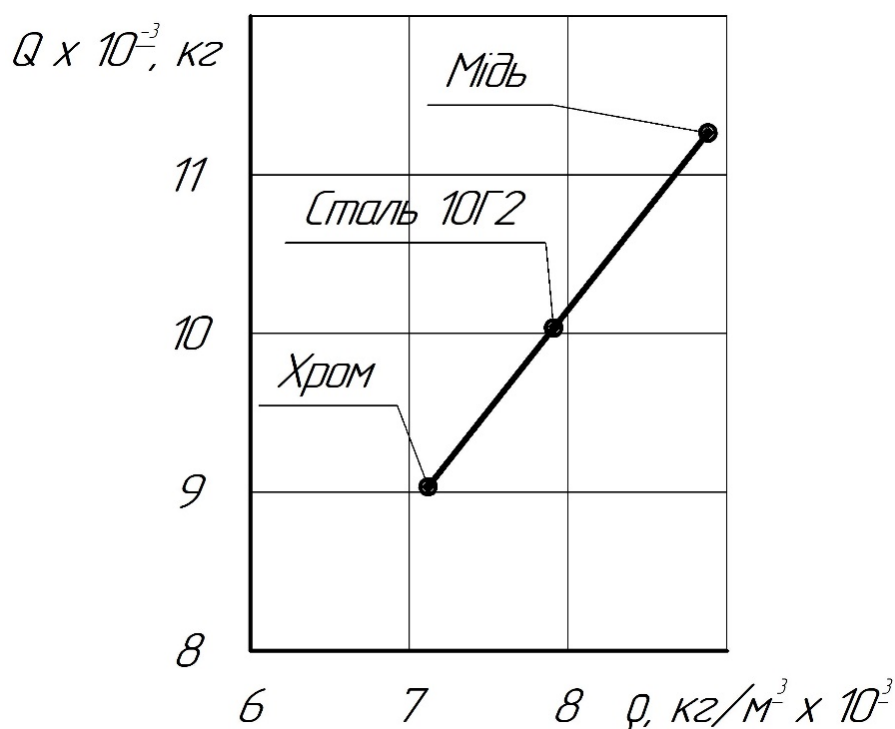


Рисунок 3.6 – Залежність величини видалення металу від густини при обробки заготовок в статично ущільнювальному абразивному середовищі

Залежність величини питомого видалення металу від густини при обробки матеріалів із різними фізико-механічними властивостями в статично ущільнювальному середовищі наведена на рисунку 3.7.

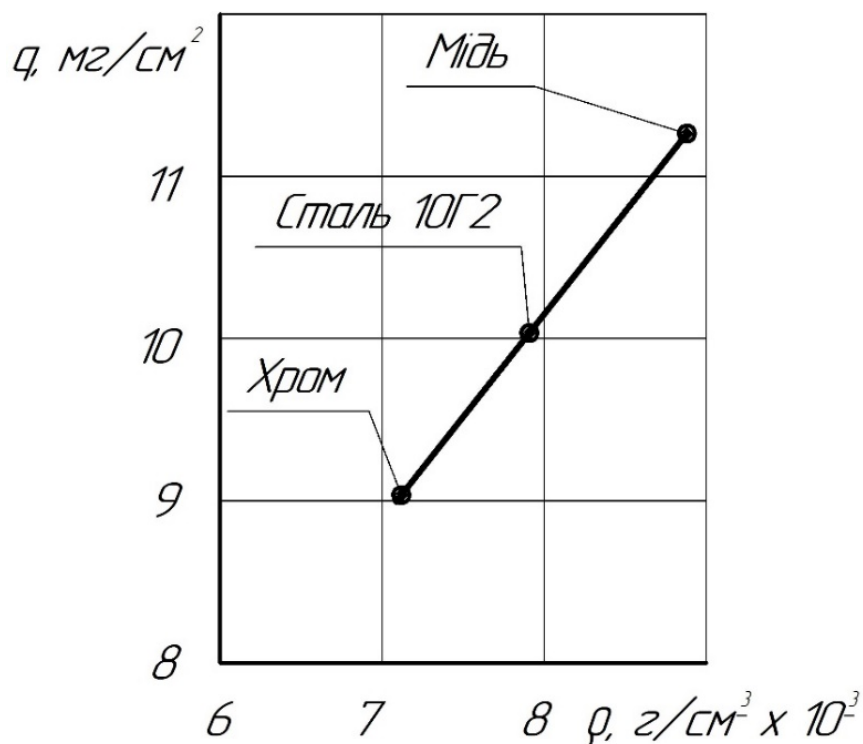


Рисунок 3.7 – Залежність величини питомого видалення металу від густини при обробки заготовок в статичному ущільнювальному середовищі

На рисунку 3.8 наведені залежності питомого видалення різних матеріалів від часу полірування.

