

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

«магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності

131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної

програми

«Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему:

Удосконалення технологічного процесу виготовлення

корпусу 12.003 шляхом структурно-параметричної оптимізації

притиральної операції

Здобувача (ки) групи

ТМ.м-31

(шифр групи)

Каплун Владислав Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Владислав КАПЛУН

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Артем ЄВТУХОВ

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

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

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

(підпис)

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	7
1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації	7
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	11
1.3 Характеристика типу та організації форми виробництва	13
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	16
1.5 Аналіз операцій існуючого технологічного процесу обробки корпусу	17
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	24
Розділ 2 Удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.....	26
2.1 Складання технологічного маршруту виготовлення корпусу	26
2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної деталі	27
2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання	30
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	32
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	33
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів	35
2.7 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій.....	39
2.8 Проектування засобів технологічного оснащення	42
2.8.1 Обґрунтування мети технологічної операції і завдання для проектування.....	42
2.8.2 Розробка та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.....	43
2.8.3 Розрахунок точності елементів пристрою	46

2.8.4	Опис конструкції і роботи пристрою	47	
2.9	Висновок	48	
Розділ 3 Дослідження оздоблювальної обробки сумісного притирання			
конічних поверхонь пробки і корпусу			50
3.1	Сумісне притирання конічних поверхонь пробки і корпусу	50	
3.2	Верстат для притирання конічних поверхонь пробкового з'єднання	55	
3.3	Робота притиральної головки для обробки конічних з'єднань	57	
3.4	Припуск і кількість операцій для притирання	60	
3.5	Рекомендації для вибору режимів різання при обробки притиранням пробкового з'єднання.....	61	
3.6	Висновок	62	
Висновки		64	
Перелік джерел посилання		66	

ВСТУП

Актуальність теми. Виконавчі поверхні деталей пробкового з'єднання остаточно формують свої розміри, точність форми, шорсткість, фактичну сумісну площу контакту на оздоблювальному етапі їх обробки. Сучасні технології оздоблювальної обробки пробкових з'єднань передбачають обробку конічних поверхонь отворів хонінгувальними головками, у яких конусність відповідає конусу обробленої деталі. З цієї метою в технологічному процесі передбачена хонінгувальна операція, яка виключає операцію шліфування. Остання має багато недоліків, пов'язаних з високою температурою, яка призводить до появи на обробленій поверхні прожогів, окремих рисок, подряпин та неоднакової шорсткості на всій довжині обробки. Також, внутрішньо-шліфувальні операції потребують значного часу для налагодження, що знижує продуктивність оброблення заготовок в умовах серійного та масового виробництва.

Оздоблювальна обробка конічних отворів виконується із застосуванням абразивного або алмазного інструмента. Кінематика хонінгування алмазними брусками частково дозволяє виправити похибки геометричної форми поверхні в поздовжньому і поперечному перерізах, зменшити шорсткість.

Для підвищення точності геометричної форми конічних поверхонь і зниження їх шорсткості до вимог креслення, в технологічний процес вводиться спеціальна оздоблювальна операція – притирання. В багатьох випадках притирання сумісних деталей виконується на універсальних верстатах (свердлильних, токарних) ручним способом, де на якість обробки суттєво впливає суб'єктивний фактор. Сумісна обробка конічних поверхонь цих деталей відбувається із невеликою продуктивністю і не завжди виправляються похибки форми та зменшується шорсткість поверхонь.

Таким чином, дослідження закономірностей оздоблювальних операцій – хонінгування і притирання із подальшим їх удосконаленням є актуальною

проблемою, рішення якої дозволить забезпечити високу якість поверхонь виробів.

Об'єктом дослідження є корпус пневмоапарата кранового із конічним отвором, операція притирання технологічного процесу механічного оброблення корпусу.

Предметом дослідження є структура та параметри оздоблювального етапу обробки конічного отвору корпусу і сумісна його обробка із пробкою на операції притирання.

Мета дослідження. Метою дослідження є забезпечення герметичності пробкового з'єднання шляхом підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення корпусу через структурно-параметричну оптимізацію притиральної операцій.

Завдання дослідження. Розробити структуру хонінгувальної операції для видалення припуску з поверхні конічного отвору. Запропонувати притиральний верстат і пристрій для побудови кінематичних умов з метою забезпечення потрібної форми і шорсткості конічної поверхні корпусу. Надати рекомендації по режимам обробки конічній поверхні на операціях хонінгування і притирання.

Методи дослідження. Теоретичні і експериментальні дослідження базуються на основних наукових методах технології машинобудування.

Наукова новизна одержаних результатів. Одержані математичні залежності видалення металу від параметрів режиму різання при хонінгуванні і притиранні.

Практичне значення одержаних результатів. Визначені фактори, що впливають на продуктивність обробки конічних отворів притиранням. Визначені кінематичні фактори, які безпосередньо формують точність форми і шорсткість конічної поверхні отвору.

Особистий внесок автора. Розроблена хонінгувальна головка і верстатний пристрій для обробки конічної поверхні алмазними брусками. Визначені технологічні параметри, які впливають на точність форми і шорсткість конічної поверхні отвору при його притиранні.

Апробація результатів магістерської роботи. Немає.

Публікації. Тези доповідей за результатами досліджень подано до редакції Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (СумДУ, м. Суми) та будуть опубліковані у квітні 2025 р.

Структура і об'єм роботи. Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних посилань із 17 найменувань, 68 сторінок машинописного тексту, 20 рисунків, 12 таблиць, 11 додатків.

РОЗДІЛ 1
 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
 ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації

В нафтогазовому комплексі України застосовується пневмоапарат крановий, який встановлюється на трубопроводах для розподілення потоків газу до потрібних ємностей (див. рис. 1.1).

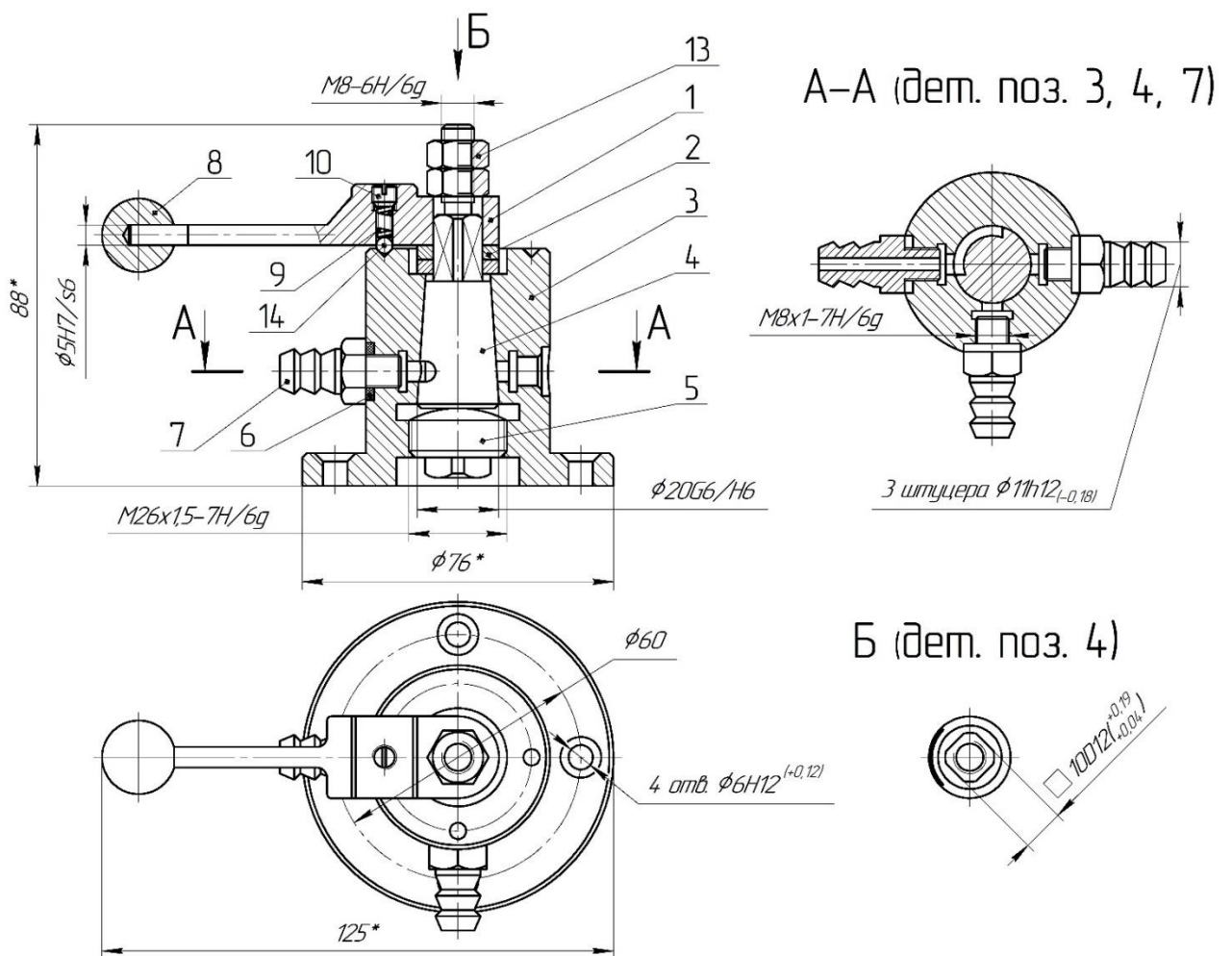


Рисунок 1.1 – Пневмоапарат крановий 12.000 СК

Пневмоапарат крановий передбачає змінювання подачі газу у трьох напрямках (див. рис.1.2).

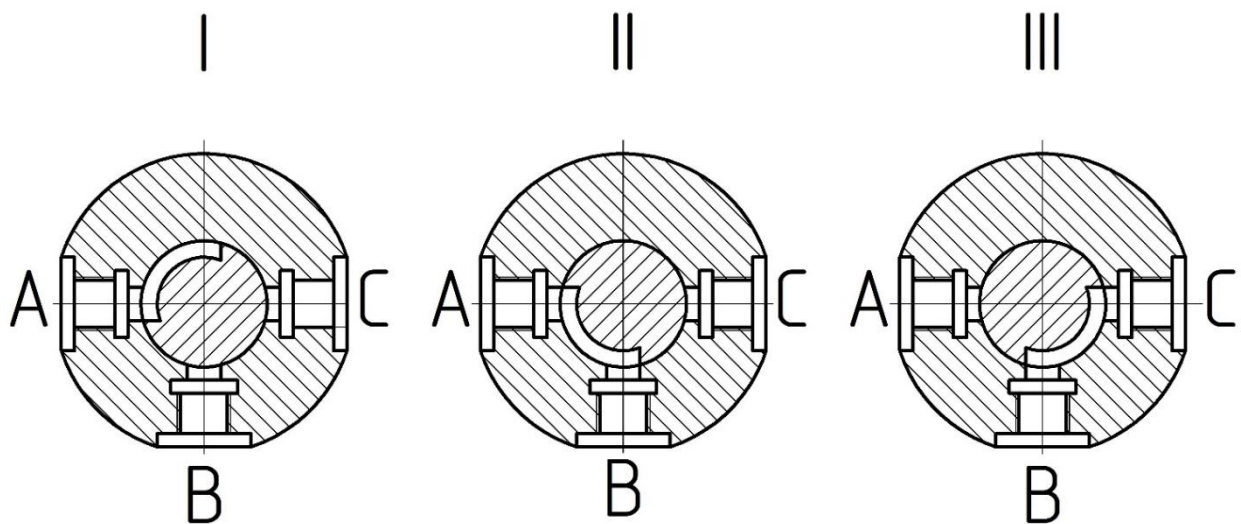


Рисунок 1.2 – Напрями подачі газу (А, В, С)

Сегментний виріз на конічній поверхні пробки 4 з'єднує одночасно тільки два отвори між собою і перекриває третє. Розташування пробки на позиції I перекриває всі три отвори (А, В, С). При обертанні рукоятки 1 пробка 4 займає позицію II і з'єднує отвори А і В, а отвір С залишається перекритий. При подальшому обертанні рукоятки в позицію III, отвір А перекривається, а з'єднуються два отвори В і С. Переміщення пробки в потрібні позиції виконується рукояткою, положення якої фіксується пружиною 9 і кулькою 14. Для цього у верхньому торці корпусу 3 зроблені три лунки в місцях кутового розташування отворів А, В, С.

При обертанні пробки в корпусі необхідно забезпечити відсутність проходження газу між конічними поверхнями пробки і корпусу. Для регулювання потрібного зазору між цими поверхнями застосовується спеціальна різьбова заглушка 5. Легкість повороту рукоятки 1 у потрібні положення забезпечується товщиною двох шайб 2. Рукоятка на пробки фіксується двома гайками 13. Для з'єднання трьох отворів корпусу із трубопроводами застосовуються штуцери 7, які ущільнені резиновими прокладками 6.

Таким чином, принцип роботи пневмоапарата кранового дозволив визначити службове призначення виробу. Якщо враховувати стан і властивості транспортуемого газу, можна сформулювати основну вимогу, яка дозволить

забезпечити потрібне службове призначення виробу: *«Забезпечити потрібну шорсткість і посадку конічних поверхонь пробки і корпусу в межах зазначеного строку служби виробу»*.

Основна вимога, яка визначена службовим призначенням виробу є герметичність конструкції – відсутність витoku газу за строк його експлуатації. Вимога герметичності реалізується конічними поверхнями корпусу і пробки.

Конструктор призначив високу точність розмірів, форму та низьку шорсткість поверхонь з'єднаних деталей, а для надійної роботи конічного з'єднання треба забезпечити потрібну посадку. Технічні вимоги для виготовлення пневмоапарата кранового наведені на кресленні виробу (див. додатки А і Б).

Розглянемо основне службове призначення корпусу пневмоапарата кранового (див. додаток В). У корпусі розташовується пробка, функція якої є з'єднання різних ємностей для подачі в них газу (див. рис. 1.3).

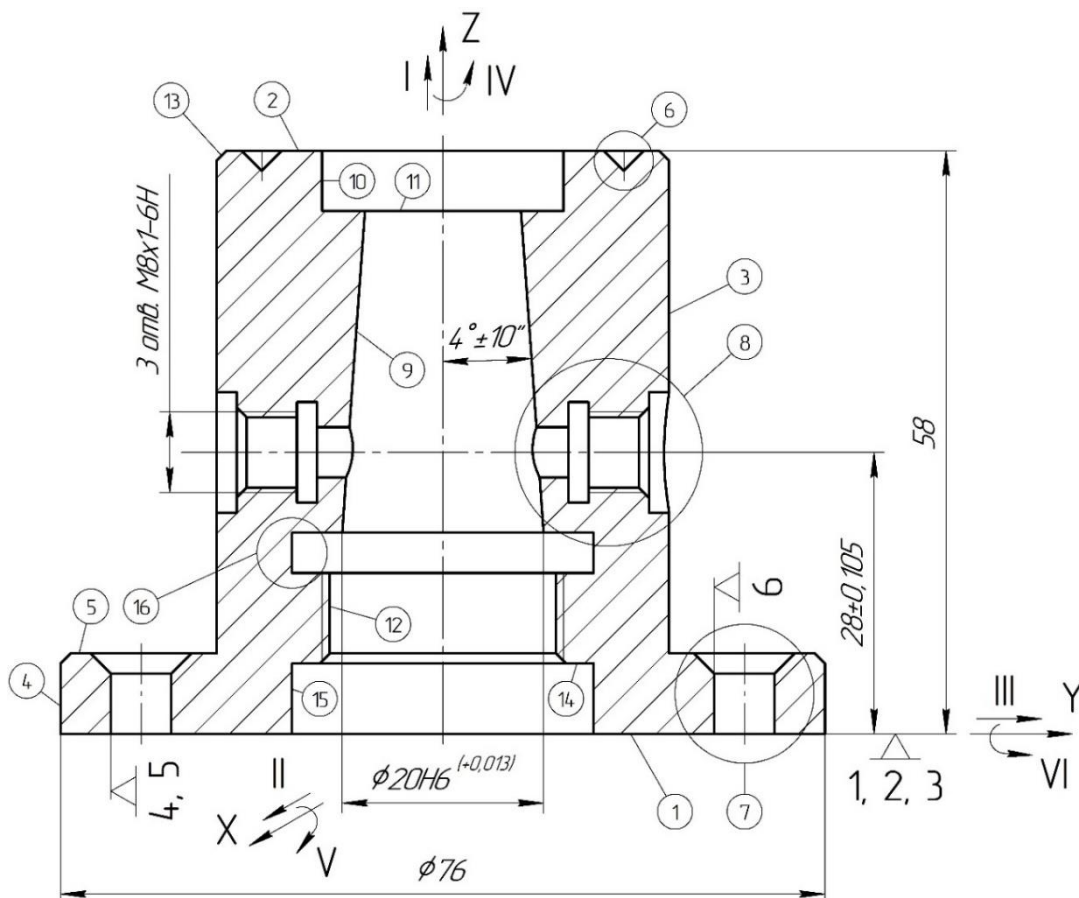


Рисунок 1.3 – Корпус із нумерацією поверхонь

Корпус торцем 1 та чотирма отворами 7 приєднується до плити або стояка гвинтами (на рисунку 1.1 не позначені). Ці поверхні визначають розташування корпусу на плиті або стояку і є основними конструкторськими базами (ОКБ).

За класифікацією баз [1] площина торця 1 є установчою базою (УБ) і позбавляє деталь трьох ступенів свободи (двох обертів навколо осей ОХ і ОУ та одного переміщення уздовж осі ОZ). Один із чотирьох отворів 7 виконує функцію подвійно-опорної бази (ПОБ), яка позбавляє деталь двох ступенів свободи (переміщень уздовж осей ОХ і ОУ). А ще один із отворів 7 позбавляє деталь шостого ступеня свободи (обертання навколо осі ОZ) і є опорною базою (ОБ).

Для виконання службових вимог деталь позбавлена всіх шести ступенів свободи. В таблицях 1.1 та 1.2 наведені найменування баз, зв'язки поверхонь, їх відповідність ступеням позбавлення свободи.

Таблиця 1.1 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступінь свободи	Найменування бази та характер її проявлення
1, 2, 3	I, V, VI	УБ, явна
4, 5	II, III	ПОБ, явна
6	IV	ОБ, явна

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків

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

Поверхня 9 є виконавчою поверхнею (ВП) і виконує основне службове призначення деталі – обертає пробку уздовж своєї осі. Три поверхні 6 також є ВП. Вони визначають потрібний кут повороту пробки з метою з'єднання двох і

трьох отворів 8 для подачі газу. Три отвори 8 також виконують функцію ВП – пропускають через свої поверхні із потрібним об'ємом і швидкістю газ.