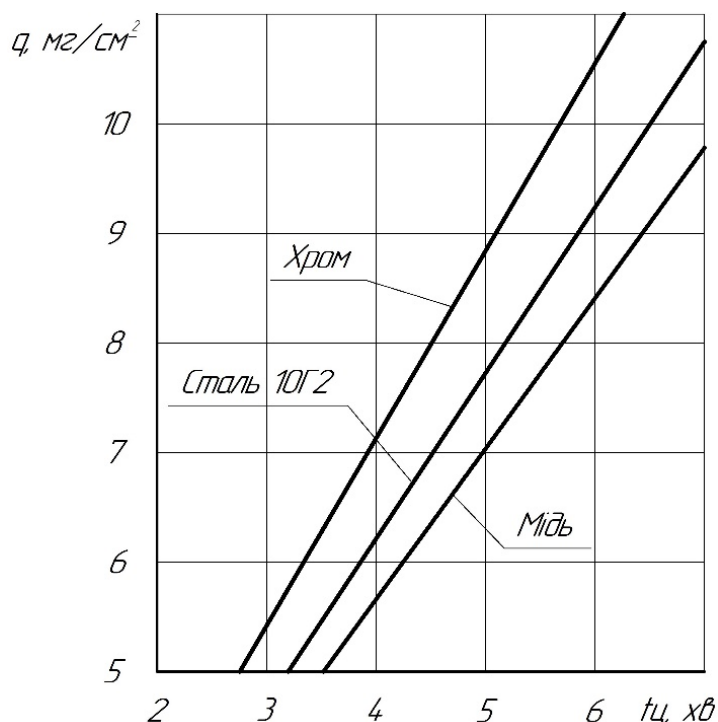


Рисунок 3.8 – Залежність питомого видалення металу від часу полірування в статично ущільнювальному абразивному середовищі

Таким чином, якщо визначена величина питомого видалення металу за час циклу обробки, то можна запропонувати раціональні властивості абразивного середовища, час оброблення заготовки, тиск в пневматичній камері пристрою.

3.5 Дослідження впливу режимів обробки на шорсткість поверхонь деталей

Аналіз факторів, які значно впливають на шорсткість поверхні при поліруванні в статично ущільнювальному абразивному середовищі, виявив наступні: час обробки, тиск в камері, величина абразивних зернин. Для полірування обрані зразки із сталі 10Г2 і зразки із тієї ж сталі, але покриті хромом. Діаметр зразків становив 50 мм.

Обробка виконувалася на експериментальному, спеціально розробленому і виготовленому пристрої. План експерименту і обробка його результатів виконувалася за методикою роботи [12].

В експериментальному пристрої фактори змінювалися в наступних межах: час оброблення заготовки від 2-х до 5 хв; тиск повітря в пневматичній камері від 0,05 до

0,15 МПа; величина абразивних зернин в оброблювальній суміші від 10 до 80 мкм. Тиск повітря в пневматичній камері контролювався манометром, а шорсткість поверхні вимірювалася профілометром за критерієм R_a (мкм).

3.6 Побудова плану експериментальних досліджень

Для дослідження вибраний багатофакторний експеримент, де одночасно змінюються декілька факторів: P – тиск повітря в камері, МПа; t – час обробки, хв; Z – величина абразивних зернин в оброблювальній суміші, мкм [4].

Фактори процесу обробки мають різні одиниці вимірювання, а величини цих факторів – різний порядок. Тому треба привести до єдиної системи обчислення шляхом переходу від дійсних значень факторів до кодованих за наведеними формулами:

$$\begin{aligned} X_{oi} &= \frac{X_{maxi} + X_{mini}}{2}; \\ X_{qi} &= \frac{X_{maxi} - X_{mini}}{2}; \\ X_{ki} &= \frac{X_i - X_{oi}}{X_{qi}}, \end{aligned} \quad (3.18)$$

де X_{oi} – основний рівень;

X_{qi} – інтервал варіювання;

X_{ki} – кодоване значення фактору;

X_{maxi} – верхній рівень (кодоване значення верхнього рівня +1, згідно плану експерименту цифра «1» не пишеться, а пишеться тільки знак «+»);

X_{mini} – нижній рівень (пишеться тільки знак «-»).

Кодування факторів процесу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кодування факторів процесу

Фактори		X_{min} (-1)	X_{max} (+1)	X_o	X_q
Назва	Позначення				
P – тиск повітря, МПа	X_1	0,05	0,15	0,1	0,05
t – час обробки, хв	X_2	1	3	2	1,0
Z – величина абразивних зернин, мкм	X_3	10	40	25	15

Багатофакторний експеримент має кількість дослідів $N=2^3=8$, де 3 – загальна кількість факторів процесу полірування. Стандартна форма запису проведення експерименту наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – План проведення експерименту $N=2^3$

Номер дослідження	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	-	+
4	+	-	-	+
5	+	+	+	-
6	+	-	+	-
7	+	+	-	-
8	+	-	-	-

Експерименти проводилися за двома серіями досліджень, де послідовність їх виконання визначалася довільно (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Послідовність проведення дослідів

Перша серія дослідів	7	3	5	6	2	8	4	1
Друга серія дослідів	2	6	3	7	5	4	1	8

3.7 Оброблення експериментальних даних

В таблиці 3.4 наведений план багатофакторного експерименту.

Таблиця 3.4 – Повний план проведення багатофакторного експерименту

Серія		Номер	X_0	X_1	X_2	X_3	Результати експериментів за серіями	
1	2						R_a , мкм	
Послідовність проведення							1	2
7	2	1	+	+	+	+	$R_{a11} = 0,26$	$R_{a12} = 0,34$
3	6	2	+	-	+	+	$R_{a21} = 0,32$	$R_{a22} = 0,34$
5	3	3	+	+	-	+	$R_{a31} = 1,6$	$R_{a32} = 1,8$
6	7	4	+	-	-	+	$R_{a41} = 1,7$	$R_{a42} = 1,3$
2	5	5	+	+	+	-	$R_{a51} = 0,8$	$R_{a52} = 0,6$
8	4	6	+	-	+	-	$R_{a61} = 0,08$	$R_{a62} = 0,09$
4	1	7	+	+	-	-	$R_{a71} = 0,09$	$R_{a72} = 0,06$
1	8	8	+	-	-	-	$R_{a81} = 1,1$	$R_{a82} = 0,9$

Згідно таблиці 3.4 першим виконується сьомий дослід із першої серії експерименту (перший фактор X_1 встановлювався на верхньому рівні, останні – на нижньому рівні). Результатом проведеного дослідів було отримане значення шорсткості R_{a71} . Далі виконувався третій дослід першої серії ($X_{3max}, X_{2min}, X_{3max}$, результат R_{a31}), потім п'ятий дослід першої серії ($X_{1max}, X_{2max}, X_{3min}$, результат R_{a51}), шостий дослід першої серії ($X_{1min}, X_{2max}, X_{3min}$, результат R_{a61}) і т. ін. Після завершення першої серії дослідів виконувалася друга серія, у послідовності наведеної в таблиці 3.3.

Отримані результати експериментальних даних оброблювалися за методикою наведеною в роботі [4]. За результатом оброблення експериментальних даних визначені:

середнє арифметичне параметра шорсткості згідно серії дослідів для кожної строки (див. табл. 3.5):

$$\overline{R_a} = \frac{R_{a1} + R_{a2} + \dots + R_{ai}}{T}, \quad (3.19)$$

де i – номер дослідів; T – кількість спостережень.

Таблиця 3.5 – Середнє арифметичне параметра $\overline{R_a}$

Номер дослідження	1	2	3	4	5	6	7	8
Середнє арифметичне параметра $\overline{R_a}$, мкм	0,3	0,33	1,7	1,5	0,7	0,085	0,075	1,0

- дисперсія відображення за даними T паралельних спостережень

$$R_a S^2 = \frac{(\overline{R_a} - R_{a1})^2 + (\overline{R_a} - R_{a2})^2 + \dots + (\overline{R_a} - R_{ai})^2}{T - 1} \quad (3.20)$$

- розраховане значення критерія Кохрена $R_a G$

$$R_a G = \frac{R_a S_{max}^2}{R_a S_1^2 + R_a S_2^2 + \dots + R_a S_n^2}, \quad (3.21)$$

де $R_a S_{max}^2$ – максимальне значення із дисперсії спостереження;

n – номер строки плану.

$$R_a G = 0,615.$$

Таблиця 3.6 – Дисперсія відображення $R_a S^2$

Номер дослідження	1	2	3	4	5	6	7	8
Дисперсія відображення $R_a S^2$	1,805	0,08	0,125	1,28	0,08	0,605	0,02	0,045

- ступень вільності $U_1=T-1=1$, $U_2=N=8$ а за цим значенням – табличне значення критерія Кохрена $G_{кр}=0,6789$ [32];
- за різницею значень $R_a G - G_{кр}$ робиться висновок о відображенні результатів вимірювань параметра шорсткості. Якщо $R_a G - G_{кр} < 0$, то дисперсії відображення однорідні і досліди повторювані. У протилежному випадку дослідження повторюють;
- різниця значень $R_a G - G_{кр} = 0,615 - 0,6789 = -0,064 < 0$, таким чином, всі дисперсії однорідні.
- дисперсія параметра шорсткості

$$R_a S^2 = \frac{R_a S_1^2 + R_a S_2^2 + \dots + R_a S_n^2}{N}; \quad (3.22)$$

$$R_a S^2 = 0,505.$$

При побудові математичної моделі процесу полірування були послідовно визначені:

- коефіцієнти регресії

$$R_a B_j = \frac{X_1 R_1 + X_2 R_2 + \dots + X_n R_{an}}{N}, \quad (3.23)$$

де X_n – параметр в кодовому значенні «+1» и «-1»;

$$R_a B_0 = 8,125; R_a B_1 = 0,9; R_a B_2 = 1,55; R_a B_3 = 0,15.$$

- дисперсію помилки визначення коефіцієнтів регресії

$$R_a S B^2 = \frac{R_a S^2}{N \cdot T}; \quad (3.24)$$

$$R_a S B^2 = 0,03.$$

- середнє квадратичне відхилення дисперсії помилки визначення коефіцієнтів регресії

$$R_a S B = (R_a S B^2)^{0,5} \quad (3.25)$$

$$R_aSB = 0,17.$$

- розраховане значення критерія Стьюдента R_aC_j :

$$R_aC_j = \frac{|R_aB_j|}{R_aSB};$$

$$R_aC_0 = 3,44; R_aC_1 = 5,29; R_aC_2 = 26,76; R_aC_3 = 6,76.$$

- ступень вільності $U3=N=8$, а за цим показником табличне значення Стьюдента $C_{кр} = 2,3$ [4];

- за різницею значень $R_aC_j - C_{кр}$ робиться висновок о значенні коефіцієнтів регресії. Якщо $R_aC_j - C_{кр} > 0$, то коефіцієнти R_aB_j є значущими. У протилежному випадку коефіцієнти вважаються статично не значущими і видаляються із розрахунку (інші коефіцієнти не розраховуються). У нашому випадку всі коефіцієнти статично значущі.

- математична модель процесу полірування (рівняння регресії)

$$R_a^* = 3,44 + 0,9X_1 + 1,55X_2 + 0,15X_3.$$

За рівнянням регресії відбувається оцінювання кожної стрічки плану Rai^* (підстановкою кодованих значень факторів $Raij$) і знаходять різницю між середнім арифметичним параметрів серії $\overline{R_a}$ та оцінками R_a^* , визначають їх суму і розраховують дисперсії адекватності:

$$R_aS_a^2 = \frac{[(\overline{R_{a1}} - R_{a1}^*) + (\overline{R_{a2}} - R_{a2}^*) + \dots + (\overline{R_{ai}} - R_{ai}^*)] \cdot T}{N - L}, \quad (3.26)$$

де L – кількість значимих коефіцієнтів (без R_{a0}).

Дисперсія адекватності $R_aS_a^2 = 0,016$.

Значення критерія Фішера R_aF визначається за формулою:

$$R_aF = \frac{R_aS_a^2}{R_aS^2} = \frac{0,016}{0,505} = 0,032. \quad (3.27)$$

Степінь вільності $Ua=N \cdot (T-1)$, $Uc=N-L$ і за цим показником табличне значення критерія Фішера $F_{кр} = 3,69$.

Різниця значень $R_aF - F_{кр} = 0,032 - 3,69 = -3,658 < 0$, таким чином, модель адекватно описує процес полірування [4].

Зробимо перехід від моделі, яка складена із факторів записаних в кодових значеннях, до факторів, які записані в натуральних значеннях. Для цього робиться перерахунок всіх коефіцієнтів які знаходяться перед варійованими факторами за формулою:

$$B_j^* = \frac{B_j}{X_j}. \quad (3.28)$$

Коефіцієнт B_0^* розраховується за формулою:

$$B_0^* = B_0 - \left(\frac{X_{01} \cdot B_1}{X_1} \right) - \left(\frac{X_{02} \cdot B_2}{X_2} \right) - \dots - \left(\frac{X_{0j} \cdot B_j}{X_j} \right). \quad (3.29)$$

Чисельні значення коефіцієнтів визначилися:

$$B_1^* = 14,3; B_2^* = 0,75; B_3^* = 0,11; B_0^* = 3,44.$$

Модель, яка визначає шорсткість поверхневого шару заготовки із сталі 10Г2 при її обробки в статичному ущільнювальному абразивному середовищі, запишеться рівнянням:

$$R_{ac} = 3,44 - 14,3P - 0,75t + 0,11Z,$$

де R_{ac} – шорсткість поверхонь сталених заготовок.

Математична модель залежності шорсткості поверхневого шару хромованих заготовок від факторів, запишеться рівнянням:

$$R_{ax} = 2,7 - 15,3P - 0,81t + 0,15Z,$$

де R_{ax} – шорсткість поверхонь хромованих заготовок.

За результатами експериментів отримані залежності шорсткості поверхонь заготовок із сталі та сталених заготовок покритих хромом від факторів: тиску повітря в пневматичній камері, часу оброблення заготовок, величини абразивних зернин ущільнювального середовища.