Поверхня 9 корпусу визначає потрібне розташування пробки (приєднаної деталі), визначає її розташування у вибраній системі координат. Тому, ця поверхня є також допоміжною конструкторською базою (ДКБ). Три отвори 8 у яких є різьба, визначають розташування трьох штуцерів (див. рис. 1.1, позиція 7) і також є ДКБ.

Функцію ДКБ виконують три отвори 6, коли в них знаходиться кулька (див. рис. 1.1, позиція 14). ДКБ є також поверхня 12, різьба якої орієнтує різьбову заглушку 5, що підтримує потрібне положення пробки (див. рис. 1.1, позиція 4). Отже, поверхні корпусу 6, 8, 12 визначають розташування приєднаних до них деталей і є ДКБ. Інші поверхні корпусу є вільними поверхнями (СП) і визначають контур та жорсткість конструкції деталі.

Аналіз ОКБ і ДКБ показав, що вони є потрібними для реалізації деталлю свого службового призначення безпосередньо. До цих поверхонь конструктор призначив підвищені вимоги, щодо точності їх виготовлення.

Аналіз всіх поверхонь корпусу дає підставу пред'явити до них відповідні вимоги, щодо точності та шорсткості, і призначити відповідні технологічні методи їх оброблення.

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

Технічні вимоги креслення корпусу 12.003 призначені конструктором обґрунтовано і дозволяють виконати своє службове призначення безпосередньо. Матеріалом деталі призначений чавун марки СЧ24 ГОСТ 1412-89. Хімічний склад і основні механічні властивості чавуну наведені в таблицях 1.3 і 1.4 [2].

Таблиця 1.3 – Хімічні властивості чавуну СЧ24 ГОСТ 1412-89, в процентах

Марка чавуну	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
СЧ24 ГОСТ 1412-89	2,9–3,2	1,2–1,6	0,8–1,2	Не більше			
				0,2	0,15	0,3	0,5

Таблиця 1.4 – Механічні властивості чавуну СЧ24 ГОСТ 1412-89

Марка чавуну	σ_B , МПа	σ_H , МПа	НВ
СЧ24 ГОСТ 1412-89	240	440	170–241

Більшість розмірів деталі виконано за квалітетом точності «середній» (для отворів $+t$, валів $-t$, інших $\pm t/2$). Зазначені розміри не впливають на функціональну спроможність корпусу у виробі.

Аналізом визначена основна (виконавча) поверхня деталі, яка безпосередньо впливає на роботу виробу. Поверхня Б конусом $4^\circ \pm 10''$ із отвором $\varnothing 20H6$ мм виконана під посадку з пробкою із мінімальним зазором 0,005 мм. Наведена посадка потрібна для герметичності з'єднання конічних поверхонь корпусу і пробки з метою виключення витікання стислого газу.

Шорсткість конічної поверхні Б становить $R_a = 0,4$ мкм. Діаметр конічної поверхні за вимогами креслення має відхилення від круглості та циліндричності не більше 0,005 мм. Для виконання цих вимог в технологічний процес обробки конічного отвору корпусу введена операція притирання разом із конічною поверхнею обертової пробки, яка є сполученою деталлю. Після притирання шорсткість знизиться і буде становити $R_a = 0,04-0,16$ мкм. Ця вимога потрібна для безвідмовної роботи виробу і є його основним службовим призначенням.

Три ступінчасті отвори $M8 \times 1-6H$ передбачені для підведення (відведення) газу в трубопроводі. Три отвори $\varnothing 4$ мм глибиною 2 мм, центри яких розташовані на $\varnothing 36$ мм (допуск залежний), призначені для фіксації кутового розташування пробки при з'єднанні відповідних трубопроводів.

Чотири отвори $\varnothing 6H12$ мм визначають потрібне розташування корпусу у місці його встановлення в мережі газорозподільного комплексу.

Однією із вимог службового призначення пневмоапарата кранового є його іспит під тиском стислого газу 5 МПа не менше 10 хвилин. Схема вимоги зазначена на кресленні виробу 12.000 СК і потрібна для виключення витoku газу із місць з'єднання корпусу із штуцерами трубопроводів.

Аналізом не виявлено відхилень технічних вимог креслення корпусу від діючих державних і міжнародних стандартів.

Маса деталі становить 0,72 кг, габаритні розміри – Ø76×58 мм.

1.3 Характеристика типу та організації форми виробництва

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій K_{30} [3]. Вихідними даними для розрахунку коефіцієнта є існуючий технологічний процес виготовлення корпусу, норми штучно-калькуляційного часу $T_{ш-к}$ за всіма операціями та річний випуск виробів $N = 1500$ шт. Вихідні та розраховані дані наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операції

Номер операції	Найменування операції	$T_{ш-к}$, хв	m_p	P	$\eta_{з.ср.}$	O
015	Токарна з ЧПК	14,63	0,1135	1	0,1135	7,05
020	Свердлильна з ЧПК	4,76	0,0369	1	0,0369	21,68
025	Розточувальна з ЧПК	3,45	0,0268	1	0,0268	29,85
030	Внутрішньошліфувальна	11,7	0,0907	1	0,0907	8,82
035	Вертикально-свердлильна (притиральна)	34,2	0,2653	1	0,2653	3,02
	Всього	68,74	–	5	–	70,42

Визначення типу виробництва.

Кількість верстатів по окремим операціям визначається за формулою [3]:

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

де $N = 1500$ шт – річна програма виготовлення виробів;

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

$\eta_{з.н.ср.} = 0,8$ – середнє значення нормованого коефіцієнта завантаження обладнання (на цьому етапі тип виробництва ще не визначений).

Приймаємо цілу кількість робочих місць P та округляємо їх до найближчого цілого значення m_p .

Фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця визначається за формулою

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}.$$

Кількість операцій, що виконуються на робочому місці визначається за формулою

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

Результати розрахунків наведені в таблиці 3.1, де визначені сумарні показники $T_{ш-к}$; P ; O .

Коефіцієнт закріплення операцій визначається за формулою:

$$K_{зо} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{70,42}{5} = 14,1.$$

Згідно ГОСТ 14.004-83, якщо $10 < K_{зо} = 14,1 \leq 20$, то це відповідає середньосерійному виробництву [1].

Визначення форми організації виробництва.

Випуск N_d деталей за добу:

$$N_d = \frac{N}{254} = \frac{1500}{254} = 6 \text{ шт},$$

де 254 – кількість робочих днів за рік.

Продуктивність Q потокової стрічки за сутки при її завантаженні на 60%:

$$Q = \frac{F_{сут} \cdot 0,6}{T_{ср}} = \frac{952 \cdot 0,6}{13,748} = 42 \text{ шт},$$

де $F_c = \frac{F_d \cdot 60}{254} = \frac{4029 \cdot 60}{254} = 952 \text{ хв}$ – фонд часу роботи обладнання при режимі роботи у дві зміни;

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_{\text{ш-к}}}{n_p} = \frac{68,74}{5} = 13,748 \text{ хв} - \text{середня трудомісткість основних}$$

механічних операцій;

$n_p = 5$ – кількість основних механічних операцій технологічного процесу.

Якщо $N_{\text{сут}} = 6 \text{ шт} < Q = 42 \text{ шт}$, то застосування одно номенклатурної стрічки є недоцільним і тому приймаємо групову форму організації виробництва [1]. Вироби запускаються у виробництво із визначеною періодичністю, що є ознакою середньосерійного виробництва.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску можна визначити спрощеним способом:

$$N_{\text{п}} = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{1500 \cdot 12}{254} = 71 \text{ шт},$$

де $a = 12$ дня – періодичність запуску деталей у виробництво.

Розмір партії корегуємо за рахунок кількості змін C на обробку всієї партії:

$$C = \frac{T_{\text{ср}} \cdot N_{\text{п}}}{F_{\text{см}} \cdot \eta_{\text{з.н.}}} = \frac{13,748 \cdot 71}{476 \cdot 0,9} = 2,28,$$

де $F_{\text{см}} = \frac{F_{\text{сут}}}{\nu} = \frac{952}{2} = 476 \text{ хв}$ – фонд часу роботи обладнання за одну зміну;

$\nu = 2$ – кількість змін;

$\eta_{\text{з.н.}} = 0,8 - 0,9$ – нормований коефіцієнт завантаження верстатів у середньосерійному виробництві [3].

Кількість змін округляємо до найближчого значення $C_{\text{п}} = 2$. Тоді кількість деталей в партії:

$$N_{\text{п}} = \frac{F_{\text{см}} \cdot C_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{з.н.}}}{T_{\text{ср}}} = \frac{476 \cdot 2 \cdot 0,9}{13,748} = 63 \text{ шт}.$$

Основна характеристика середньосерійного типу виробництва із груповою формою організації згідно [3].

У середньосерійному виробництві використовується спеціальне і частково універсальне обладнання. Широко застосовуються верстати з ЧПК. Верстати розташовані за технологічними групами із урахуванням напрямку основних вантажних потоків цеху по предметно-замкнутим ділянкам. Застосовується універсально-збірне, періодично налагоджувальне технологічне оснащення.

Основний типаж різального інструменту – універсальний і спеціальний. Вимірювальний інструмент – калібри, спеціальний вимірювальний інструмент.

Вихідними заготовками є виливки в кокіль, лиття під тиском, точне лиття, поковки і точні штамповки. Потрібна точність розмірів досягається методом автоматичного отримання розмірів на попередньо налагоджувальному верстаті.

Кваліфікація основних робочих не висока. Технологічна документація, нормування операцій розробляється на весь технологічний процес обробки заготовок. У середньосерійному виробництві технологічний процес диференційований – розчленований на операції, які закріплені за окремими верстатами.

Середньосерійне виробництво значно економніше, ніж одиничне, тому що краще використовується технологічне устаткування, спеціалізація робочих місць, що збільшує продуктивність праці і зменшує собівартість виготовленої продукції.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінювання технологічності конструкції корпусу виконано за якісними показниками. Матеріал заготовки – чавун СЧ24 ГОСТ 1412-89, деталь отримана методом лиття. Виливка немає складного рельєфу контуру поверхонь, не потребує підвищеної трудомісткості виготовлення і за цим показником деталь можна вважати технологічною.

Конструкція деталі містить поверхні $\varnothing 76$ мм, $\varnothing 45$ мм, які не потребують механічної обробки, що зменшує трудомісткість механічних операцій та її металоємкість. Конструкція таких поверхонь є технологічною.

Складність виникає при виконанні трьох канавок $\varnothing 14 \times 2$ мм, які розточуються під нарізання різьби М8 \times 1-7Н. Це потребує використання спеціального розточувального різця та оправки на якій він розташовується. Наведену конструкцію канавок можна вважати відносно нетехнологічною.

Нетехнологічним елементом при виготовленні є конструкція чотирьох фасок $2 \times 45^\circ$ під головки гвинтів. Фаски розташовані зі сторони ступені деталі

Ø45 мм і довжиною 50 мм. Також відстань від осей отворів Ø6H12 мм становить 11 мм, що утруднює роботу мірного інструменту (свердла і зенківки). Інструмент треба зробити спеціальним і подовженим, що впливає на жорсткість технологічної системи.

Можливий інший варіант обробки, який пов'язаний із переустановленням конічної зенківки для обробки фаски 2×45° мм. Але це потребує переривання процесу обробки і переналагоджування інструмента, що робить процес обробки на верстаті з ЧПК недоцільним.

Запропонована конструкція конічного отвору (поверхня Б) пов'язана із роботою і службовим призначенням виробу. Для обробки конічного отвору треба застосувати конічні зенкери і розвертки, які треба проєктувати. Підвищена точність розміру, форма поверхні (циліндричність і круглість не більше 0,005 мм), шорсткість $R_a = 0,4$ мкм, а також її зменшення до $R_a = 0,04-0,16$ мкм при обробки притиранням, значно збільшує трудомісткість її виготовлення. Тому, конструкцію конічної поверхні отвору можна вважати нетехнологічною.

Свердління трьох отворів Ø4 мм на глибину 2 мм не має проблем із трудомісткістю їх виготовлення, що робить цю частину конструкції деталі технологічною.

Інші поверхні деталі (отвори Ø30×7 мм, Ø24×6 мм, різьба M8×1-7H, фаски 1×45°) оброблюються на токарній і свердлильній операціях без суттєвих проблем і тому їх конструкція є технологічною.

Таким чином, можна вважати конструкцію корпусу відносно технологічною.

1.5 Аналіз операцій існуючого технологічного процесу обробки корпусу

Операція 005. Лиття металів і сплавів. Заготовка корпусу на операції одержана литтям в піщано-глинясті форми згідно ГОСТ 26645-85. Маса заготовки становить 1,1 кг (див. рис. 1.4).

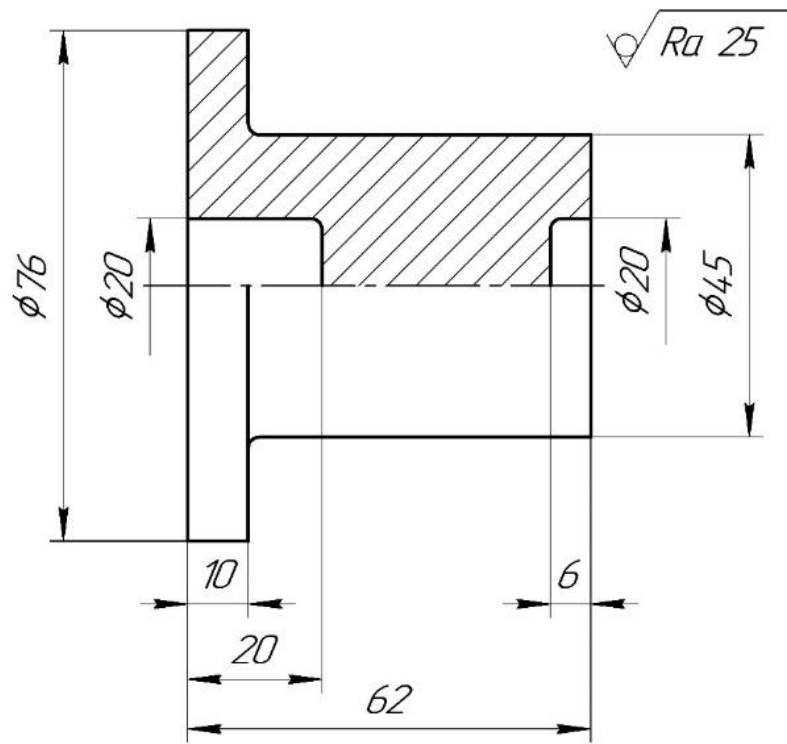


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки на операції 005

Операція 010. Термічна обробка. Під час лиття заготовки в структурі матеріалу корпусу виникають напруження I, II, III роду, що призводить до його жолоблення. Для зняття напружень застосовується штучне старіння – низькотемпературне відпалювання. Заготовку нагрівають в печі до температури 520-650 °С і витримують не менше трьох годин. Зазначений режим старіння знижує остаточні напруження на 60–70% [4].

Операція 015. Токарна з ЧПК. Операція виконується на токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК моделі 16Б16Т1. Структура операції складається із двох установів А і Б та 15-и технологічних переходів (див. рис. 1.5).

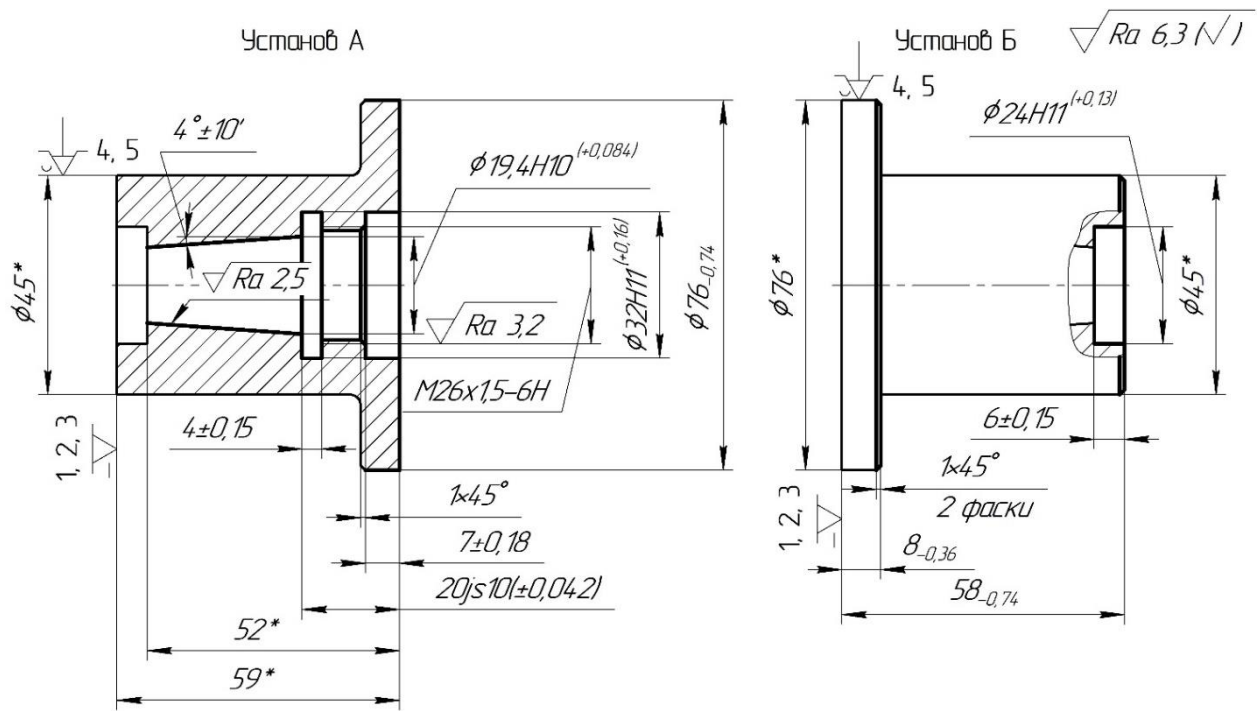


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки на операції 015

На установі А операції точиться торець $\phi 76/\phi 32H11$, $\phi 76(0; -0,74)$ мм на прохід, розточується отвір $\phi 32H11$ мм на довжину $7 \pm 0,18$ мм, розточується отвір під різьбу $M26 \times 1,5-6H$, розточується канавка $\phi 32$ мм шириною $4 \pm 0,15$ мм і витримується розмір $20js10(\pm 0,042)$ мм. Потім точиться фаска $1 \times 45^\circ$ і нарізається різьба $M26 \times 1,5-6H$ (чорновий і чистовий ходи різця). На останніх переходах зенкерується та розгортується конічний отвір з кутом $4^\circ \pm 10'$ на довжині 32 мм і формується розмір $\phi 19,8H7$ мм.

На установі Б операції підрізаються торці $\phi 45/\phi 24H11$ та $\phi 76/\phi 45$, розточується отвір $\phi 24H11$ мм на довжину $6 \pm 0,15$ мм, точаться дві фаски $1 \times 45^\circ$.

Операція 020. Свердлильна з ЧПК. Обробка заготовки виконується на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК моделі 2P135Ф2-1 (див. рис. 1.6). Операція складається із одного установка і 11-и технологічних переходів.

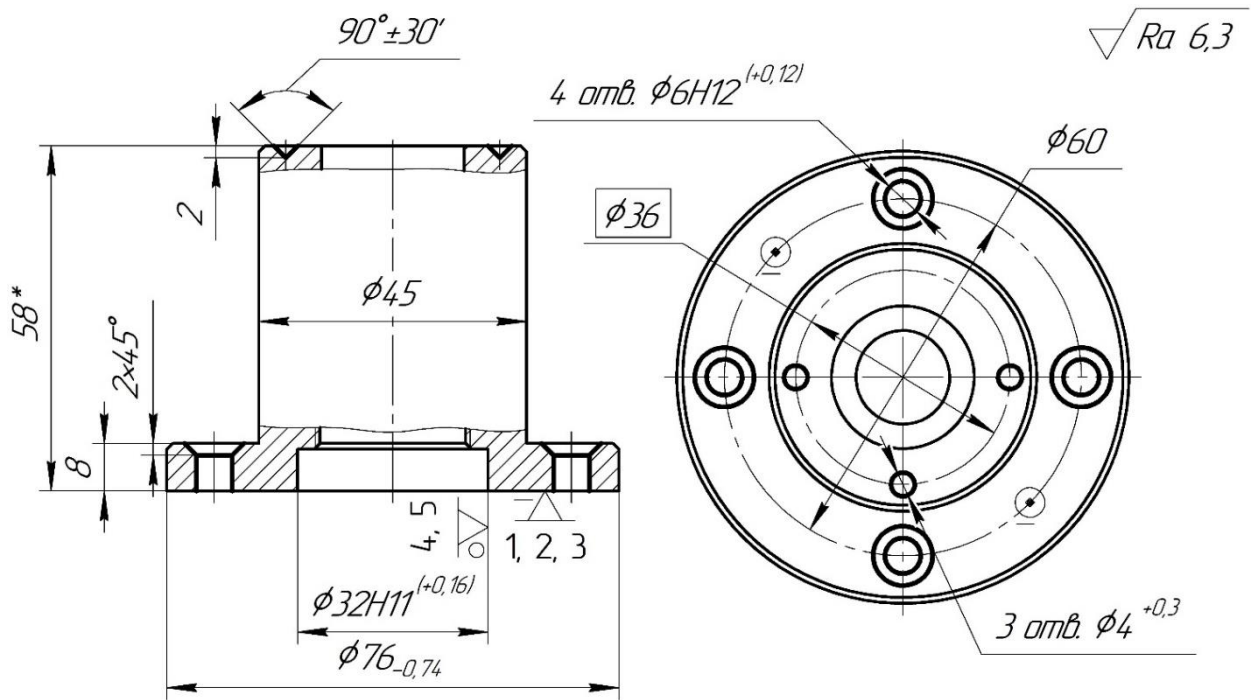


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки на операції 020

Заготовка базується по торцю $\varnothing 76/\varnothing 32H11$ і діаметру $\varnothing 32H11$ мм на довжині 5 мм. На операції спочатку свердяться чотири отвори $\varnothing 6H12$ мм «на прохід» і зенкуються фаски $2 \times 45^\circ$. Потім спеціальним свердлом із кутом $90^\circ \pm 30'$ свердяться три отвори $\varnothing 4$ мм глибиною 2 мм. На операції витримуються вимоги, щодо розташування центрів отворів на $\varnothing 60$ мм і $\varnothing 36$ мм та їх кутова відстань за вимогами креслення.

Операція 025. Розточувальна з ЧПК. Операція виконується на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК моделі 6902ПМФ2 (див. рис. 1.7).

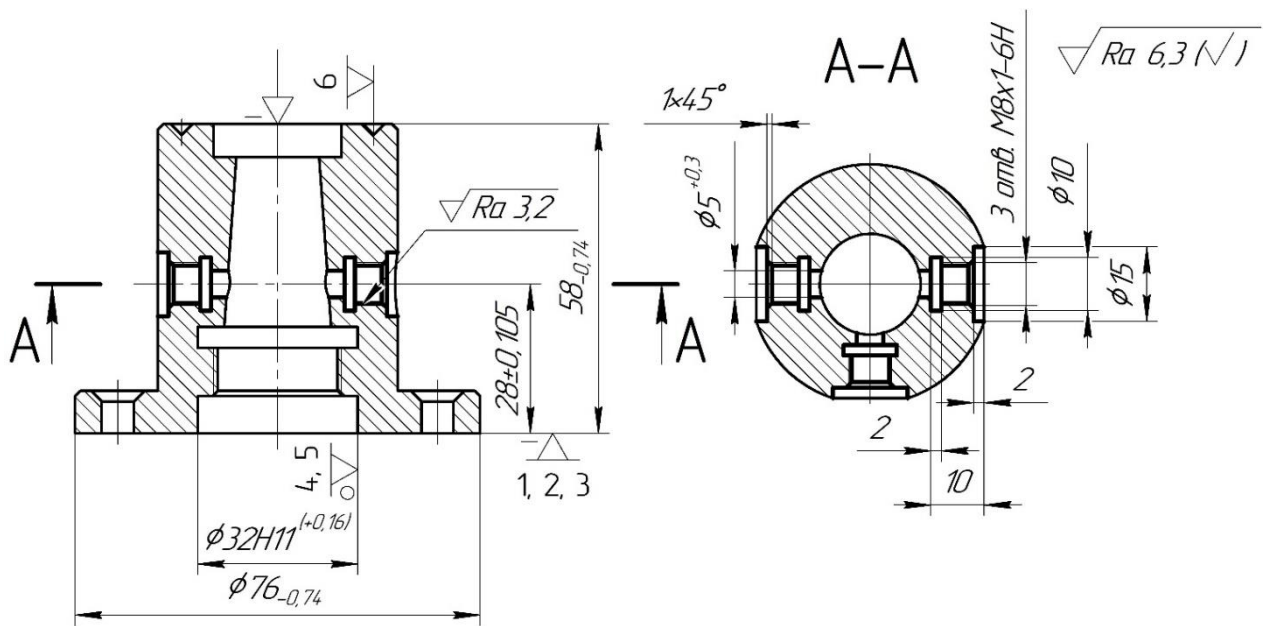


Рисунок 1.7 – Ескіз заготовки на операції 025

Структура операції складається і одного установка, трьох позицій, 21-го технологічного переходу. На кожній із трьох позицій оброблюється наскрізний різьбовий ступінчастий отвір М8×1-6Н.

Заготовка установлюється спеціальний пристрій і базується по торцю $\phi 76/\phi 32H11$, внутрішній поверхні $\phi 32H11$ мм на довжині 5 мм, одному із трьох отворів $\phi 4$ мм довжиною 2 мм. Обробка кожного різьбового отвору складається із наступних технологічних переходів:

- фрезерування поверхні «лиски» на $\phi 45$ мм;
- свердління отвору $\phi 5$ мм на прохід;
- зенкування циліндричною зенківкою $\phi 15 \times 2$ мм;
- розточування канавки $\phi 10 \times 2$ мм на відстані 10 мм;
- зенкування фаски $1 \times 45^\circ$ під різьбу;
- нарізання різьби чорновим і чистовим мітчиками М8×1-6Н.

Операція 030. Внутрішньошліфувальна. Операція виконується на внутрішньошліфувальному верстаті моделі 3К225В (див. рис. 1.8). Структура операції складається із одного установка і одного технологічного переходу.

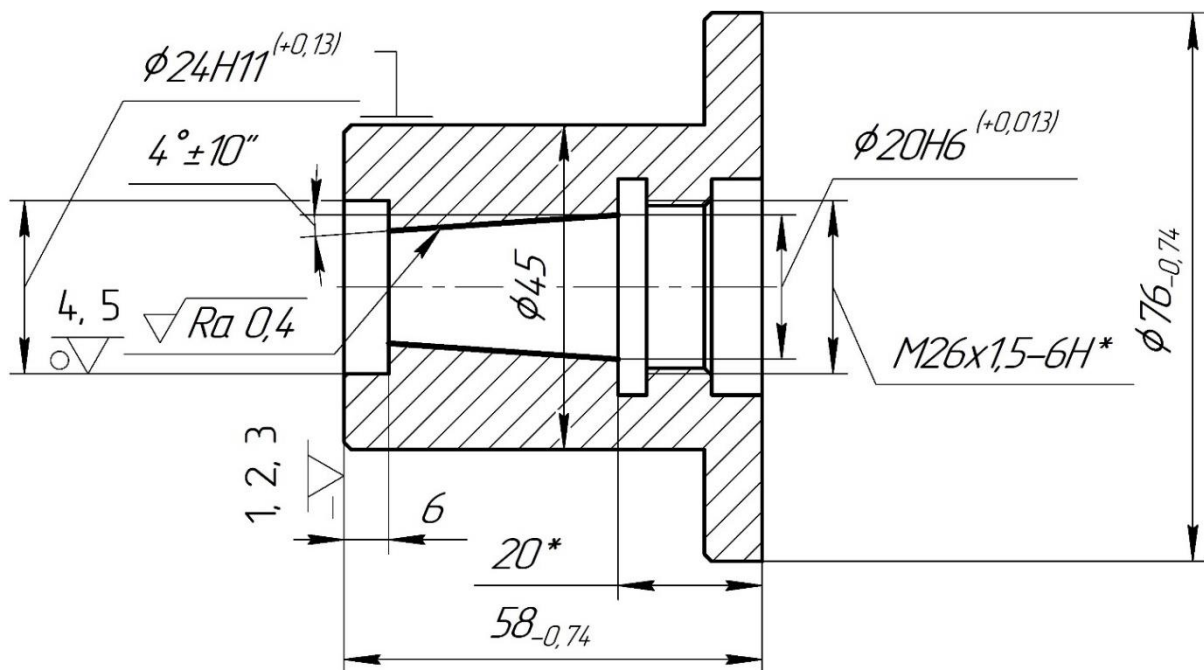


Рисунок 1.8 – Ескіз заготовки на операції 030

На операції шліфується конічний отвір довжиною 32 мм, у якого початковий розмір $\phi 20H6(+0,013; 0)$ мм і кут нахилу напрямної до осі заготовки $4^\circ \pm 10''$. На операції витримуються точність зазначених розмірів, форма конічної поверхні (круглість, прямолінійність), шорсткість $R_a = 0,4$ мкм.

Заготовка установлюється на оправку, базується поверхнями торця $\phi 45/\phi 24H11$ і отвору $\phi 24H11$ мм, закріплюється двома кулачками повідкового патрона. Шліфувальний круг типу ПП 13x20x4 ГОСТ 2424-88 з характеристикою 63С16С2К6 35м/с А 1кл. ГОСТ 2424-88 розташовується в шпинделі шліфувальної бабки, яка повернута на кут $4^\circ \pm 10''$ відносно осі заготовки.

Шліфуванням забезпечується точність розміру $\phi 20H6(+0,013; 0)$ мм, кут нахилу напрямної конічного отвору $4^\circ \pm 10''$, шорсткість поверхні $R_a = 0,4$ мкм.

За даними виробництва допуски форми поверхні отвору в багатьох випадках не забезпечується, що пов'язано із недоскональними режимами різання, кінематикою процесу, характеристикою шліфувального круга. Також, значний час втрачається на налагодження операції, що значно збільшує собівартість виготовлення корпусу.

Операція 035. Вертикально-свердлильна. Операція виконується на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н125Л (див. рис. 1.9). Цей верстат застосовується для притирання конічного отвору корпусу з метою забезпечення мінімальних кутових допусків конічних поверхонь корпусу і пробки, 100% фактичне притиснення притертих поверхонь, герметичність пробкового з'єднання.

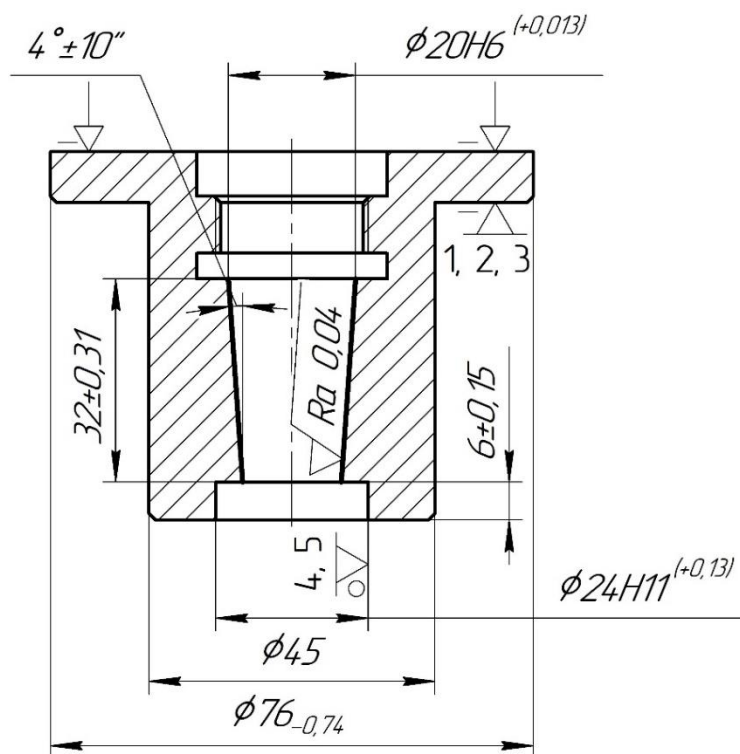


Рисунок 1.9 – Ескіз заготовки на операції 035

Заготовка установлюється на стіл верстата, базується по торцю $\varnothing 76/\varnothing 45$ і отвору $\varnothing 24H11$ мм і закріплюється двома затискачами. В шпindelь свердлильного верстата вставляється спеціальний конічний притир, форма якого співпадає із формою сполученої деталі (пробки). Притир отримує задану кількість обертів, а подача уздовж осі корпусу виконується ручним способом верстатником високої кваліфікації. Між поверхнями притира і отвором корпусу застосовують притиральну пасту марки «ДОІ» [5]. Притирання відбувається «тонкою» пастою із величиною зерна 7 мкм. Товщина зрізаного шару матеріалу

заготовки видаляється приблизно за сімдесят зворотно-поступальних рухів притира.

Процес притирання за часом є довгим і залежить від суб'єктивного фактору – професії верстатника. Притирання на свердлильному або токарному верстатах використовується в одиничному і дрібносерійному виробництвах.

Операція 040. Промивання. В спеціальній ванні виконується очищення заготовки від металевого шламу і бруду.

Операція 045. Технічний контроль. На операції виконується 100% контроль кінцевого отвору за вимогами креслення. Для вимірювання розмірів кінцевого отвору застосовується кінчна калібр-пробка гладка згідно ГОСТ 14810-69. Контролю підлягали точність форми (допуски круглості, поздовжнього перетину, прямолінійності). Для вимірювання шорсткості ($R_a = 0,4$ мкм) використовувався профілометр-профілограф моделі 240 (цеховий варіант).

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

1. Оздоблювальну обробку пробки необхідно виконувати методом, щоб температурний фактор не впливав на якісні показники поверхневого шару деталі. Тому із технологічного процесу треба виключити операцію шліфування і замінити її оздоблювальною операцією – хонінгування абразивними або алмазними брусками. Обробка поверхонь абразивними або алмазними брусками виконується із температурним фактором, який не перевищує 70 °С. Зазначений спосіб забезпечить шорсткість поверхонь $R_a = 0,16-0,4$ мкм.

2. Оздоблювальну обробку отвору корпусу пропонується виконувати спеціальною хонінгувальною головкою. Конструкція хонінгувальної головки передбачає її вільне установлення на поверхні отвору. При обробки хонінгувальна головка повинна виправляти похибки форми в поперечному і поздовжньому перетинах отвору, які залишаються від попередньої операції чистового розточування лезовим інструментом.

3. При хонінгуванні треба враховувати точність розмірів конструкції отвору корпусу з метою забезпечення точності форми конічної поверхні деталі та її шорсткість за вимогами креслення.

4. Умовою забезпечення герметичності з'єднання корпусу і пробки є введення в технологічний процес операції взаємного притирання їх конічних поверхонь. При обробці взаємним притиранням треба передбачити найбільш сприятливі умови притирання. Пропонується для сумісної обробки корпусу і пробки застосувати вібраційне притирання за методом об'ємного контакту. Притирання за методом об'ємного контакту дозволить стабілізувати ударні навантаження в зоні контакту поверхонь що притираються, зменшити виробничий шум та їх динамічні дії. Періодичний відрив і прижим поверхонь, що притираються за визначеним законом, дозволить побудувати умови для відбудови рівномірного абразивного шару та зменшить імовірність безпосереднього контакту цих поверхонь.

Таким чином, запропонована послідовність операцій оздоблювальної обробки та специфічна кінематика способів обробки абразивним інструментом, дозволить забезпечити потрібну герметичність пробкового з'єднання.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання технологічного маршруту виготовлення корпусу

Конструкція корпусу складається із циліндричних, площинних, конічних, різьбових поверхонь та їх сполучень. Для оброблення наведених поверхонь із різними квалітетами точності, формами, шорсткістю, їх взаємного розташування, застосовуються методи точіння, свердління, зенкування, розвертання, фрезерування, нарізання різьби, шліфування, притирання. В таблиці 2.1 порівнюються технологічний процес (ТП) виготовлення корпусу на підприємстві із запропонованим.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця ТП оброблення корпусу

Номер операції	Технологічний процес на підприємстві	Верстат (модель)	Запропонований технологічний процес	Верстат (модель)
005	Лиття металів і сплавів	–	Лиття металів і сплавів	Кокіль
010	Термічна обробка	Піч	Термічна обробка	Піч
015	Токарна з ЧПК	16Б16Т1	Токарна з ЧПК	Turnstar 120
020	Свердлильна з ЧПК	2Р135Ф2-1	Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК	X.mill 640
025	Розточувальна з ЧПК	6902ПМФ2	Хонінгувальна	3821
030	Внутрішньошліфувальна	3К225В	Притиральна	СК4000
035	Вертикально-свердлильна	2Н125Л	Промивання	Ванна
040	Промивання	Ванна	Технічний контроль	Стіл ВТК
045	Технічний контроль	Стіл ВТК	–	–

Обґрунтування запропонованого ТП виготовлення корпусу та окремих його операцій наведено в наступних розділах пояснювальної записки. На технологічні операції 015 і 025 виготовлення корпусу розроблені їх структури,

запропоновані верстати, верстані пристрої, різальний і вимірювальний інструменти, розраховані режими різання та норми часу (див. додаток Д).