На рисунку 3.9 наведена залежність шорсткості поверхні заготовки від тиску повітря в пневматичній камері. За час обробки $t = 2$ хв абразивними зернинами величиною $Z = 10$ мкм, із збільшенням тиску в пневматичній камері шорсткість поверхні заготовки зменшується. Це пов'язано із збільшенням тиску одиничних абразивних зернин ущільнювального середовища на оброблювальну поверхню заготовки, що свідчить о кращих умовах мікроскопічного різання металу. У разі

низького тиску відбувається обкочування оброблювальної поверхні абразивними зернинами і тому шорсткість поверхні знижується незначно у порівнянні із вихідною шорсткістю.

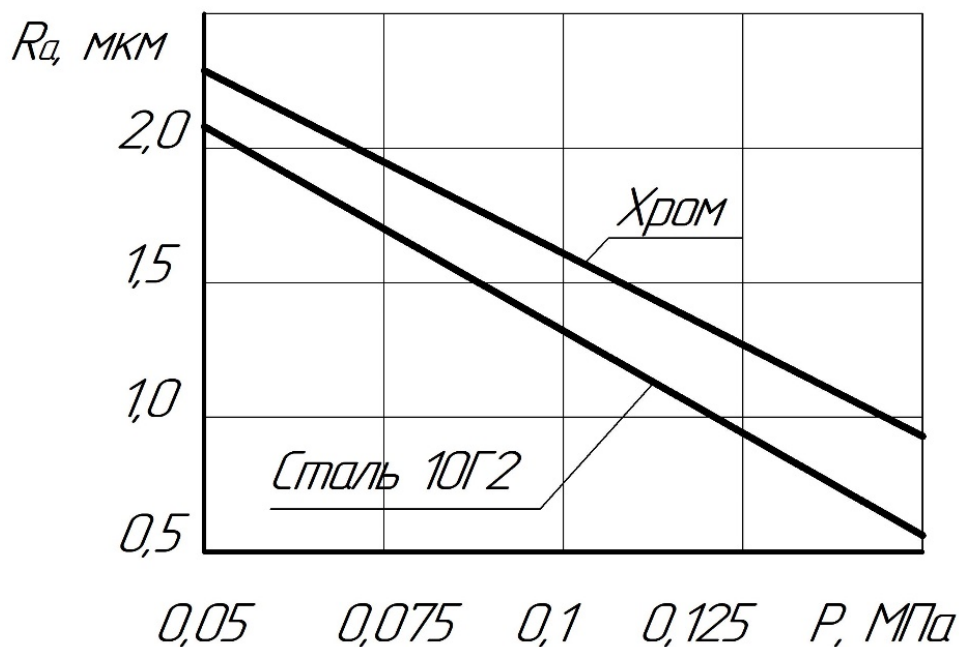


Рисунок 3.9 – Залежність шорсткості поверхні деталі від тиску в пневматичній камері

На рисунках 3.10 і 3.11 наведені залежності шорсткості поверхні деталі від часу обробки і величини зернин абразивного середовища.

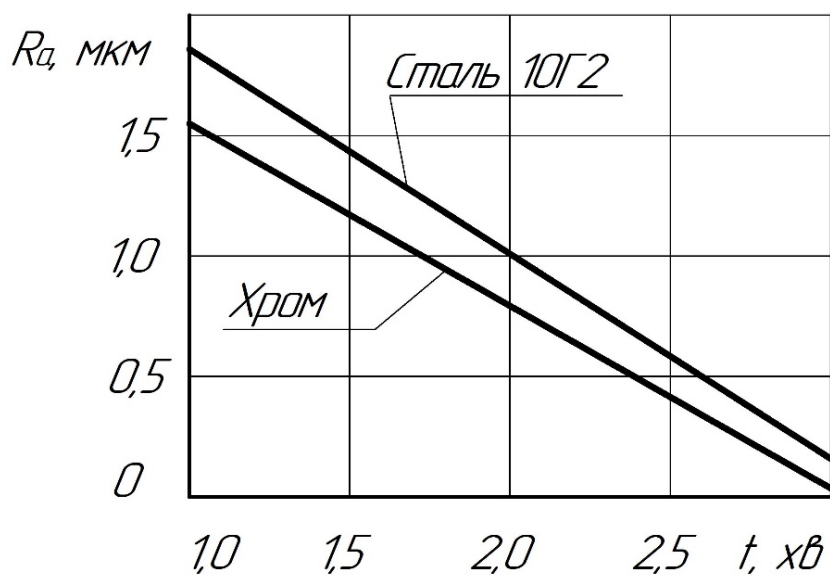


Рисунок 3.10 – Залежність шорсткості поверхні деталі від часу обробки

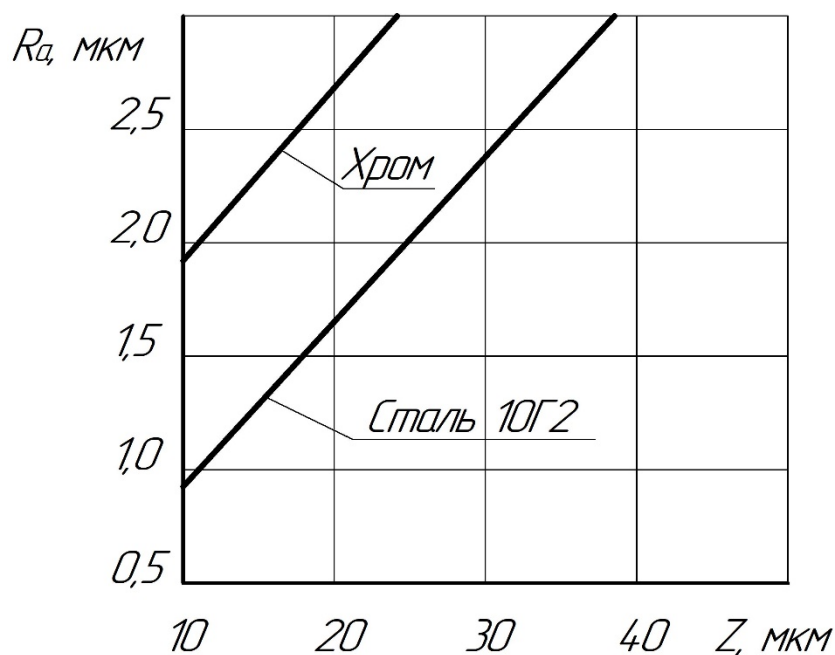


Рисунок 3.11 – Залежність шорсткості поверхні деталі від величини зернин абразивного середовища

Для досягнення низької шорсткості оброблювальної поверхні заготовки треба застосовувати дрібно-дисперсне абразивне середовище, особливо це актуально при поліруванні зразків покритих хромом. Застосування абразивного середовища з величиною зерна більше 30 мкм не забезпечує зниження шорсткості хромованих поверхонь. У цьому випадку з'являються глибокі подряпини на поверхні, яка має меншу шорсткість, що виходить за межу потрібних значень шорсткості. Поява подряпин спостерігається при підвищеному тиску повітря в пневматичній камері від 1,0 МПа і більше. Для зниження шорсткості поверхні заготовки треба збільшити час оброблення в пневматичній камері до чотирьох хвилин.

3.8 Висновок

1 Експериментальними дослідженнями встановлено, що на продуктивність обробки значно впливає тиск підведеного стислого повітря в пневматичну камеру пристрою. Отримані залежності величини видалення металу від параметрів обробки мають лінійний характер у дослідженому діапазоні факторів. Це характеризує процес полірування як стабільний і свідчить о постійності різальної спроможності абразивного середовища в межах заданого часу оброблення.

2 Дослідження показують, що після 2 – 3 хвилин обробки спостерігається повне видалення вихідної шорсткості і відбувається формування потрібної шорсткості поверхні.

3 Висота мікронерівності, яка формується при обробки, значно залежить від твердості матеріалу заготовки та вихідної шорсткості поверхні. При поліруванні заготовок із вихідною шорсткістю $R_a = 1,25$ мкм досягається шорсткість $R_a = 0,16 - 0,08$ мкм. Ця шорсткість досягається за умовою, якщо величина абразивних зернин знаходиться в межах $Z = 10 - 50$ мкм. Треба зазначити, що із зниженням вихідної шорсткості поверхні заготовки розмір абразивного зерна також треба зменшити.

4 Виконані дослідження показали вплив технологічних факторів на продуктивність і шорсткість поверхні, що дозволяє прогнозувати потрібну продуктивність і шорсткість поверхні оброблювальних заготовок.

ВИСНОВКИ

1 Виконаний аналіз службового призначення кульового крана та пробки, умов її експлуатації, технічних вимог на виготовлення деталі.

2 За коефіцієнтом закріплення операцій визначений тип виробництва – дрібносерійний, запропонована форма організації виробництва – групова.

3 Виконаний аналіз технологічності конструкції деталі за якісними та кількісними показниками. Конструкція пробки за наведеними показниками є технологічною.

4 Проаналізований існуючий технологічний процес виготовлення пробки для умов одиничного виробництва. Зроблені висновки і запропоновані зміни до удосконалення існуючого технологічного процесу.

5 Запропонований новий варіант технологічного процесу виготовлення пробки для умов дрібносерійного виробництва.

6 Запропонований спосіб виготовлення вихідної заготовки для пробки – штамповка на КГШП, розроблені технічні вимоги на її виготовлення.

7 За програмою «*rig*» на ЕОМ розраховані припуски на обробку двох поверхонь діаметрами $75h9(0;-0,074)$ мм. Для операцій 035 «Токарна з ЧПК» і 050 «Свердлильна з ЧПК» запропоновані схеми базування та закріплення заготовок, моделі верстатів, технологічне оснащення, різальний та вимірювальний інструменти, розраховані режими різання та норми часу. Спроектований контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття двох поверхонь діаметром $75h9$ мм, сфери діаметром $250h9$ мм та їх співвісності в межах 0,02 мм.