2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної деталі

Корпус виготовляється із чавуну марки СЧ24 ГОСТ 1412-89 способом лиття. У середньосерійному виробництві економічно доцільно виготовляти заготовки литтям в кокіль [4]. За даними джерел [3, 4] виливки масою до 10 тон складної форми вигідно виготовляти наведеним способом. Тому, розрахунок варіантів способів отримання заготовок зводиться до розрахунку вартості заготовки виготовленої литтям в кокіль.

Вартість однієї заготовки визначається за формулою:

$$S_3 = m_3 \cdot C_{03} \left(1 + \frac{\alpha}{100\%} \right) - (m_3 - m_d) \cdot C_{вт},$$

де S_3 – вартість заготовки, грн.;

$m_3 = 0,8$ кг – вага заготовки;

C_{03} – оптова ціна 1-го кг заготовки, грн.;

$\alpha = 5...7\%$ – транспортно-заготівельні витрати (приймаємо 7%);

$m_d = 0,72$ кг – вага деталі;

$C_{вт} = 2$ грн. – ціна 1-го кг відходів [3].

Оптову ціну C_{03} заготовки можна визначити за формулою [3]:

$$C_{03} = \frac{C_в}{1000} \cdot K_м \cdot K_{сл} \cdot K_в \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100\%} \right),$$

де $C_в = 9500$ грн. – вихідна, оптова ціна тони заготовки;

$K_м = 0,86$ – коефіцієнт, що враховує вагу заготовки;

$K_{сл} = 0,82$ – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

$K_в = 1,15$ – коефіцієнт, що враховує тип виробництва;

$\beta = 8\%$ – показник, який характеризує точність заготовки.

$$C_{03} = \frac{9500}{1000} \cdot 0,86 \cdot 0,82 \cdot 1,15 \cdot \left(1 + \frac{8\%}{100\%} \right) = 8,32 \text{ грн.}$$

$$S_3 = 0,8 \cdot 8,32 \cdot \left(1 + \frac{7\%}{100\%}\right) - (0,8 - 0,72) \cdot 2 = 7 \text{ грн.}$$

Вартість річної партії заготовок визначиться за формулою:

$$S_3^0 = S_3 \cdot N = 7 \cdot 1500 = 10500 \text{ грн.}$$

Розроблення креслення вилivanoї заготовки згідно ДСТУ 8981:2020 [6].

1. Спосіб одержання заготовки із чавуну ГОСТ 1412-89 – лиття в кокіль.
2. Бази для першої операції механічної обробки (див. креслення «Корпус 12.003. Виливка»).
3. Розташування виливки в формі за лінією площини рознімання (бік) (див. креслення «Корпус 12.003. Виливка»).
4. Клас розмірної точності виливки 6–10. Приймаємо 8.
5. Ступінь жолоблення виливки 2–5. Приймаємо 5.
6. Ступінь точності поверхонь 7–11. Приймаємо 9.
7. Шорсткість поверхонь виливки за критерієм R_a мкм із 9-ою ступеню точності поверхонь. Приймаємо $R_a = 12,5$ мкм.
8. Клас точності мас 5Т–11 залежно від способу одержання виливки. Приймаємо 8.
9. Допуск зміщення виливки за площиною рознімання виливки, яка виходить на лінію рознімання 1,0 мм.
10. Ряд припусків 3–6. Приймаємо 4 – для сірого чавуну, 6 – для верхньої поверхні при литті металу.
11. Позначимо оброблені поверхні виливки цифрами 1, ..., n (див. рис. 1.1).
Точність виливки 8–5–9–8 Зм.1,0 ГОСТ 26645–85.
12. Розраховані розміри заготовки (виливки) занесемо до таблиці 2.2 і розробимо креслення заготовки (див. додаток Е).
13. Технічні вимоги для виготовлення заготовки наведені на кресленні.

Таблиця 2.2 – Визначення розмірів заготовки [5], в міліметрах

Номер поверх-ні	Номінальний розмір елемента деталі	Допуск розміру	Допуск форми і розташування елементів виливки	Загальний допуск	Вид механічної обробки	Половина загального допуску	Ряд припусків	Величина припуску (на сторону)	Остаточний розмір елемента заготовки
Рис. 1.1		Табл. 1	Табл. 2	Табл. 16	Табл. 7	П. 4.2.1	Табл. 14	Табл. 6	
1, 2	58h14(0; -0,74)	1,2	0,32	1,2	Чорновий	0,6	4	0,9 / 0,9	60±0,6
3, 2	8h14(0; -0,36)	0,8	0,32	0,9	Чорновий	0,45	4	0,8 / 0,8	10±0,4
1, 9	6js12±0,06	0,7	0,32	0,9	Чорновий	0,45	4	0,8 / 0,8	6±0,35
10, 2	20js10±0,042	1,0	0,32	1,1	Чистовий	0,55	4	1,1 / 1,1	20±0,5
11, 2	7js14±0,215	0,8	0,32	0,9	Чорновий	0,45	4	0,8 / 0,8	7±0,4
6	Ø20H6(+0,013; 0)	1,0	0,32	1,1	Тонкий	0,55	4	1,2	Ø17±0,5
12	Ø24H12(+0,21; 0)	1,0	0,32	1,1	Чорновий	0,55	4	0,8	Ø22±0,5
7	Ø24H6(+0,013; 0)	1,0	0,32	1,1	Чистовий	0,55	4	1,2	Ø21±0,5
8	Ø30H14(+0,52; 0)	1,1	0,32	1,2	Чорновий	0,6	4	0,9	Ø28±0,55
5	Ø45h16(0; -1,6)	1,2	0,32	1,2	Чорновий	0,6	4	0,9	Ø45±0,6
4	Ø76h16(0; -1,9)	1,4	0,32	1,2	Чорновий	0,6	4	0,9	Ø76±0,7

2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання

Розрахунок припусків на обробку і проміжні граничні розміри виконується для конічного отвору $\varnothing 20H6(+0,013; 0)$ мм і шорсткістю $R_a = 0,4$ мкм.

Вихідні дані: виливка 8–5–9–8 Зм. 0,32 ГОСТ 26645–85 в кокіль, вага деталі 0,72 кг, вага заготовки 1,1 кг.

1. Для заготовки $R_{zi-1} + H_{i-1} = 200 + 300$ мкм; для зенкерування – $R_{zi-1} = 50$ мкм і $H_{i-1} = 50$ мкм [3]. Після першого технологічного переходу дефектний шар H_{i-1} для чавунних заготовок із розрахунків виключається і визначається тільки шорсткість.

Для розвертання $R_{zi-1} = 10$ мкм; для хонінгування $R_{i-1} = 10$ мкм.

2. Просторове відхилення для заготовки визначається за формулою

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2} = \sqrt{27^2 + 1200^2} \cong 1200 \text{ мкм.}$$

Жолоблення отвору $\rho_{\text{жол}}$ враховується у діаметральному і осьовому перетинах і визначається за формулою

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_k \cdot d)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 20)^2 + (0,7 \cdot 32)^2} = 27 \text{ мкм,}$$

де $\Delta_k = 0,7$ мкм/мм – питома кривизна заготовки [3];

$d = 20H6$ мм; $l = 32$ мм – діаметр та довжина обробленого отвору.

$\rho_{\text{зм}} = T_{\text{заг}} = 1200$ мкм – допуск на довжину заготовки $58h14$ мм.

Просторові відхилення зенкерування і розвертання становлять

$$\rho_{\text{зен}} = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 1200 = 60 \text{ мкм;}$$

$$\rho_{\text{розв}} = 0,04 \cdot \rho_3 = 0,04 \cdot 1200 = 48 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{хон}} = 0,005 \cdot \rho_3 = 0,005 \cdot 1200 = 6 \text{ мкм.}$$

3. Похибка установалення заготовки при зенкеруванні $\varepsilon_{y \text{ зен}}$ визначиться за формулою

$$\varepsilon_{y \text{ зен}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{100^2 + 0^2} = 100 \text{ мкм,}$$

де $\varepsilon_6 = 100$ мкм – похибка установалення заготовки в пневматичний самоцентрувальний токарний патрон [3];

$\varepsilon_3 = 0$ – сила закріплення не впливає на точність оброблювального отвору.

Зенкерування і розвертання заготовки виконуються на одній операції із однієї установки [3] і тому

$$\varepsilon_{у\text{зен}} = \varepsilon_{\text{розв}} = 0.$$

При хонінгуванні конічного отвору похибка базування і закріплення заготовки не впливає на точність її розміру і тому

$$\varepsilon_{у\text{хон}} = 0.$$

За програмою «prp. ver.7.1» ЕОМ (див. додаток Ж) розрахуємо припуски та граничні розміри на технологічні переходи операції і будемо схему розташування припусків і допусків для обробки конічного отвору (див. рис. 2.1).

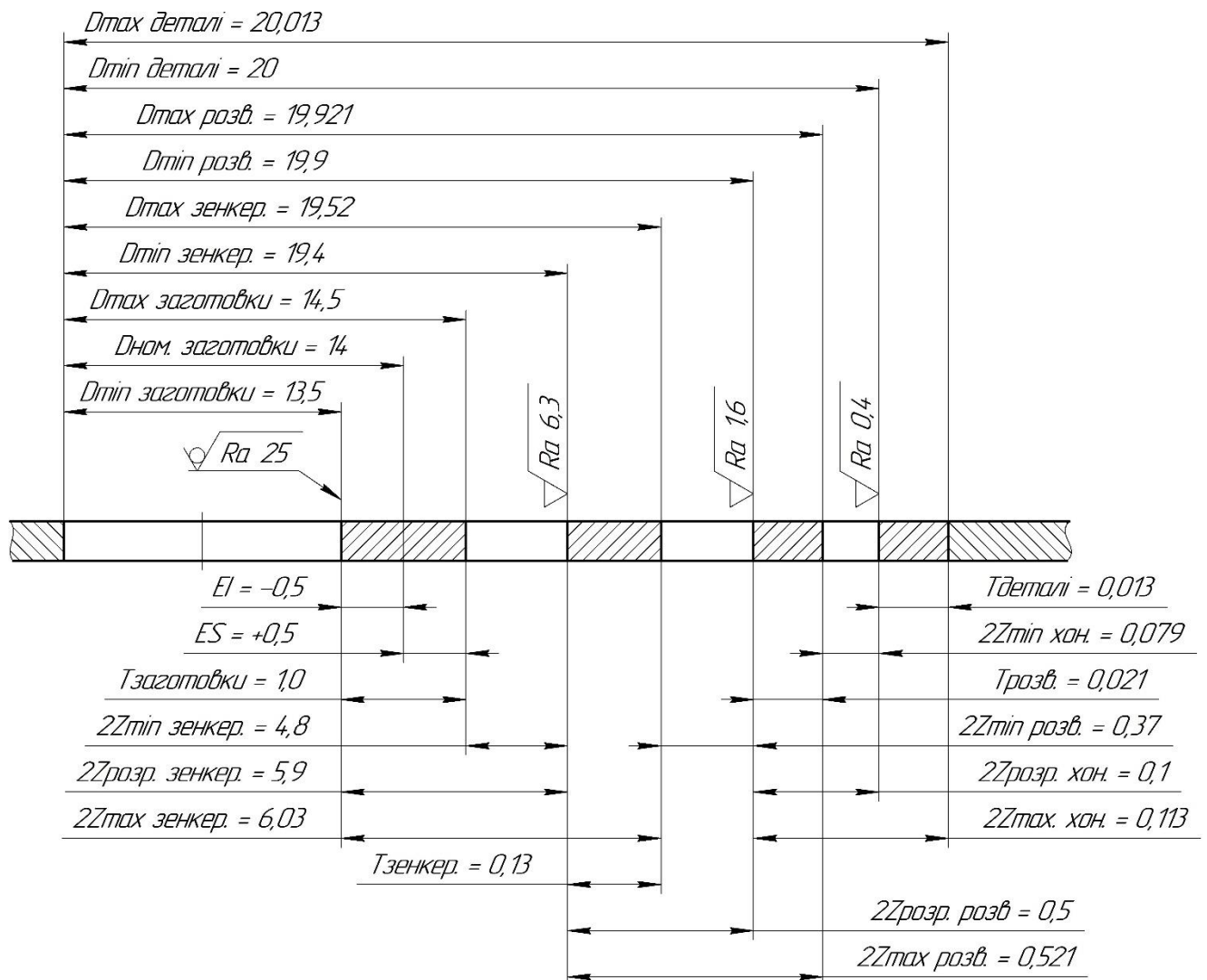


Рисунок 2.1 – Схема припусків і допусків на обробку конічного отвору

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Операція 025 «Хонінгувальна». На операції виконується хонінгування конічного отвору $\varnothing 20H6(+0,013; 0)$ мм з кутом конусу $4^\circ \pm 10''$. Для хонінгування застосовується вертикально-хонінгувальний верстат моделі 3821. Схема установлення заготовки наведено на рисунку 2.2.

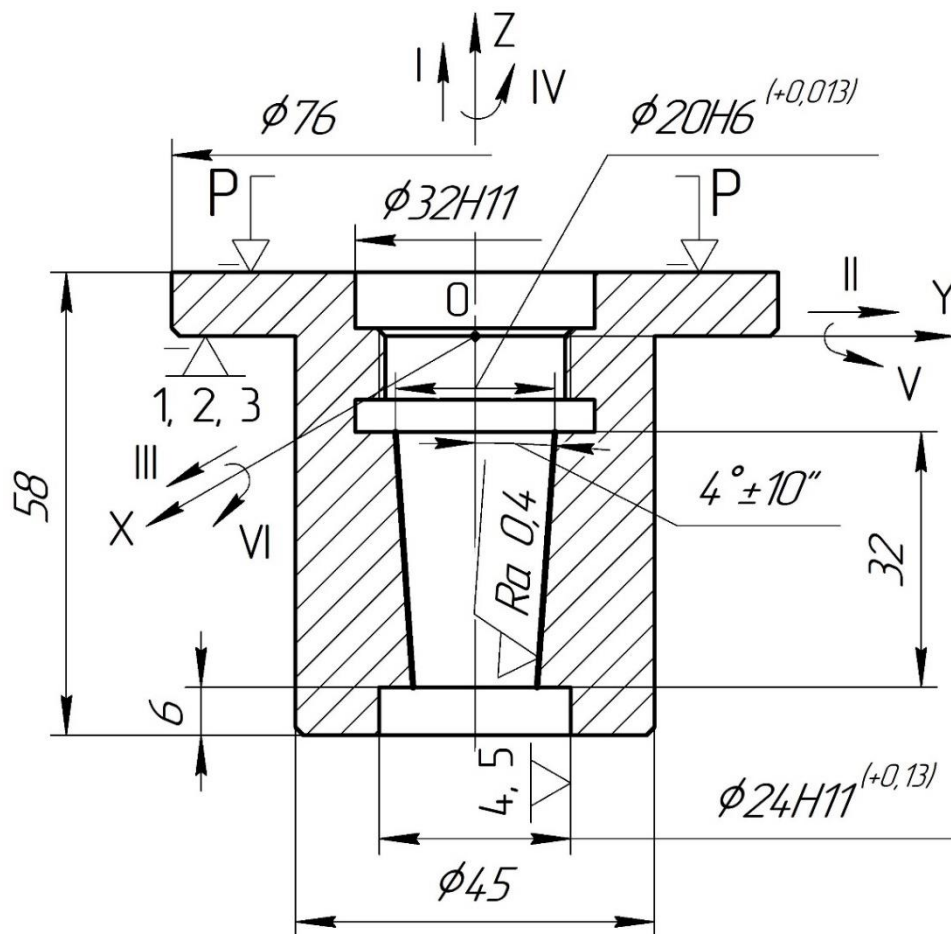


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки на операції 025

Заготовка установлюється в спеціально спроектований пристрій, який установлений на столі вертикально-хонінгувального верстата (див. додаток М). Схема базування корпусу на операції наведена в таблицях 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступені свободи	База, характер прояву
1, 2, 3	I, V, VI	УБ, явна
4, 5	II, III	ПОБ, явна
6	IV (вакансія)	–

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / 1, α	X	Y	Z	База
1	0	0	1	УБ
α	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	–
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5-ть зв'язків

Установчою базою (УБ) є нижня поверхня торця $\varnothing 76/\varnothing 45$. Для відносної співвісності осі заготовки їх віссю шпинделю верстата передбачена поверхня $\varnothing 24H11(+0,3; 0)$ мм довжиною 6 мм, яка є подвійною опорною базою (ПОБ). Наведене базування збільшує жорсткість технологічної системи і зменшує похибку співвісності осей заготовки і шпинделя.

Заготовка закріплюється двома затискачами, розташованих на штоку пневматичного приводу. Вектори сил затиснення знаходяться напротил УБ і не створюють похибку закріплення в запропонованій схемі базування.

Запропоновані схеми базування і закріплення заготовки приймаються для їх реалізації на операції 025 «Хонінгувальна».

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для хонінгування конічного отвору корпусу на операції 025 «Хонінгувальна» пропонується вертикально-хонінгувальний верстат моделі 3821. На вибір моделі верстата впливають габарити заготовки, точність розмірів, шорсткість обробленої поверхні, кінематичні рухи інструменту (хонінгувальної головки), які потрібні для реалізації технічних вимог креслення деталі.

Технічна характеристика верстата моделі 3821 наведена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика верстата моделі 3821

Параметр	Чисельні дані
Діапазон діаметрів оброблювального отвору, мм	50 / 12,5
Довжина ходу шпindelної головки, мм	320
Відстань вильоту шпindelля, мм	200
Частота обертання шпindelля, об/хв	200 – 900
Швидкість поступально-зворотного руху шпindelної головки, м/хв	0 – 14
Відстань від торця шпindelля до робочої поверхні стола або плити (найменша / найбільша), мм	425 / 745
Межа дозованої радіальної подачі, мм/под. хід	0 – 0,10
Діапазон частоти коливань, кол/хв	250 – 630
Діапазон амплітуди коливань, мм	0 – 4
Розміри поверхні стола (довжина x ширина), мм	470 x 470
Потужність електродвигуна, кВт: привода обертання шпindelля / гідравлічного привода	1,5 / 2,2
Габарити (довжина x ширина x висота), мм	770 x 1265 x 2390
Маса, кг	1400

Верстат має автоматичну гідравлічну систему розтиснення брусків. Час хонінгування обмежується налагодженням реле часу. На верстаті встановлена система активного контролю розмірів заготовки. Загальний час роботи верстата – півавтоматичний. Для тонкого очищення змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) від продуктів хонінгування застосовується магнітний сепаратор.