8 Розроблена структура оздоблювальної операції – полірування базових поверхонь і сфери пробки інструментом у вигляді статично ущільнювального абразивного середовища. Визначені параметри, які впливають на шорсткість циліндричних і сферичної поверхонь заготовки, це – тиск абразивного середовища, час обробки і величина абразивних зернин. При поліруванні заготовок із вихідною

шорсткістю $R_a = 1,25$ мкм досягається шорсткість $R_a = 0,16 - 0,08$ мкм. Ця шорсткість досягається за умовою, якщо величина абразивних зернин знаходиться в межах $Z = 10 - 50$ мкм. Встановлено, що із зниженням вихідної шорсткості поверхні заготовки розмір абразивного зерна для полірування треба зменшити.

Розроблені рекомендації для вибору оптимальних режимів різання для забезпечення потрібної шорсткості поверхонь заготовки.

9 Розроблена технологічна документація (карти МК, ОК, КЕ) на технологічний процес виготовлення пробки.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Ансеров, М. А.** Приспособления для металлорежущих станков / М. А. Ансеров. – Москва: Машиностроение, 1964. – 652 с.
2. **Городецкий, Ю. Г.** Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов / Ю. А. Городецкий. – Москва: Машиностроение, 1971. – 367 с.
3. **Горошкин, А. К.** Приспособления для металлорежущих станков / А. К. Горошкин. – Москва: Машиностроение, 1979 – 303 с.
4. **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения 5-е изд. / В. А. Шкред, А. Ф. Горбацевич. – Москва: ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
5. **Корсаков, В. С.** Основы конструирования приспособлений в машиностроении / В. С. Корсаков. – Москва: Машиностроение, 1971. – 288 с.
6. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: учеб. Пособие: в 2 т. Т.1. / А. Г. Косилова. – 2 – е изд., перераб. – Москва: Машиностроение, 1985. – 728 с.
7. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: учеб. Пособие: в 2 т. Т.2. / А. Г. Косилова. – 2 – е изд., перераб. – Москва: Машиностроение, 1985. – 728 с.
8. **Маталин, А. А.** Технология машиностроения: учебник / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с.
9. **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 1.** Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки – Москва: Машиностроение, 1974. – 416 с.
10. **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках – Ч. II.** зуборезные,

горизонтально-расточные, резьбонакатные и отрезные станки. – Москва: Машиностроение, 1974. – 200 с.

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

12. **Панов, А. А.** Справочник технолога / А. А. Панов. Москва: Машиностроение, 1988. – 736 с.

13. **Руденко, П. А.** Проектирование технологических процессов в машиностроении / П. А. Руденко. – Киев: Вища школа, 1985. – 255 с.

14. **ГОСТ 2.109.** Основные требования к чертежам.

15. **ГОСТ 2.305.** Изображения, виды, разрезы, сечения.

16. **ГОСТ 2.307.** Нанесение размеров и предельных отклонений.

17. **ГОСТ 3.1201.** ЕСТД. Система обозначения технологической документации.

18. **ГОСТ 14.201.** Общие правила отработки конструкции на технологичность.

19. **ГОСТ 7062.** Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на прессах. Припуски и допуски.

20. **ГОСТ 7829.** Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые свободной ковкой на молотах. Припуски и допуски.

21. **ГОСТ 2.108.** ЕСКД. Спецификация.

22. **ГОСТ 3.1104.** Общие требования к документам.

23. Абразивная и алмазная обработка материалов Текст справочник / А. Н. Резников, Е. И. Алексенцев, Я. И. Барац и др.; под общ. ред. А. Н. Резникова, – Москва: Машиностроение, 1977. – 391 с.

24. **Бурлаков, В. І.** Підвищення продуктивності віброабразивного оброблення незакріплених деталей накладанням поля квазіпостійних відцентрових сил: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 / В. І. Бурлаков; Донец. нац. техн. ун-т. Донецьк, 2005, 20 с.

25. **Верезуб, В. Н.** Шлифование абразивными лентами Текст / В. Н. Верезуб. - Москва: Машиностроение, 1972. – 104 с.

26. **Волков, І. В.** Підвищення продуктивності процесу вібраційної обробки деталей на оздоблювальних і зміцнюючих операціях: автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / І. В. Волков; Приазов. держ. техн. ун-т: Маріуполь, 2008. – 20 с.

27 **Гавриш, А. П.** Фінішна алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів Текст / А. П. Гавриш, П. П. Мельничук. Житомирський держ. технологічний ун-т. – Житомир: ЖДТУ, 2004. – 551 с.: рис., табл. – Бібліогр.: с. 522–547.

28 **Орлов, П. Н.** Доводка прецизионных деталей машин Текст / П. Н. Орлов, А. А. Савельев, В. А. Полухин и др. – Москва: Машиностроение, 1978. – 256 с.