Механізм гідравлічного приводу верстата має жорстку регульовану радіальну подачу брусків в межах від 0,1 до 3,0 мкм на кожний подвійний хід шпindelної бабки та забезпечує автоматичне налагодження її величини в межах робочого циклу хонінгування. Конструкція верстата має підвищену жорсткість і виготовлена із підвищеною точністю.

Технічна характеристика хонінгувального верстата спроможна забезпечити точність розміру і форми отвору, шорсткість поверхні. При використанні оптимального режиму хонінгування, характеристики хонінгувальних брусків, ЗОР можна забезпечити шорсткість поверхні в межах $R_a = 0,4-0,63$ мкм, точність форми в межах 0,002–0,005 мм.

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Для оздоблювальної обробки конічної поверхні отвору корпусу в технологічний процес введена хонінгувальна операція, в якій застосована спеціальна хонінгувальна головка із конусом розтискної оправки рівною конусу оброблювальної поверхні (див. рис. 2.3).

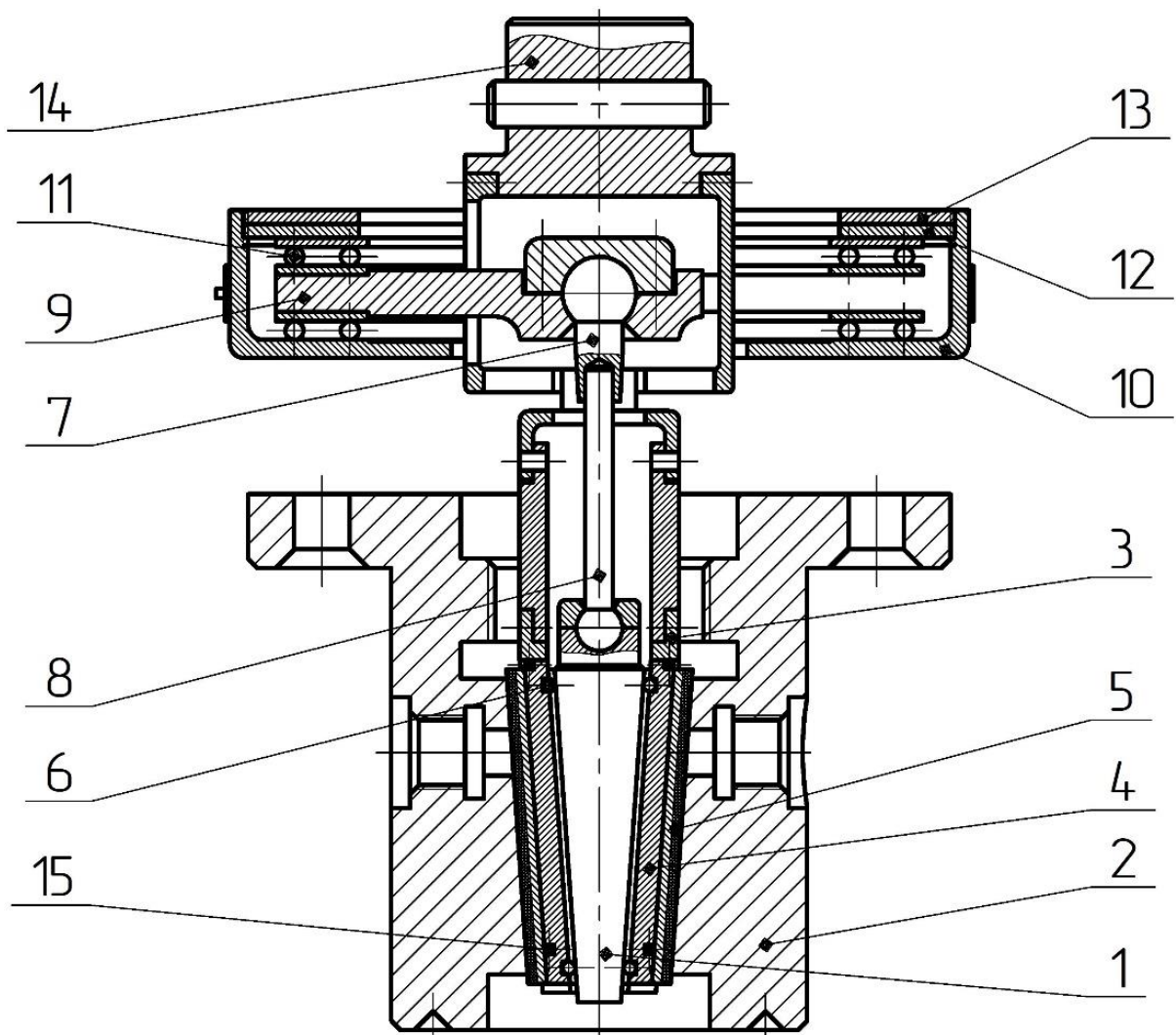


Рисунок 2.3 – Хонінгувальна головка для обробки конічного отвору корпусу:
1 – оправка; 2 – корпус; 3 – корпус головки; 4 – колодка; 5 – брусок; 6 – ролик;
7 – шарнір верхній; 8 – шарнір нижній; 9 – корпус шарніра; 10 – обойма; 11 – підшипник; 12 – кришка; 13 – контргайка; 14 – хвостовик; 15 – пружина

Хонінгувальна головка складається із оправки 1 з кутом конуса 4° , що дорівнює куту конічної поверхні корпусу 2 пневмоапарата кранового, корпусу 3 головки, в якій прорізані шість поздовжніх пазів. В пазах корпусу розташовані колодки 4 із напаяними на них алмазними брусками 5. У внутрішніх пазах колодок розташовані ролики 6, через які оправка 1 здійснює радіальну подачу колодок з брусками до оброблювальної поверхні. Стиснення колодок з алмазними брусками відбувається двома кільцевими пружинами 15. Верхня частина головки має устрій для самостійного установаження її на конічну поверхню отвору корпусу. В устрої розташовані верхній 7 і нижній 8 шарніри. Верхній шарнір 7 знаходиться к корпусі шарніра 9, розташованої в обоймі 10, яка обертається на підшипниках 11. Для регулювання величини зазору в підшипниках 11 застосовується кришка 12, яка фіксується контргайкою 13. Крутний момент від шпинделя верстата до хонінгувальної головки передається хвостовиком 14.

Головка хвостовиком установажується в шпиндель верстата і здійснює обертальні і осьові зворотно-поступальні рухи. Колодки із алмазними брусками здійснюють радіальні рухи під дією осьової сили і сили стиснення пружини. Радіальний рух брусків обмежений оброблювальною поверхнею і залежить від видаленого припуску. Сила притиснення брусків до оброблювальної поверхні регулюється вбудованим в хонінгувальну бабку верстата гідравлічним приводом механізму розтиснення. Осьове зусилля на штоку розтиснення брусків визначається манометром тиску, який вбудований в систему гідравлічного привода механізму розтиснення.

Величина манометричного тиску p_m визначається за формулою [7]

$$p_m = \frac{p \cdot l_{бр} \cdot B \cdot n \cdot \tan(\varphi + \theta)}{F_{ц} \cdot \eta} = \frac{0,6 \cdot 3,4 \cdot 0,2 \cdot 6 \cdot \tan(4^\circ + 6^\circ)}{122,7 \cdot 0,8} = 0,0044 \text{ МПа,}$$

де $p = 0,6$ МПа – питомий тиск брусків; $l_{бр} = 3,4$ см – довжина бруска; $B = 0,2$ см – ширина бруска; $n = 6$ – кількість брусків; $\varphi = 4^\circ$ – кут конуса розтиснення; $\theta = 6^\circ$ – кут тертя; $F_{ц} = 122,7 \text{ см}^2$ – робоча площа гідравлічного циліндра розтиснення брусків; $\eta = 0,8$ – ККД гідравлічного циліндра.

Цикл роботи механізму радіальної подачі брусків відповідає робочому циклу верстата і наведений на рисунку 2.4.

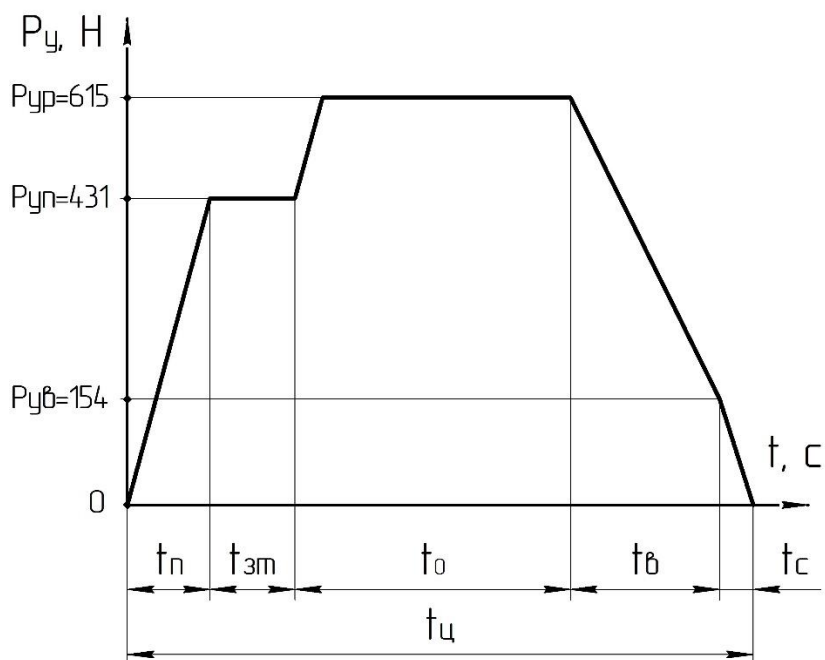


Рисунок 2.4 – Робочий цикл радіальної подачі брусків:

$t_n = 3$ с – час підведення брусків до поверхні заготовки; $t_{зм} = 15$ с – час хонінгування зниженим тиском; $t_0 = 40$ с – час хонінгування робочим тиском; t_b – час хонінгування зниженим тиском (виходжування); $t_c = 2$ с – час відведення (стиснення) брусків

В системі радіальної подачі тиском після підведення брусків до дотику із оброблювальною поверхнею відбувається врізання за дуже короткий час і тому на графіку його не виділяють.

Для чавуну марки СЧ24 ГОСТ 1412-89 за рекомендаціями джерел [8] приймається алмазний брусок марки АСВ на металевій в'язки типу МС1 згідно ГОСТ 16606-71. Брусок до колодки хонінгувальної головки припаюється паяльним припоєм ПОС–30.

Сумарна ширина B алмазних брусків визначається за формулою:

$$B = (0,15 - 0,35) \cdot C_0 = (0,15 - 0,35) \cdot 48,73 = (9,31 - 17,06) \text{ мм},$$

де $C_0 = 48,73$ мм – довжина кола найменшого діаметра конічного отвору розміром $D_0 = 15,52$ мм.

Довжина бруска L_6 вибирається від довжини L_0 оброблювального отвору. Для кінцевого отвору, який відкритий з обох сторін, довжина бруска становить

$$L_6 = (1,05 - 1,1)L_0 = (1,05 - 1,1) \cdot 32 = (33,6 - 35,2) \text{ мм.}$$

Приймаємо алмазний брусок розмірами [9]:

$B = 2$ мм; $H = 2$ мм; $L_6 = 34$ мм; $S = 1$ мм; $r = 3$ мм, маса алмазів (в каратах) при концентрації 100% складає 0,22 карат [9] (див. рис. 2.5).

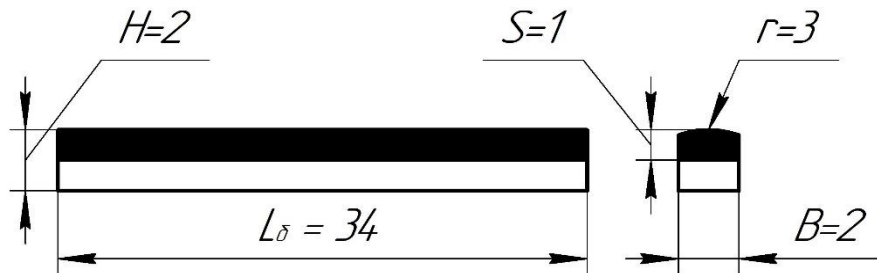


Рисунок 2.5 – Конструкція алмазного бруска

Зернистість алмазного бруска вибирається залежно від виду обробки (попередня, однократна, кінцева) і потрібної шорсткості поверхні. За рекомендаціями джерела [8] беремо зернистість бруска 40/28 для досягнення шорсткості $R_a = 0,4$ мкм.

Позначення бруска: 2768-0001-I-ACB 40/28-100-MS1 ГОСТ 16066-71.

Вартість одного бруска визначається за формулою [8]:

$$C_6 = \beta \cdot C_1 \cdot Q_a = 1,5 \cdot 3,62 \cdot 0,22 = 1,2 \text{ грн,}$$

де $\beta = 1,5$ – коефіцієнт, який враховує вартість алмазів в бруську;

$C_1 = 3,62$ грн – ціна одного карата алмаза;

$Q_a = 0,22$ карат – маса алмазів у одному робочому шарі бруска.

В хонінгувальній головки для обробки кінцевого отвору використовуються комплект із шести брусків вартістю

$$C_0 = 3 \cdot C_6 = 6 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ грн.}$$

Розрахована вартість брусків потрібна для економічних розрахунків хонінгувальної операції.

На формування потрібної шорсткості $R_a=0,4$ мкм при алмазному хонінгуванні суттєво впливає змащувально-охолоджувальна рідина (ЗОР). Згідно рекомендацій роботи [8], при обробки чавуну СЧ24 алмазними брусками марки АСВ40/28-100-МС1 ГОСТ 16066-71, приймається емульсія низької концентрації, в складі якої емульсол НГЛ-205 (5–10%) і вода (90–95%). Емульсол складається із мастильного розчину сульфоната натрію, мастила АС-6,5 і пасивуючих домішок. Зовнішній вид ЗОР – темно-коричнева мастильна рідина.

По закінченню операції виконується контроль розмірів і форми поверхні кінцевого отвору. Для вимірювання застосовується спеціальний пневматичний калібр із водним манометром (типу «Солекс») [8]. Шорсткість поверхні вимірюється профілометр-профілографом моделі 240 ГОСТ 9504-80 (для цехів).

2.7 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

1 Для хонінгування чавуну алмазними брусками рекомендується наступний режим обробки [10]:

$$V_o = 40\text{--}70 \text{ м/хв}; V_{з-п} = 8\text{--}12 \text{ м/хв}; p_o = 4\text{--}6 \text{ кгс/см}^2; S_o = 0,6\text{--}0,8 \text{ мкм/под. хід}.$$

Припуск на діаметр (0,02–0,06) мм, час обробки (0,2–0,6) хв; досяжна точність форми (6–12) мкм; орієнтовна стійкість брусків (12000–20000) деталей; середня витрата алмаза – 0,04 мг/г видаленого метала; досяжна шорсткість поверхні – $R_a = 0,2\text{--}0,4$ мкм [10].

2 Визначаємо кількість обертів шпинделя за хвилину n_1 на максимальному діаметрі кінцевого отвору

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_o}{\pi \cdot D_o} = \frac{1000 \cdot 70}{3,14 \cdot 20} = 1115 \text{ об/хв},$$

де $D_o = 20$ мм – діаметр (максимальний) оброблюваного отвору.

За даними паспорта верстата приймаємо $n_{1п} = 800$ об/хв.

$$V_{оф} = \frac{\pi D_o n_{1п}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 800}{1000} = 50,3 \text{ м/хв}.$$

3 Хонінгувальна головка додатково здійснює осьові зворотно-поступальні рухи з амплітудою 5 – 10 мкм. Між поверхнею заготовки і брусками періодично виникає зазор, в який поступає ЗОР і видаляється відпрацьований шлам.

4 Визначаємо складові сили різання P_x, P_y, P_z [10]:

$$P_x = f_x \cdot F \cdot p_0 \cdot m = 0,31 \cdot 0,68 \cdot 6 \cdot 6 = 7,6 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 75 \text{ Н};$$

$$P_y = f_y \cdot F \cdot p_0 \cdot m = 0,18 \cdot 0,68 \cdot 6 \cdot 6 = 4,41 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 44 \text{ Н};$$

$$P_z = f_z \cdot F \cdot p_0 \cdot m = 0,23 \cdot 0,68 \cdot 6 \cdot 6 = 5,8 = 63 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 56 \text{ Н},$$

де $f_x=0,31; f_y=0,18; f_z=0,23$ – коефіцієнти тертя-шарпання [10];

$F = L_6 \cdot H = 34 \cdot 2 = 68 \text{ мм}^2 = 0,68 \text{ см}^2$ – площа одного бруска;

$m = 6$ – кількість брусків хонінгувальної головки.

5 Визначаємо потужність привода обертання шпинделя верстата N_x і потужність привода зворотно-поступальних рухів шпиндельної головки N_z :

$$N_x = \frac{P_x \cdot V_{\text{оф}} \cdot \eta_1}{102 \cdot 60} = \frac{75 \cdot 56,5 \cdot 0,9}{102 \cdot 60} = 0,63 \text{ кВт};$$

$$N_z = \frac{P_z \cdot V_{\text{з-п}} \cdot \eta_2}{102 \cdot 60} = \frac{56 \cdot 12 \cdot 0,85}{102 \cdot 60} = 0,1 \text{ кВт},$$

де $\eta_1 = 0,9; \eta_2 = 0,85$ – ККД відповідно приводів шпинделя и шпиндельної головки.

Якщо $N_x = 0,63 \text{ кВт} < N_{\text{ш}} = 1,5 \text{ кВт}, N_z = 0,1 \text{ кВт} < N_{\text{гп}} = 2,2 \text{ кВт}$, то обробка можлива, де $N_{\text{ш}} = 1,5 \text{ кВт}$ – потужність привода обертання шпинделя верстата; $N_{\text{п}} = 2,2 \text{ кВт}$ – потужність гідравлічного привода зворотно-поступального руху шпиндельної головки.

6 Визначаємо основний час T_0 хонінгування отвору [10]:

$$T_0 = 100 \cdot \Delta h \cdot t = 100 \cdot 0,02 \cdot 40 = 80 \text{ с} = 1,34 \text{ хв},$$

де $\Delta h = 0,02 \text{ мм}$ – припуск на хонінгування [10];

$t=40 \text{ с}$ – середній час, за який видаляється 0,01 мм металу (визначається дослідним шляхом) [10].