29 **Скрябин, В. А.** Основы процесса субмикрорезания при обработке деталей незакрепленным абразивом Текст / В. А. Скрябин. – Пенза: Изд-во ПВАИУ, 1992. – 120 с.

30 **Скрябин, В. А.** Обеспечение качества обработки сложнопрофильных деталей технологических машин уплотненными мелкодисперсными средами Текст / В. А. Скрябин, В. Б. Моисеев, Ю. В. Рыбаков. Монография. – Пенза: ПГТА, 2005. – 11 п. л.

31 **Скрябін, В. В.** Підвищення ефективності полірування виробів з алюмосилікатних матеріалів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.01 / НАН України; Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля. – Київ: 2004. – 20 с.

32 Современные технологии в машиностроении: Сб. науч. ст. / Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т"; Под общ. ред. А. И. Грабченко Т. 1: 2006 – 439 с.

33 **Повідайло, В. О.** Вібраційні процеси та обладнання Текст / В. О. Повідайло. – Нац. ун-т Львів. політехніка, - Львів: політехніка, 2004. – 247 с.

34 **Паньков, Л. А.** Ленточное шлифование высокопрочных материалов Текст / Л. А. Паньков, Н. В. Костин. – Москва: Машиностроение, 1978. – 126 с.

35 **Пахалин, Ю. А.** Алмазное контактно-эрозионное шлифование Текст / Ю. А. Пахалин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 178 с.

36 **Крымов, В. В.** Алмазное шлифование деталей из титановых сплавов и жаропрочных сталей Текст / В. В. Крымов, В. А. Горелов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 61 с.

37. **Калмиков М. О.** Підвищення ефективності процесу вібраційної обробки великогабаритних виробів: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / М. О. Калмиков. – Харків: Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т", 2006. – 20 с.

38. **Мартынов, А. Н.** Основы метода обработки деталей свободным абразивом, уплотненным инерционными силами Текст / А. Н. Мартынов. – Саратов: Изд-во: Саратов. Гос. техн. ун-та, 1981. – 212 с.

39. **Матюха, П. Г.** Високопродуктивне шліфування ванадієвих штампових та інструментальних сталей Текст / П. Г. Матюха. Держ. вищ. навч. закл. "Донец. нац. техн. ун-т", Донецьк: ДонНТУ, 2008. – 222 с.

40. **Міцик А. В.** Підвищення ефективності обробки великогабаритних плоскісних виробів активізацією руху робочого середовища у коливних "U" - подібних контейнерах: автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01/ А. В. Міцик – Харків: Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т", 2008. – 20 с.

41. **Муцянко, В. И.** Бесцентровое шлифование Текст / В. И. Муцянко, А. Я. Братчиков, З. И. Кремень. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение, 1986. – 92 с.

42. **Орлов, П. Н.** Доводка труднообрабатываемых материалов свободным абразивом с наложением ультразвуковых колебаний Текст / П. Н. Орлов, Г. Р. Сагателян. – Москва: Машиностроение, 1983. – 80 с.

43. **Худобин, Л. В.** Шлифование заготовок из коррозионностойких сталей с применением СОЖ Текст / Л. В. Худобин, М. А. Белов. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1989. – 146 с.

44. **Химач, О. В.** О силовых зависимостях при резании единичным зерном // Синтетические алмазы, 1972, № 6. – С. 25 – 34.

45. **Філатов, Ю. Д.** Наукові основи прецизійного полірування поверхонь деталей з кремнезміщуючих матеріалів: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / НАН України; Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля. – Київ, 1996. – 35 с.

46. **Шкурупій, В. Г.** Підвищення ефективності технології фінішної обробки світловідбиваючих поверхонь деталей із тонкого листа і стрічок: Автореф. дис. ...

канд. техн. наук: 05.02.08 / В. Г. Шкурупій; Одес. нац. політехн. ун-т, Одеса, 2006, – 21 с.

47. **Шеремет, О. І.** Вдосконалення автоматизованої електромеханічної системи для віброобробки металевих деталей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / О. І. Шеремет; Донец. нац. техн. ун-т, Донецьк, 2005, – 19 с.

48. **Шальнов, В. А.** Шлифование и полирование высокопрочных материалов Текст / В. А. Шальнов. – Москва: Машиностроение, 1972. – 272 с.

49. **Ящерицын, П. И.** Шлифование металлов Текст / П. И. Ящерицын, Е. А. Жалнерович. – 2-е изд., доп. и перераб. – Минск: Беларусь, 1970. – 463 с.

50. **Ящерицын, П. И.** Финишная обработка деталей уплотненным потоком свободного абразива Текст / П. И. Ящерицын, А. Н. Мартынов, А. Д. Гридин. – Минск: Наука и техника, 1978. – 221 с.

51. **Якимов, А. В.** Качество и производительность абразивно-алмазной обработки Учеб. пособие для техн. учеб. заведений: / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. Одес. гос. политехн. ун-т. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 211 с.