7 Штучно-калькуляційний час на хонінгувальну операцію визначається за формулою [10]:

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{T_{\text{п-з}}}{N_{\text{п}}} + T_0 + T_{\text{д}} + T_{\text{обс}} + T_{\text{від}},$$

де $T_{п-з} = 5$ хв – підготовчо-завершальний час на установлення технологічної оснастки і її віддача після обробки;

$N_{п} = 63$ шт – партія запуску заготовок у виробництво;

$T_0 = 1,34$ хв – основний (машинний) час операції хонінгування;

T_d – допоміжний час;

$T_{обс}$ – час обслуговування робочого місця;

$T_{від}$ – час на відпочинок і особисті потреби працюючого.

$$T_d = 1,85(T_{yc} + T_{зв} + T_{кер} + T_{вим}) = 1,85(0,155 + 0,075 + 0,9) = 2,1 \text{ хв},$$

де $T_{yc} + T_{зв} = 0,131 + 0,024 = 0,155$ хв – час установки, закріплення, відкріплення, зняття заготовки руками;

$T_{кер} = 0,01 + 0,03 + 0,025 + 0,01 = 0,075$ хв – час вмикання і вимикання верстата; стиснення (розтиснення) брусків хонінгувальної головки; підведення (відведення) хонінгувальної головки;

$T_{вим} = 0,9$ хв – час контрольного вимірювання кінцевою калібр-пробкою;

1,85 – коефіцієнт, який враховує норми допоміжного часу, наведеному для масового виробництва.

Визначаємо оперативний час:

$$T_{оп} = T_0 + T_d = 1,34 + 2,1 = 3,44 \text{ хв.}$$

$$T_{обс} + T_{від} = \frac{\alpha\% \cdot T_{оп}}{100\%} = \frac{10 \cdot 3,44}{100} = 0,344 \text{ хв,}$$

де $\alpha = 10\%$ – процент часу на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби працюючого.

$$T_{ш-к} = \frac{5}{63} + 1,34 + 2,1 + 0,344 = 3,9 \text{ хв.}$$

За зробленими розрахунками (див. розділи 2.3–2.7) виконане креслення операційного налагодження на операцію 025 «Хонінгувальна» (див. додаток К).

2.8 Проектування засобів технологічного оснащення

2.8.1 Обґрунтування мети технологічної операції і завдання для проектування

Оздоблювальна операція 025 «Хонінгувальна» передбачає обробку конічної поверхні із вихідним отвором $\varnothing 20H6$ мм і кутом $4^\circ \pm 10''$ довжиною 32 мм. Мета операції – забезпечити шорсткість поверхні $R_a=0,4$ мкм. Оброблювальний отвір є «наскрізним», що дозволяє хонінгувальній головці повністю розташовуватися на його поверхні і частково виходити за довжину отвору при малої амплітуді зворотно-поступальних рухів уздовж його осі.

На хонінгувальну операцію заготовка надходить з токарної операції і має припуск 50 мкм на сторону, шорсткість поверхні $R_a=1,6$ мкм, твердість поверхневого шару HB 170–241.

Обробка виконується на хонінгувальному верстаті моделі 3821, який має жорстку автоматичну регульовану радіальну подачу брусків в межах (0,1–0,3) мкм на кожний подвійний хід шпиндельної бабки і забезпечує автоматичне налагодження її величини в межах робочого циклу. Верстат має підвищену жорсткість конструкції і високу точність виготовлення. ЗОР підводиться у зону обробки із двох сторін. В системі верстата є устрій для тонкого очищення ЗОР від продуктів хонінгування.

Найбільш раціональною схемою хонінгування є жорстке закріплення заготовки і шарнірне закріплення хонінгувальної головки [11]. Хонінгувальна головка має шість алмазних брусків, розташованих в корпусі в один ряд. Розтискний устрій у вигляді конусу забезпечує радіальну подачу брусків. Головка має шарнір, який забезпечує самостійне установлення головки у разі зміщення осі оброблювального отвору відносно осі шпинделя верстата в межах (1–2) мм.

Таким чином, шорсткість і точність розмірів оброблювальної поверхні визначаються конструктивними особливостями верстата і хонінгувальної

головки, та технологічними – розмірами і характеристикою алмазних брусків, режимами різання, жорсткістю технологічної системи [11, 12, 13].

Для вирішення визначеної мети треба сформулювати наступні завдання.

1 Розробити конструкцію пристрою для реалізації запропонованої схеми базування і закріплення заготовки.

2 Забезпечити постійне закріплення заготовки на час її обробки.

3 Забезпечити строк експлуатації пристрою для виконання всієї програми виготовлення виробів.

2.8.2 Розробка та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки

Схема базування і закріплення заготовки наведена на рисунку 2.6. Заготовка установлюється торцем $\varnothing 76/\varnothing 45$ на верхню поверхню плити 3 пристрою (УБ) і поверхнею $\varnothing 24H11$ мм на палець $\varnothing 24d11$ мм (ПОБ). Досягнуте базування заготовки 1 забезпечується двома затискачами 2, які рухаються (вверх або вниз) з'єднаних планкою 5. Остання закріплена на штоку 6 пневматичної камери з діафрагмою 7, вбудованої у корпус 4 пристрою. Рух затискачів вниз відбувається під дією стислого повітря, яке знаходиться у порожнину камери, а після його випуску із порожнини камери, затискачі рухаються вверх під дією пружини 8.

Розглянемо дію сил різання і закріплення при обробки заготовки. При хонінгуванні зі сторони бруска на поверхню заготовки діють колова $P_{ок}$ і осьова P_0 сили різання, а також радіальна сила P_r , яка виникає під дією радіальної подачі брусків.

Сила $P_{ок}$ розраховується за формулою

$$P_{ок} = m_{ок} \cdot F_{бр} \cdot p_0 = 0,5 \cdot 4,08 \cdot 6 = 12,24 \text{ кгс};$$

де $m_{ок} = 0,5$ – коефіцієнт коллової сили при хонінгуванні чавуну;

$F_{бр} = 4,08 \text{ см}^2$ – сумарна площа робочої поверхні брусків;

$p_0 = 6 \text{ кгс/см}^2$ – питомий тиск брусків.

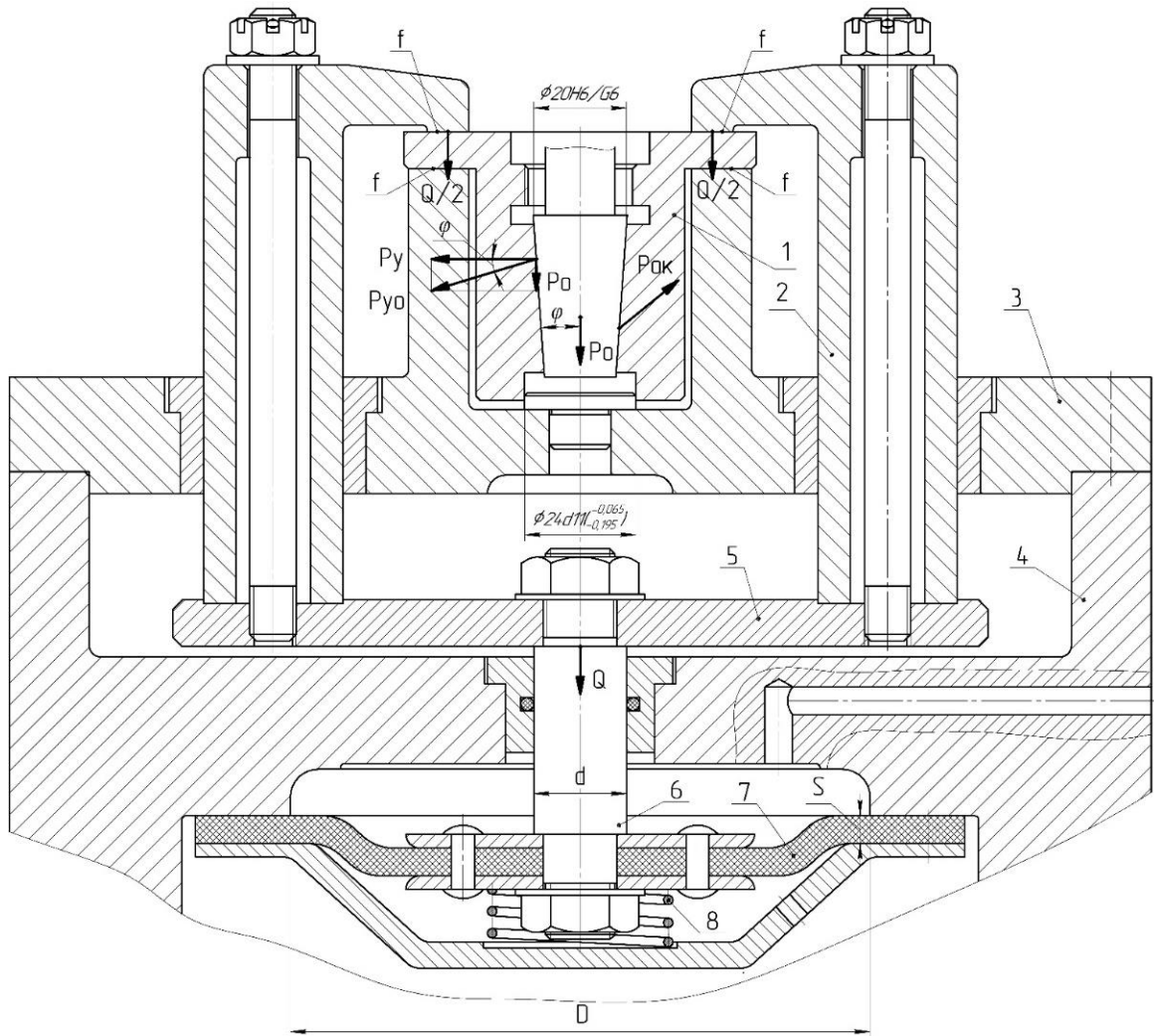


Рисунок 2.6 – Схема сил діючих на заготовку

Сила P_0 визначається за формулою [9]

$$P_0 = p_0 \cdot L_6 \cdot B \cdot t \cdot g \cdot \tan(\varphi + \theta) = 6 \cdot 3,4 \cdot 0,2 \cdot 6 \cdot 9,81 \cdot \tan(4^\circ + 6^\circ) = 43 \text{ Н},$$

де $\varphi = 4^\circ$ – кут конусу механізму розтиснення (співпадає із кутом конічного отвору корпусу); $\theta = 6^\circ$ – кут тертя; $t = 6$ – кількість алмазних брусків в хонінгувальній голівки.

Радіальна сила P_y визначається за формулою

$$P_y = P_0 / \tan \varphi = \frac{43}{\tan 4^\circ} = 615 \text{ Н}.$$

Величина сили $P_y = 615 \text{ Н}$ відповідає робочому тиску $p_H = 10 \text{ МПа}$.

При хонінгуванні із зниженим тиском $P_{yп} = 0,7P_y = 0,7 \cdot 615 = 431 \text{ Н}$.

При виходжуванні $P_{yв} = 0,25P_y = 0,25 \cdot 615 = 154 \text{ Н}$.

Розраховані величини використовується в робочому циклі системи радіальної подачі брусків за час хонінгування заготовки (див. рис. 2.4).

Тиск, який показує манометр в гідравлічній системі розтиснення брусків (для верстата моделі 3821), визначається за формулою

$$P_M = \frac{P_0}{F_{\text{ц}} \cdot \eta} = \frac{43}{12265,6 \cdot 0,8} = 0,0044 \text{ МПа},$$

де $F_{\text{ц}} = 0,785 \cdot 125^2 = 12265,6 \text{ мм}^2$ – робоча площа гідравлічного циліндра верстата для розтиснення брусків;

$\eta = 0,8$ – ККД гідравлічного циліндра.

Для розрахунку затискних елементів пристрою необхідно визначити силу затиску Q . Під дією сили Q на верхньому торці заготовки виникають сили тертя (на рисунку 2.7 позначені коефіцієнтами тертя f), які за час хонінгування утримають її в початковому положенні.

Сила Q визначається за формулою [14]

$$Q = \frac{\beta \cdot P_{\text{ок}} \cdot D_0}{f \cdot (D_2 + D_1)} = \frac{1,5 \cdot 12,24 \cdot 20}{0,15 \cdot (45 + 24)} = 36 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 348 \text{ Н},$$

де $\beta = 1,5$ – коефіцієнт надійності затиску; $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя; $D_0 = 20 \text{ мм}$ – максимальний діаметр конічного отвору корпусу; $D_1 = 24 \text{ мм}$ – внутрішній (опорний) діаметр заготовки; $D_2 = 45 \text{ мм}$ – зовнішній (опорний) діаметр заготовки.

Визначимо робочий діаметр D пневматичної камери за умови непостійної сили на штоку. Для тканинної мембрани із гумового матеріалу сила Q на штоку розраховується за формулою

$$Q = 0,196(D + d)^2 \cdot p - P_{\text{п}},$$

де $d = 20 \text{ мм}$ – діаметр штока, мм; $P_{\text{п}} = 100 \text{ Н}$ – сила пружини; $p = 0,4 \text{ МПа}$ – тиск стислого повітря в порожнині камери.

$$D = \sqrt{\frac{Q + P_{\text{п}}}{0,196 \cdot p}} - d = \sqrt{\frac{348 + 100}{0,196 \cdot 0,4}} - 20 \cong 56 \text{ мм}.$$

Приймаємо із стандартного ряду діаметр пневматичної камери односторонньої дії $D = 125 \text{ мм}$.

Зробимо перерахунок зусилля Q на штоку

$$Q = 0,196 \cdot (125 + 20)^2 \cdot 0,4 - 100 = 1548,4 \text{ Н.}$$

Визначимо товщину S діафрагми за формулою

$$S = \frac{D}{4} \sqrt{\frac{3p}{\sigma_{\max}}} = \frac{125}{4} \sqrt{\frac{3 \cdot 0,4}{40}} = 5,41 \text{ мм,}$$

де $\sigma_{\max} = 40$ МПа – найбільше допустиме напруження тканини діафрагми.

Приймаємо $S = 6$ мм.

Визначимо максимально допустимий рух штока L за формулою

$$L = \frac{3p \cdot D^4 (1 - \mu^2)}{256 \cdot E \cdot S^3} = \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 125^4 \cdot (1 - 0,4^2)}{256 \cdot 6 \cdot 10^2 \cdot 6^3} = 7,42 \text{ мм,}$$

де $\mu = 0,4$ – коефіцієнт Пуассона матеріалу діафрагми;

$E = 6 \cdot 10^2$ МПа – модуль пружності матеріалу діафрагми.

Приймаємо $L = 8$ мм.

2.8.3 Розрахунок точності елементів пристрою

При установленні і закріпленні корпусу на столі пристрою можливий його перекош, який треба обмежити допуском. При установленні треба забезпечити паралельність і перпендикулярність осі оброблювального отвору відносно базових площин стола і нижнього торця пристрою.

Параметр $T_{\text{пр}}$ – допустиме відхилення від перпендикулярності наведених базових поверхонь визначається за формулою

$$T_{\text{пр}} \leq T_{\text{д}} - K_{\text{T}} \sqrt{(K_{\text{T1}} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + \varepsilon_{\text{пер}}^2 + (K_{\text{T2}} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{уст}}^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2},$$

де $T_{\text{д}} = 0,6 \cdot T_{58h14} = 0,6 \cdot 0,74 = 0,44$ мм = 440 мкм – допуск відхилення від перпендикулярності осі конічного отвору відносно базового торця корпусу;

$$K_{\text{T}} = 1,2; K_{\text{T1}} = 0,825;$$

$\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування заготовки;

$\varepsilon_3 = 0$ – похибка закріплення заготовки;

$\varepsilon_{\text{зн}} = 0$ – похибка зносу установчих елементів пристрою (рівномірний знос по всій площині сполучання);

$\varepsilon_{\text{пер}} = 0$ – похибка перекосу хонінгувальної головки (установлюється по конічній поверхні отвору);

$K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує імовірність появи похибки обробки;

$\omega = 15$ мкм – середня економічна точність хонінгування (ІТ6) конічного отвору;

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,1^2} = 0,1 \text{ мм} - \text{похибка установки}$$

пристрою на столі верстата;

$\varepsilon_{\text{поз}} = 0$ – похибка позиціонування шпиндельного вузла (шарнірне закріплення хонінгувальної головки).

$$T_{\text{пр}} \leq 440 - 1,2\sqrt{(0,6 \cdot 15)^2 + 100^2} = 440 - 121 = 319 \text{ мкм} = 0,319 \text{ мм}.$$

Приймаємо $T_{\text{пр}} = 0,25$ мм і вносимо цю величину в технічні вимоги креслення пристрою для хонінгування. Зазначимо, що на спроектованому пристрої можна хонінгувати заготовки підвищеної точності.

2.8.4 Опис конструкції і роботи пристрою

Пристрій (див. додатки Л і М) складається із корпусу 2, напрямної втулки корпусу 9, штока 8 із скріпленою в його нижній частині діафрагмою 10. Верхня частина штоку 8 скріплена планкою 4 гайкою 19. На обох кінцях планки закріплені дві шпильки 5 із затискачами 6. В порожнину, де розташовані шток 8 і діафрагма 10, із розподільного крану 1 від мережі через отвори в корпусу надходить стисле повітря. Між нижньою частиною діафрагми 10 і кришкою 11 знаходиться пружина стиску 13. Корпус 2 верхньою частиною з'єднаний з плитою 3, в якій запресовані дві втулки 7. Верхня частина плити 3 має опорну поверхню на яку встановлюється заготовка, оправка 14 відцентровує її вісь із віссю хонінгувальної головки. Для транспортування пристрою передбачені два рим-болти 25. Пристрій установлюється на стіл верстата нижньою поверхнею корпусу 2. Для орієнтації пристрою на столі верстата в корпусі 2 установлені дві напрямні шпонки 28.

Робота пристрою починається із установлення заготовки на опорну

поверхню плити 3 і оправку 14. Далі вмикається розподільний кран 1 і стисле повітря надходить в верхню порожнину пневматичної камери. Діафрагма 10 вигинається і зміщує шток 8, планку 4 із двома затискачами 6 вниз. Заготовка закріплюється. Після обробки заготовки кран 1 вимикається і повітря через пневматичний глушник виходить в атмосферу. Діафрагма 10 під дією пружини 13 повертається у вихідне положення, шток 8, планка 4, затискачі 6 зміщуються вгору і заготовка розкріплюється. Вбудований в корпус мембранний привід забезпечує незмінною силою закріплення за час обробки заготовки.

Конструкція пристрою проста, робота його вузлів не складна, час установлення, закріплення (розкріплення), зняття заготовки невеликий і не потребує обслуговування робітниками високої кваліфікації.

Пристрій необхідно зберігати в коморі із сухим повітрям, уникати падінь, при консервації базові поверхні змастити солідолом.

2.9 Висновок

1. Складений новий технологічний маршрут обробки корпусу в якому запропоновані нові оздоблювальні операції – 025 «Хонінгувальна» і 030 «Притиральна».

2. Виконаний і економічно обґрунтований спосіб виготовлення первинної заготовки корпусу – лиття в кокіль.

3. Зроблений розрахунок припусків і проміжних операційних розмірів для обробки конічного отвору $\varnothing 20H6(+0,013; 0)$ мм і шорсткістю $R_a = 0,4$ мкм. Розрахунок виконаний на ЕОМ за допомогою програми «prip. ver.7.1» ЕОМ. За розрахунками побудована схема розташування припусків і допусків для обробки конічного отвору.

4. Для операції 025 «Хонінгувальна» наведена схема базування і закріплення заготовок для хонінгування конічного отвору. Для виконання операції обраний вертикально-хонінгувальний верстат моделі 3821, в якому застосована спеціальна хонінгувальна головка із конусом розтискної оправки рівною конусу оброблювальної поверхні.

5. Аналіз структури хонінгувальної операції визначив раціональний робочий цикл радіальної подачі брусків із тиском виходжування в кінці хонінгування, що дозволило забезпечити потрібні параметри поверхні кінцевого отвору за вимогами креслення.

6. Обрана характеристика і розміри різального інструмента для хонінгування отвору корпусу. Залежно від виду обробки (попередня, однократна, кінцева) та для досягнення шорсткості $R_a = 0,4$ мкм вибраний алмазний брусок зернистістю 40/28. Позначення бруска: 2768-0001-I-АСВ 40/28-100-МС1 ГОСТ 16066-71.

7. Розрахований режим хонінгування отвору і технічна норма часу для його виготовлення.

8. Відповідно до прийнятої схеми хонінгування (жорстке закріплення заготовки і шарнірне закріплення хонінгувальної головки) спроектований верстатний пристрій, який реалізує запропоновану схему базування і закріплення заготовки. Пристрій забезпечує постійне закріплення заготовки на час її обробки та строк його експлуатації для виконання заданої програми виготовлення виробів.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ОЗДОБЛЮВАЛЬНОЇ ОБРОБКИ СУМІСНОГО ПРИТИРАННЯ КОНІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ПРОБКИ І КОРПУСУ

3. 1 Сумісне притирання конічних поверхонь пробки і корпусу

Для забезпечення однакового конусу з'єднаних поверхонь пробки і корпусу на операції 030 «Притиральна» найбільш ефективним процесом є їх сумісне притирання за методом об'ємного контакту (див. рис. 3.1).

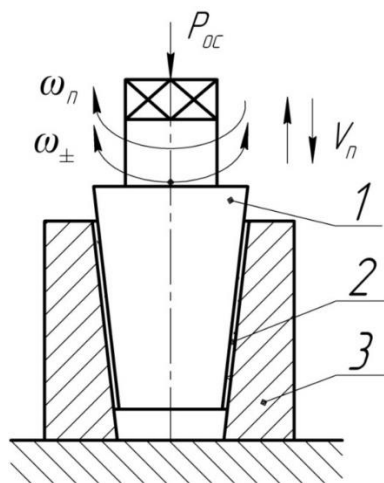


Рисунок 3.1 – Притирання конічних поверхонь за методом об'ємного контакту:
1 – притир або контрольна деталь; 2 – притиральна суміш; 3 – оброблювальна деталь

При притиранні методом об'ємного контакту деталь і інструмент (контрольна деталь) здійснюють головний рух (циклічне повторення зворотно-обертальні рухи), колову подачу (кутове зміщення при кожному циклі головного руху) і допоміжний рух (періодичний відрив поверхонь притирання). Головний рух і колова подача є робочими рухами [15]. Найбільш сприятливі умови притирання конічних поверхонь наступні:

- 1) швидкість робочого руху змінюється за законом синусу або подібним йому законом;
- 2) періодичний зворотний і поступальний осьовий рухи відбуваються відповідно в кінці та на початку кожного робочого руху;

3) при періодичному поступальному осьовому руху поверхні притирання навантажуються повільно.

Здебільшого наведені умови притирання пояснюються наступним. Змінювання швидкості робочого руху за законом синусу, в супереч від змінювання за рівно перемінним законом, зменшує ударні навантаження на механізми верстата, виробничий шум і динамічні дії поверхонь притирання. Періодичний відрив і прижим поверхонь притирання відповідно в кінці та на початку кожного робочого руху, створюють умови для відновлення рівномірного абразивного шару, що зменшує імовірність безпосереднього контакту поверхонь притирання.

Авторами наукової роботи [16] запропонований новий спосіб притирання, який має наступні відмінні особливості.

По-перше, швидкість робочого руху притирання змінюється за законом синусу, яка записується формулою

$$\Omega_{\pm} = \omega_{\pm max} \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right) + \omega_n, \quad (3.1)$$

де Ω_{\pm} – текуче значення кутової швидкості робочого руху;

$\omega_{\pm max}$ – максимальна кутова швидкість головного руху;

$\omega_n < \omega_{max}$ – швидкість подачі;

T – період коливань;

t – текучий час.

По-друге, тиск на поверхні притирання залежить від швидкості робочого руху і зменшується із видаленням металу поверхонь притирання. Зазначену залежність можна записати виразом

$$P_{y\partial} = f(\Omega, h),$$

де h – змінювання відстані між базовими поверхнями при видаленні металу.

По-третє, прижим і наступний відрив поверхонь притирання відбувається відповідно на початку і в кінці кожного руху і інтервалі швидкостей, які за величиною становлять близько нуля [16].

Кут повороту улюбий момент часу визначається із рівняння (3.1), отриманого після його інтегрування

$$\Phi_{\pm} = \frac{\omega_{max}}{2\pi} T \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{T} t\right) \pm \omega_{\pi} t \right], \quad (3.2)$$

Змінювання кута повороту (шляху), кутової швидкості і осьової сили P_{oc} на поверхні притирання залежно від часу, наведено на рисунку 3.2.

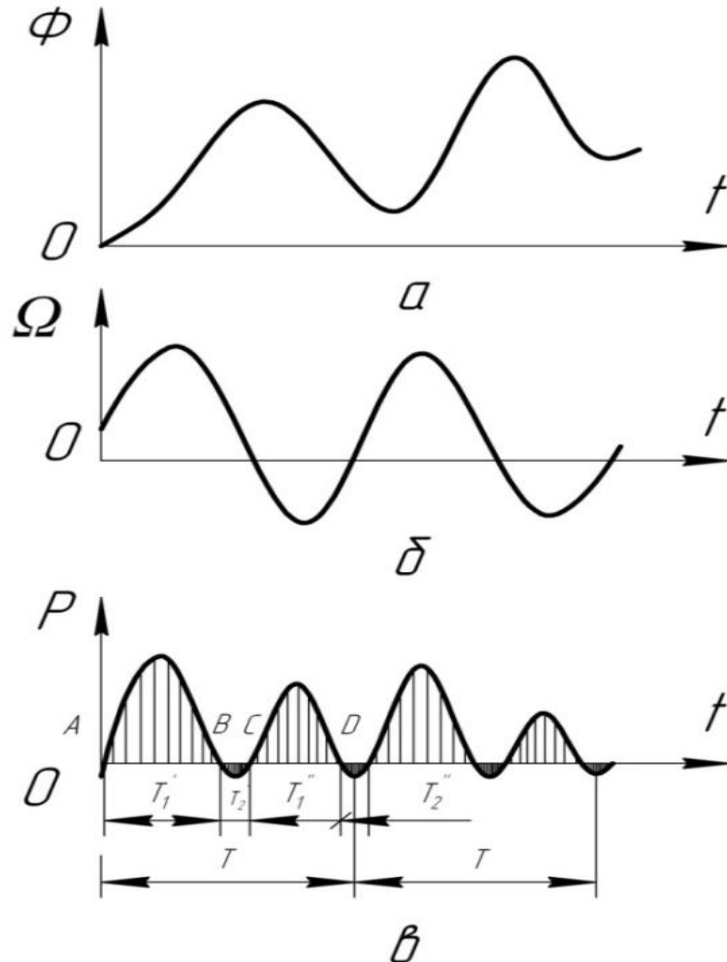


Рисунок 3.2 – Змінювання кута повороту (а), кутової швидкості (б) і осьової сили (в) на притиральній поверхні від часу

В точках А, В, С, D сила $P_{ип}$ дорівнює нулю. В періоду часу T_1' і T_1'' поверхні притирання знаходяться у притиснутому стані, а в періоди часу T_2' и T_2'' вони розтиснуті. Величина сили $P_{ип}$ змінюється подібно швидкості відносного руху і тому тиск на поверхні притирання відбувається повільно.

Схема вібраційного притирання конічних поверхонь деталей відбувається шляхом крутильних і лінійних коливань першої деталі (див. рис. 3.3).

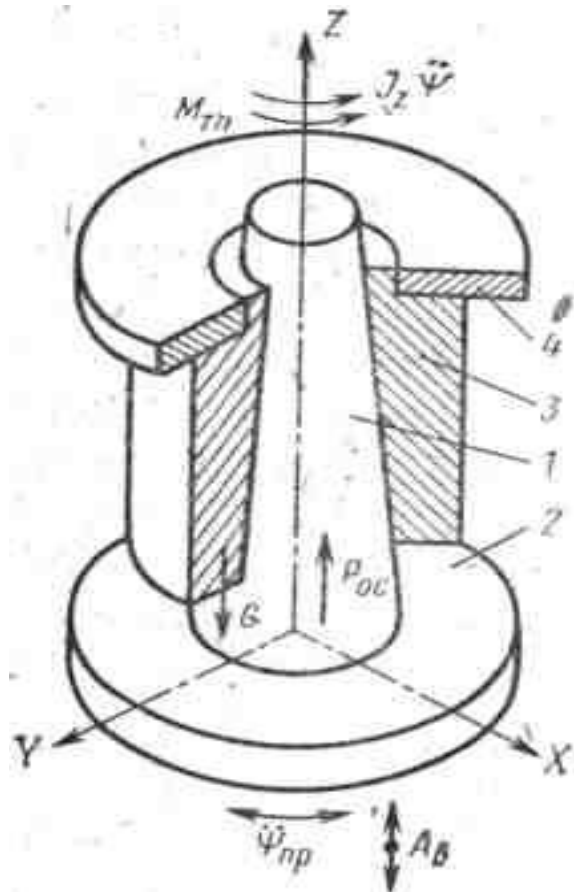


Рисунок 3.3 – Схема вібраційного притирання конічних поверхонь:

1 – перша оброблювальна деталь або притир; 2 – вібраційний привід; 3 – друга оброблювальна деталь або притир; 4 – інерційно-навантажувальна приставка

За наведеними коливаннями та моменту сил інерції другої деталі і жорстко пов'язаної із нею інерційно-навантажувальної приставки (ІНП), остання має відносно першої деталі рухи, які визначаються за формулами

$$J_z \ddot{\varphi} = -J_z \ddot{\psi} + M_{\text{ТП}}, \quad (3.3)$$

$$m \ddot{z} = -G - m \ddot{A}_B + P_{\text{OC}}, \quad (3.4)$$

де φ і z – координати другої деталі в системі координат пов'язаних із першою деталлю;

$\ddot{\psi}$ – кутове прискорення першої деталі, яке дорівнює кутовому прискоренню вібраційного приводу $\ddot{\varphi}_{\text{пр}}$ із зворотним знаком;

J_z – момент інерції другої деталі разом із ІНП;

\ddot{A}_B – амплітуда вертикальних лінійних коливань;

$G = mg$ – вага другої деталі і ІНП;

m – маса другої деталі і ІНП;

P_{oc} – сила реакції опори;

$M_{тп}$ – момент тертя при відносному русу другої деталі.

Якщо тиск рівномірно розташовується на всієї поверхні контакту, то момент тертя визначиться за формулою

$$M_{тп} = \mu \alpha P_{oc}, \quad (3.5)$$

де μ – зведений коефіцієнт тертя;

α – постійна, яка визначається із геометричних розмірів деталей притирання.

$$\alpha = \frac{D_2^3 - D_1^3}{3(D_2^2 - D_1^2)},$$

де D_1 і D_2 – відповідно менший і більший діаметри деталей притирання.

Застосовуючи формули 3.3–3.5 можна визначити узагальнені параметри русу другої деталі

$$\Phi_{1+} = \frac{\mu \alpha g}{(\rho^2 + \mu \alpha \frac{A_B}{\psi}) \psi \omega^2}, \quad (3.6)$$
$$\Phi_0 = \frac{g}{A_B \omega^2},$$

де $\rho = \sqrt{\frac{J_z}{m}}$ – радіус інерції другої деталі разом із ІНП;

ω – кутова частота;

ψ – кутова амплітуда крутильних коливань першої деталі.

За результатами практичних досліджень, які наведені в роботі [16], кращі результати вібраційного притирання досягнуті зворотно-поступальними русами з двома миттєвими зупинками у кожному циклу коливань першої деталі. Наведені умови виконуються при параметрах $\Phi_+ = 0,12 \div 0,01$ і $\Phi_0 = 1 \pm 0,1$, якщо коефіцієнт тертя $f = 0,25$.

Запропонована схема обробки дозволила отримати конічне з'єднання поверхонь деталей високої якості при відносно високої продуктивності процесу притирання.

Метод вібраційного притирання суттєво знижує шорсткість поверхонь, підвищує точність геометричних форм пробки і отвору корпусу, забезпечує фактичну площу їх з'єднання.

3.2 Верстат для притирання конічних поверхонь пробкового з'єднання

Для сумісного притирання конічних поверхонь пробки і отвору корпусу застосовується спеціальний притиральний верстат моделі СК4000 (див. рис. 3.4).

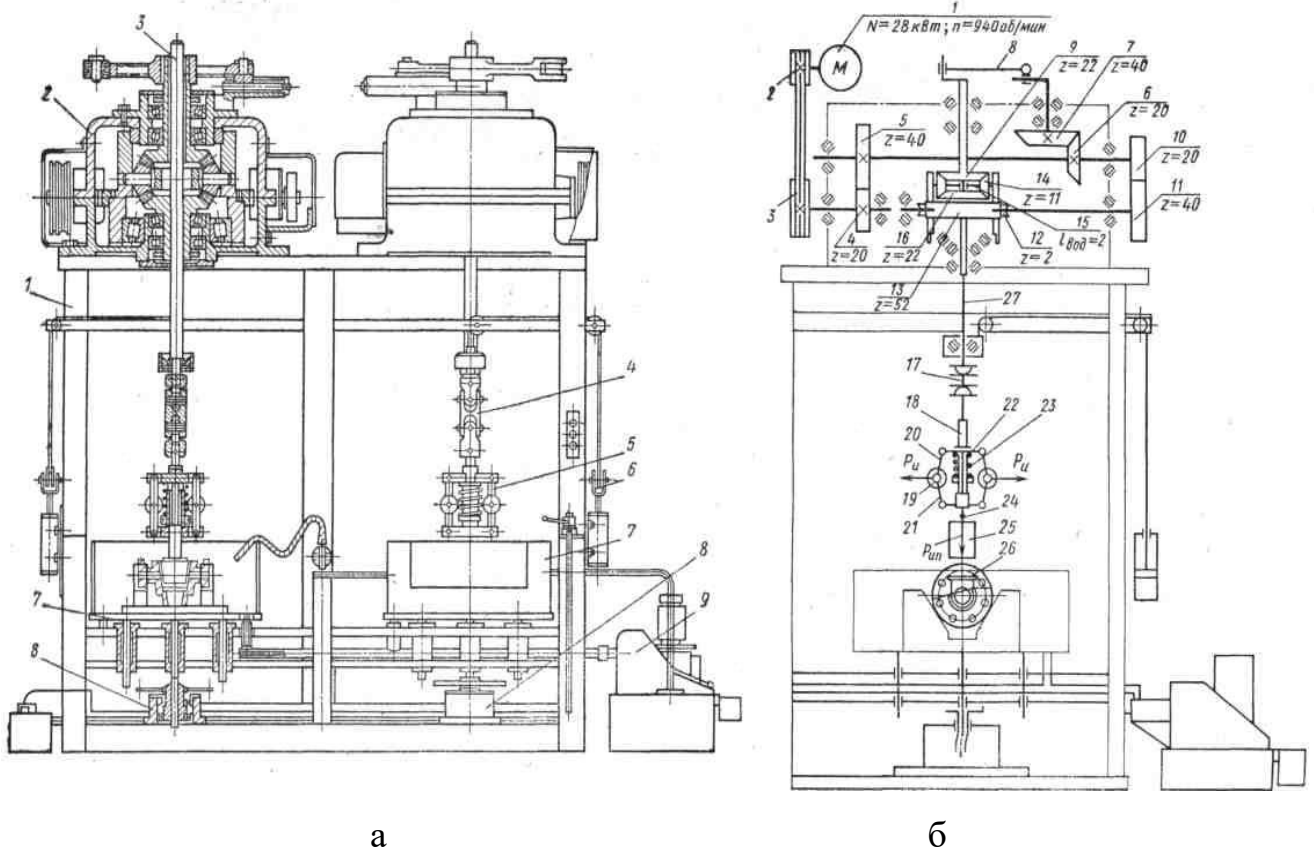


Рисунок 3.4 – Притиральний верстат моделі СК4000:

а – загальний вид верстата; б – кінематична схема верстата

Конструкція верстата складається із двох однакових робочих місць, які є ідентичними. Верстат має станину 1, де верхній частині розташовані приводи головного руху шпинделів (див. рис. 3.4, а). Привод кожного робочого місця має коробку швидкості 2 із шпинделем 3, до якого за допомогою подвійної шарнірної муфти 4 приєднана притиральна головка 5. Шпиндель з'єднаний із піднімальним

устроєм 6. У нижній частини станини розташований стіл 7, який змонтований на гвинтовому домкраті 8. Бак із електромагнітним сепаратором 9 установлений поряд з верстатом.

Коробка швидкості потрібна для зворотно-оберткових рухів із обертанням в одну сторону та для редукування швидкості обертання шпинделя. Притиральна головка із притиральною пробкою на рухомому штоку призначена для притиснення сполучених поверхонь змінною відцентровою силою, яка виникає за допомогою інерційних вантажів. Піднімальний устрій призначений для піднімання і опускання шпинделя з пробкою при її установленні (зніманні), та нанесенні абразивної пасти на поверхні притирання. Бак із електромагнітним сепаратором призначений для промивання рідиною заготовок безпосередньо на верстаті. Верстат виконує притирання конічних поверхонь із одночасною подачею абразивної суміші в зону обробки, яка періодично наноситься на поверхні притирання. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика верстата моделі СК4000

Параметр	Чисельні дані
Кількість робочих місць	2
Найбільші розміри поверхні притирання, мм: діаметр / довжина	130 / 140
Частота коливального руху шпинделя, Гц	1; 1,5; 1,9
Амплітуда коливань, мм	1,5
Кут повороту шпинделя при обертанні, рад: вперед / назад	0–1,3 / 0,25–1,7
Осьова сила на поверхні притирання, кН	0 – 40
Потужність верстата, кВт	2,8
Габаритні розміри (Д x Ш x В), мм	1800 x 975 x 2250
Маса верстата, кг	2260

Робота верстата відбувається наступним чином. Рух від електродвигуна 1 (див. рис. 3.4, б) через змінні шківні 2 і 3 ремінної передачі, циліндричні зубчасті колеса 4 і 5, конічні зубчасті колеса 6 і 7 передається ведучої ланки чотирьох ланкового механізму 8, який має кривошип із змінним радіусом. Чотирьох ланковий механізм перетворює обертальний рух у зворотно-поступальний ведучого колеса 9 диференціала. Від приводного вала через змінні зубчасті колеса 10 і 11, черв'як 12,

черв'ячне колесо 13, водило 15 диференціала передається повільний обертальний рух. Відоме колесо диференціала і змонтований у ньому шпindel 27 отримає сумарний зворотно-обертовий рух із обертанням в одну сторону.

До шпинделю разом із подвійною шарнірною муфтою 17 приєднаний корпус 18 притиральної головки. При обертанні притиральної головки, на вантажах 19 виникає відцентрова сила, яка за допомогою тяг 20, 21, траверси 22, стискує пружину стиску 23 і через рухомий шток 24 притискує притиральну пробку 25 до нерухомого корпусу 26.

3.3 Робота притиральної головки для обробки конічних з'єднань

Розглянемо роботу притиральної головки. Схема сил, які виникають при роботі притиральної головки, наведена на рисунку 3.5.

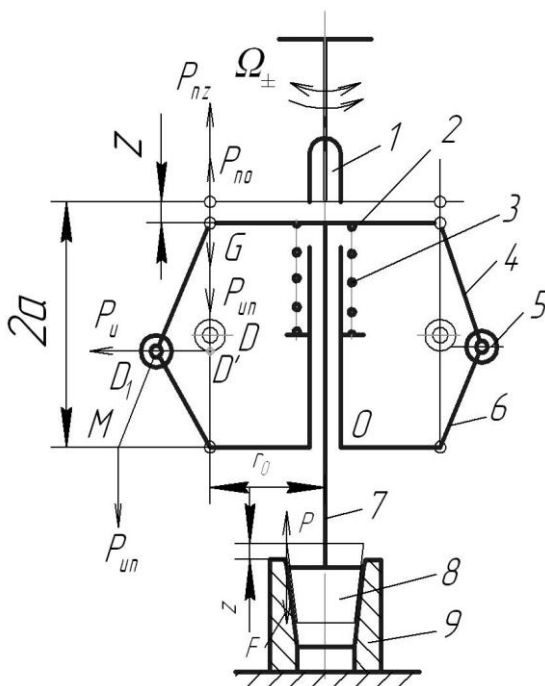


Рисунок 3.5 – Схема сил, які виникають на притиральній (навантажувальній) головці:

1 – шпindel (корпус притиральної головки); 2 – рухома траверса; 3 – пружина; 4 і 6 – тяги; 5 – вантаж; 7 – шток; 8 – перша притиральна деталь або притир; 9 – друга притиральна деталь або притир

Перед початком роботи верстата притиральна пробка знаходиться на відстані Z від нерухомого притирального корпусу. Сила вантажу деталей G (штока, вантажів, притиральної пробки) підвішені до рухомої траверси і врівноважуються силою стиску пружини $P_{\text{по}} = G$. При роботі притиральної головки під дією відцентрової сили вантажів $P_{\text{ип}}$, тяги і траверси, пружина стиску деформується. Для визначення сили $P_{\text{ип}}$ умовно приймаємо притиральну головку, у якої одна сторона є кривошипне-шатунний механізм, нерухомою і вважаємо, що сила $P_{\text{ип}}$ знаходиться у точці M . Для спрощення розрахунку, не враховуємо сили тертя і інерції інших деталей головки.

Будуємо трикутник ED_1M на схемі механізму, беремо полюсом сил точку E і за допомогою теореми І. Е. Жуковського запишемо вираз

$$P_{\text{ип}}(EM) = P_{\text{и}}(ED'). \quad (3.7)$$

Позначимо довжину тяги $ED_1 = a$, отримаємо

$$ED' = \frac{2a - z}{2}. \quad (3.8)$$

Тоді

$$EM = 2D_1D' = 2\sqrt{(ED_1)^2 - (ED')^2} = 2\sqrt{az - \frac{z^2}{4}}. \quad (3.9)$$

Підставимо значення EM и ED' , визначимо

$$P_{\text{ип}} = P_{\text{и}} \frac{2a - z}{\sqrt{4az - z^2}}, \quad (3.10)$$

де $P_{\text{и}}$ – відцентрова сила вантажу притиральної головки.

$$P_{\text{и}} = m\Omega^2(OE + D_1D) \text{ або } P_{\text{и}} = m\Omega^2 \left(r_0 + \sqrt{az - \frac{z^2}{4}} \right);$$

$r_0 = OE$ – початковий радіус обертання відцентрових вантажів головки.

Підставимо значення $P_{\text{и}}$ у вираз (3.10) і після перетворення, отримаємо

$$P_{\text{ип}} = m\Omega^2 r_0 \frac{1}{4} (2a - z) \frac{2r_0 + \sqrt{4az - z^2}}{r_0 \sqrt{4az - z^2}}. \quad (3.11)$$

Позначимо $k_{\text{п}} = \frac{1}{4} (2a - z) \frac{2r_0 + \sqrt{4az - z^2}}{r_0 \sqrt{4az - z^2}}$, можна записати:

$$P_{\text{ип}} = m\Omega^2 r_0 k_{\text{п}}, \quad (3.12)$$

де k_{Π} – коефіцієнт, який залежить від довжини тяги a , початкового радіуса обертання відцентрових вантажів r_0 і осьового руху штока Z притиральної головки.

Для зменшення сили інерції притиральної головки початковий радіус r_0 необхідно прийняти якомога меншим.

При обертанні притиральної головки зведена сила $P_{\text{ин}}$ долає силу пружини $P_{\text{пз}}$ і через шток притискає притиральну пробку до отвору корпусу силою $P_{\text{ос}}$:

$$\bar{P}_{\text{ос}} + \bar{P}_{\text{ин}} + \bar{G} + \bar{P}_{\text{по}} + \bar{P}_{\text{пз}} = 0, \quad (3.13)$$

де $P_{\text{ин}}$ – зведена відцентрова сила;

G – сила вали деталей, які підвішені до рухомої траверсі;

$P_{\text{пз}}$ – сила стиснення попередньо регульованої пружини;

P_0 – сила стиску пружини.

При $P_{\text{по}} = G$

$$\bar{P}_{\text{ос}} + \bar{P}_{\text{ин}} + \bar{P}_{\text{пз}} = 0. \quad (3.14)$$

Сила

$$P_{\text{пз}} = cz, \quad (3.15)$$

де C – коефіцієнт жорсткості пружини;

Z – деформація пружини при роботі головки.

Підставимо значення $P_{\text{ин}}$ і $P_{\text{пз}}$ в рівняння (3.14) і отримаємо

$$P_{\text{ос}} = m\Omega^2 r_0 k_{\Pi} - cz. \quad (3.16)$$

Залежно від кутової швидкості Ω обертання притиральної головки притиснення оброблювальних поверхонь можливо за умови

$$m\Omega^2 r_0 k_{\Pi} > cz.$$

Піднімання пробки відбувається за умови

$$m\Omega^2 r_0 k_{\Pi} < cz - F_{\text{со}},$$

де $F_{\text{со}}$ – осьова сила тертя.

Таким чином, притирання конічних поверхонь відбувається за умови, коли кутові швидкості робочого руху становлять:

для притиснення притиральних поверхонь

$$\Omega > \sqrt{\frac{cz}{mr_0 k_{\Pi}}}, \quad (3.17)$$

для відриву притиральних поверхонь

$$\Omega < \sqrt{\frac{cz}{mr_0k_{\pi}}}. \quad (3.18)$$

Із збільшенням руху штока кутова швидкість обертання, що відповідає моменту початку відриву і притиснення притиральної поверхні, збільшується. Тому для підвищення продуктивності при проектуванні конструкції притиральної головки необхідно хід рухомого штока прийняти якомога меншим.

При видаленні металу із притиральних поверхонь осьова подача пробки відбувається автоматично. Це можливо тому, що поступальний рух штока обмежений притиральною поверхнею нерухомого корпусу встановленого перед початком притирання в потрібному положенні відносно притиральної поверхні пробки. Із зміною напрямку робочого руху швидкість обертання притиральної головки і зведеної сили знижуються до нуля. Пружина відкидає траверсу і притиральні поверхні розтискаються.

Притирання конічних поверхонь деталей пробкових кранів на верстаті СК4000 забезпечує 100% прилеглисть (за краскою), шорсткість поверхні кожної деталі $R_a = 0,02 \div 0,16$ мкм і точність допуску різниці кутів конусів отворів пробки і корпусу до $10''$ [16].

3.4 Припуск і кількість операцій для притирання

Величина видаленого припуску при притиранні і кількість операцій залежить від вимог щодо точності геометричної форми і шорсткості поверхні. Мінімальну величину припуску h_{min} можна розрахувати за формулою [16]

$$h_{min} = \sum_{i=1}^n (\Delta_{1i} - \Delta_{2i})k_{\Delta} + k_{Rz}R_{max}, \quad (3.19)$$

де Δ_{1i} і Δ_{2i} – відповідно вихідне і кінцеве відхилення геометричної форми (похибка кута конусу кінцевого отвору корпусу);

$k_{\Delta} = 1,5 - 2,0$ – коефіцієнт, який залежить від умов притирання;

$k_{Rz} = 4 - 6$ – коефіцієнт, який враховує гарантоване усунення шорсткості на окремих ділянках поверхні (глибоких рисок, подряпин і т. ін.).

Розрахуємо припуск для притирання конічного з'єднання пробки і корпусу.

Вихідні дані:

- вихідна похибка кута конусу конічного отвору $\Delta_{1i} = 10$ мкм;
- кінцева похибка кута конусу конічного отвору $\Delta_{2i} = 2$ мкм.
- найбільша вихідна висота нерівностей профілю $R_{max} = 0,4$ мкм.

$$h_{min} = (10 - 2) \cdot (1,5 - 2) + (4 - 6) \cdot 0,4 = 13,6 - 18,4 \text{ мкм.}$$

Операція притирання складається із трьох етапів – попередній, проміжний і остаточний. Основна частина припуску видаляється на попередньому етапі. Обробка виконується притиральною суспензією із крупним абразивом. На проміжній та кінцевій стадіях обробка виконується мілким абразивом, але достатнім для видалення мікронерівності після попереднього притирання.

За даними [16, 17] шорсткість поверхні в межах $R_a = 0,04-0,16$ мкм забезпечується на одній операції притирання. Тому, для притирання наданого пробкового з'єднання достатньо однієї операції, щоб забезпечити його герметичність. Приймаємо припуск 0,02 мкм.

3.5 Рекомендації для вибору режимів різання при обробки притиранням пробкового з'єднання

При притиранні конічних поверхонь методом об'ємного контакту робочому руху відповідає лінійна швидкість коливального руху точок оброблювальної поверхні, яка визначається за формулою

$$\bar{v}_{\pm} = \bar{v}_{k\pm} + \bar{v}_n, \quad (3.20)$$

де $\bar{v}_{k\pm}$ – лінійна швидкість головного (коливального) руху (знак плюс відповідає обертанню вперед, знак мінус обертанню назад);

\bar{v}_n – лінійна швидкість кругової подачі.

Якщо швидкість головного руху є величиною змінюваною, то вона визначається середньою швидкістю за формулою

$$v_{\pm cp} = \frac{\psi D_i n_{дв.х} (1 \pm k)}{2 \cdot 1000}, \quad (3.21)$$

де ψ – амплітуда головного руху, рад;

D_i – діаметр в прийнятому перерізі конічної деталі, мм;

$n_{\text{дв.х}}$ – кількість подвійних ходів в хвилину;

k – відношення швидкостей робочих ходів.

Швидкість кругової подачі в прийнятому перерізі конічної деталі

$$v_{\text{п}} = \frac{\pi D_i n}{1000}, \quad (3.22)$$

де n – частота обертання деталі, об/хв.

Тиск, який потрібний для притирання, діє на оброблювальну поверхню не однаково. Якщо умовно прийняти кути конусів поверхонь притирання однакові, то тиск на конічну поверхню можна визначити за формулою

$$P_{\text{уд}} = \frac{100P_{\text{ос}}}{\pi(D_{\text{max}} - H \text{tg} \beta) H \text{tg} \beta}, \quad (3.23)$$

де $P_{\text{ос}}$ – осьова сила, кгс;

D_{max} – найбільший діаметр деталі притирання, мм;

H – висота конічної поверхні деталі, мм;

β – кут нахилу, град.

Рекомендовані режими різання для сумісного притирання пробки и корпусу пневмоапарата кранового:

- швидкість головного руху 30 м/хв;
- швидкість додаткового поступально-зворотного руху 1,6 м/хв;
- питомий тиск 0,7 МПа.

Характеристика притирального інструменту: матеріал і концентрація компонентів притиральної суміші: 60% 63М20, 37% мінерального мастила, 3% олеїнової кислоти. Консистенція абразивної суміші – Г. Припуск на сторону дорівнює 0,01 мм. Після притирання деталей забезпечується 100% прилеглисть по фарбі, шорсткість притертих поверхонь за критерієм $R_a = 0,08 - 0,16$ мкм.

3.6 Висновок

1. Для сумісного притирання конічних поверхонь корпусу і пробки пневмоапарата кранового на операції 030 «Притиральна» запропонований метод об'ємного контакту робочих рухів сполучених деталей.

2. Для забезпечення однакового конусу з'єднаних поверхонь пробки і корпусу застосований спеціальний притиральний верстат моделі СК4000.

3. З метою реалізації потрібних режимів різання при сумісному притиранні конічного з'єднання застосована спеціальна притиральна головка. Її застосування забезпечує 100% прилеглисть по фарбі і шорсткість притертих поверхонь за критерієм $R_a = 0,08 - 0,16$ мкм.

4. Розрахована мінімальна величина припуску для його видалення при притиранні та кількість операцій залежно від вимог точності геометричної форми і шорсткості поверхні.

5. Надані рекомендації для вибору режимів різання при притиранні конічних поверхонь методом об'ємного контакту робочих рухів сполучених деталей.

ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз службового призначення корпусу пневмоапарата кранового, проаналізовані технічні умови деталі для її виготовлення.
2. Визначений тип виробництва – середньосерійний та форма організації виробництва – групова.
3. Виконаний аналіз технологічності конструкції корпусу за якісними показниками. Конструкція деталі визнана технологічною.
4. Виконаний аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення корпусу та визначені завдання для удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.
5. Запропонований удосконалений варіант технологічного процесу виготовлення корпусу.
6. Визначений спосіб одержання вихідної заготовки – лиття в кокіль та розроблені технічні вимоги на її виготовлення.
7. Розрахунково-аналітичним методом із використанням ЕОМ визначені припуски і допуски на обробку конічного отвору із розміром максимального $\varnothing 20H6(+0,013; 0)$ мм і кутом в межах $4^\circ \pm 10''$.
8. Обґрунтована схема базування і закріплення заготовки на операції 025 «Хонінгувальна», вибрана модель верстата, технологічна оснастка, різальний та вимірювальний інструмент, розраховані режими різання і норми часу.
9. Розроблене технологічне налагодження операції 025 «Хонінгувальна» для обробки конічного отвору корпусу.
10. Спроектований пристрій для базування і закріплення корпусу на операції 025 «Хонінгувальна».
11. На операції 030 «Притиральна» запропонований спосіб об'ємного вібраційного сумісного притирання конічних поверхонь пробкового з'єднання із застосуванням інерційно навантажувального пристрою.
12. Визначені кінематичні параметри притирання, які впливають на герметичність геометричної форми з'єднаних деталей – корпусу і пробки.

13. Для удосконаленого технологічного процесу виготовлення корпусу розроблений маршрутний технологічний процес, креслення заготовки, налагодження і пристрій для хонінгування.

14. Для операції сумісного притирання кінчних поверхонь деталей обраний спеціальний верстат із інерційно навантаженим пристроєм.

15. Розроблені заходи по соціальної та професійної безпеки працюючих на ділянці по виготовленню корпусу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Добрянський, С. С.** Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
2. Чавун. Характеристики металу, особливості виробництва і застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://metinvest-smc.com/ua/articles/chto-takoe-chugun-kharakteristiki-metalla-osobennosti-proizvodstva-i-primeneniya/?srsltid=AfmBOorxi3CwfhCSAIt4Eo_1e0k2-qAQZbnTujjJBzghgyzfPus61vWG
3. **Бойко, Ю. І.** Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
4. **Попович, В. В.** Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підруч. для вищ. навч. закл. / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
5. **Біланенко, В. Г.** Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / Біланенко В. Г., Приходько В. П., Мельник О. О.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с.
6. ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси й припуски на механічне оброблення.
7. **Дзюра, В. О.** Технологічні методи забезпечення параметрів якості поверхонь тіл обертання та їх профілометричний контроль / В. О. Дзюра, П. О. Марущак. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. – 170 с.

8. **Залога, В. О.** Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні : навчальний посібник / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога; за заг. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371 с.
9. Azarhoushang, B., Marinescu, I. D., Rowe, W. B., Dimitrov, B., Ohmori, H. Tribology and Fundamentals of Abrasive Machining Processes (Third Edition), William Andrew Publishing, 2022.
10. **Паливода, Ю. Є.** Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
11. Murat Güner, Sven-Erik Lang, Dirk Bähre, Influence of selective process interfering on the workpiece fixture dynamics in precision honing. Manufacturing Letters, Volume 35, Supplement, 2023, Pages 314-320, <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.071>.
12. Guanghui Li, Jiang Han, Xiaoqing Tian, Jianping Tang, Tongfei You, Lian Xia. Prediction of honing force based on kinematic-geometric simulation. Journal of Manufacturing Processes, Volume 101, 2023, Pages 1136-1146, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.06.051>.
13. Güner, M., Daniel, M., Bähre, D. Approach and Development of a Methodology for Machining of Shapes in Cylindrical Bores by Precision Honing. Manufacturing Letters, Volume 33, Supplement, 2022, Pages 365-372, <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2022.07.044>.
14. **Петров, О. В.** Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
15. **Мазур, М. П.** Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.
16. **Пуховський, Є. С.** Прогресивні процеси обробки матеріалів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за

спеціальністю 131 «Прикладна механіка» / Є. С. Пуховський ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 132 с.

17. **Паливода, Ю. Є.** Технологія оброблення корпусних деталей : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 156 с.