

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня **«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 циліндра**

21-586-0023-004 шляхом структурно-параметричної оптимізації

хонінгувальної операції

Здобувача (ки) групи **ТМ.м-21**

(шифр групи)

Кондратенко Ігор Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Ігор КОНДРАТЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівники

зав. кафедри, д-р техн. наук, проф. **Віталій ІВАНОВ**

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

(підпис)

професор, доктор філософії **Антош КАТАЖИНА**

Консультант

з питань

охорони праці

ст. викладач, канд. техн. наук **Віра ФАЛЬКО**

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

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент **Олександр ІВЧЕНКО**

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

(підпис)

Суми – 2023

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРА КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ КС-4,0-ЦГТП/0,6-12.....	6
1.1 Функціональне призначення циліндра 21-586-0023-004	6
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі	8
1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації	10
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	12
1.5 Аналіз операцій існуючого технологічного процесу обробки циліндра ...	14
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	21
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРА	23
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення циліндра.....	23
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення заготовки та розроблення технічних вимог	24
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку поверхні обертання.....	27
2.4 Розроблення структури операції 035 «Хонінгувальна»	29
2.4.1 Обґрунтування та вибір схем базування та закріплення заготовки.....	29
2.4.2 Обґрунтування та вибір моделі металорізального верстата.....	31
2.4.3 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	31
2.4.4 Розрахунок режиму різання	33
2.5 Проектування пристрою для хонінгування.....	37
2.5.1 Обґрунтування мети операції і завдання для проектування.....	37
2.5.2 Розроблення і обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.	38
2.5.3 Розрахунок точності елементів пристрою.....	42
2.5.4 Опис конструкції і роботи пристрою	43

2.6	Проектування хонінгувальної головки	43
2.7	Висновок	46
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ФОРМИ ПРОФІЛЮ ОТВОРУ У ПОЗДОВЖНЬОМУ ПЕРЕРІЗІ ПІСЛЯ ХОНІНГУВАННЯ.....		47
3.1	Математична модель процесу видалення припуску при хонінгуванні абразивним інструментом	47
3.2	Методика для розрахунку режимів обробки отворів новим способом хонінгування	52
3.3	Умови підвищення продуктивності хонінгування отворів із вихідною похибкою геометричної форми у поздовжньому перерізі.....	56
3.4	Розробка способу та конструкції для хонінгування глухих отворів	58
3.5	Техніко-економічне обґрунтування хонінгувальної головки для обробки циліндра.....	63
3.6	Висновок.....	66
ВИСНОВКИ.....		67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....		69

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах широко застосовуються конструкції деталей із глухими отворами, підвищеною точністю форми і низькою шорсткістю поверхні.

Оздоблювальна обробка глухих отворів виконується із застосуванням абразивного або алмазного інструмента. Із багатьох методів обробки абразивним інструментом найбільш ефективним є обробка хонінгуванням. Кінематика хонінгування дозволяє виправити похибки геометричної форми поверхні в поздовжньому і поперечному перерізах, зменшити шорсткість.

Проблема підвищення точності геометричної форми вирішується шляхом застосування хонінгувальних головок підвищеної жорсткості та оптимізацією режимів різання (величинами тиску, довжини та перебігу брусків). Стабільність продуктивності досягається за рахунок раціонального режиму різання, підвищеного тиску на бруски і додаткових рухів інструмента. Суттєвим недоліком цих способів обробки є низька інтенсивність виправлення похибок форми. Останнє пояснюється тим, що інтенсивність виправлення похибок форми зменшується зі зменшенням вилученого металу, що спричинено циклом процесу хонінгування.

В багатьох випадках точність форми залежить від зменшення швидкості поздовжнього руху хонінгувальної головки та часом її знаходження в кінці кожного руху. На зменшення похибки форми впливає поділка технологічного процесу на чорнові, чистові та оздоблювальні операції, періодична правка хонінгувальних брусків. Перелічені дії суттєво зменшують продуктивність обробки і не завжди виправляють похибки форми і зменшують шорсткість поверхні.

Таким чином, дослідження закономірностей хонінгувальної операції із подальшим її удосконаленням є актуальною проблемою, рішення якої дозволить забезпечити високу якість поверхонь виробів.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є циліндр компресора із внутрішнім глухим отвором.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є існуючий спосіб хонінгування поверхонь глухих отворів із подальшим його удосконаленням.

Мета дослідження. Метою дослідження є забезпечення точності форми поверхонь глухих отворів шляхом підвищення продуктивності хонінгування.

Завдання дослідження. Розробити математичну модель процесу видалення припуску у різних перерізах глухого отвору. Запропонувати методику розрахунку режимів обробки для нового способу хонінгування глухих отворів. Розробити нову кінематику способу хонінгування із урахуванням вихідних похибок форми отвору у поздовжньому перерізі.

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, часу хонінгування та вихідних похибок профілю поздовжнього перерізу глухого отвору.

Запропонований метод розрахунку оптимальних режимів різання для операції хонінгування із урахуванням вихідної похибки поздовжнього перерізу глухих отворів заготовок.

Практичне значення одержаних результатів. Визначені фактори, що впливають на продуктивність хонінгування. Розроблений і теоретично обґрунтований новий спосіб хонінгування для підвищення продуктивності обробки глухих отворів із вихідною похибкою геометричної форми в поздовжньому перерізі.

Особистий внесок магістранта. Розроблена нова кінематична схема способу хонінгування абразивними брусками.

Апробація результатів магістерської роботи. Публікації. Немає.

Структура і об'єм роботи. Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних посилань із 29 найменувань, 71 сторінка машинописного тексту, 23 рисунків, 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРА КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ КС-4,0-ЦГТП/0,6-12

1.1 Функціональне призначення циліндра 21-586-0023-004

Газліфтові компресорні станції застосовуються для наповнення газом ємкості автомобілів і т. ін. Стисла технічна характеристика компресорної станції наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Стисла технічна характеристика компресорної станції

Продуктивність на виході млн. м ³ за добу	4,0
Тиск газу на вході, МПа (кгс/см ²)	0,6 (6)
Тиск газу на виході, МПа (кгс/см ²)	11,0 – 12,0 (110 – 120)
Температура газу на вході, К (°С)	278 – 303 (5 – 30)
Температура газу на виході, К (°С)	318 (45)
Номинальна потужність, кВт	32

В системі компресорної станції застосовується циліндр 21-586-0023-004 (див. додаток А). Конструкцією циліндра передбачений отвір Ø50H7 мм довжиною 90 мм, який є основною виконавчою поверхнею (ВП). Отвір разом із штоком слугують для стиснення газу до потрібного тиску. До ВП можна віднести комплекс поверхонь 17, які передбачені для видалення тепла із зони стиснення газу (див. рис. 1.1).

Торець деталі 1 з'єднується із корпусом, в якому розташований шток, що рухається уздовж отвору 5 і стискує газ. Поверхня 1 є основною конструкторською базою (ОКБ), яка визначає потрібне розташування у виробі і позбавляє деталь трьох ступенів свободи. Чотири отвори 11 передбачені для кріплення деталі до корпусу. Будь-яке одне із них є ОКБ і позбавляє деталь двох ступенів свободи. Потрібне орієнтування навколо осі деталі визначає торцева поверхня 8 бобишки, яка є ОКБ і позбавляє деталь однієї ступені свободи.

Комплект ОКБ визначає потрібне орієнтування циліндра у виробі. В таблицях 1.2 і 1.3 наведені зв'язки і ступені позбавлення свободи поверхонь.

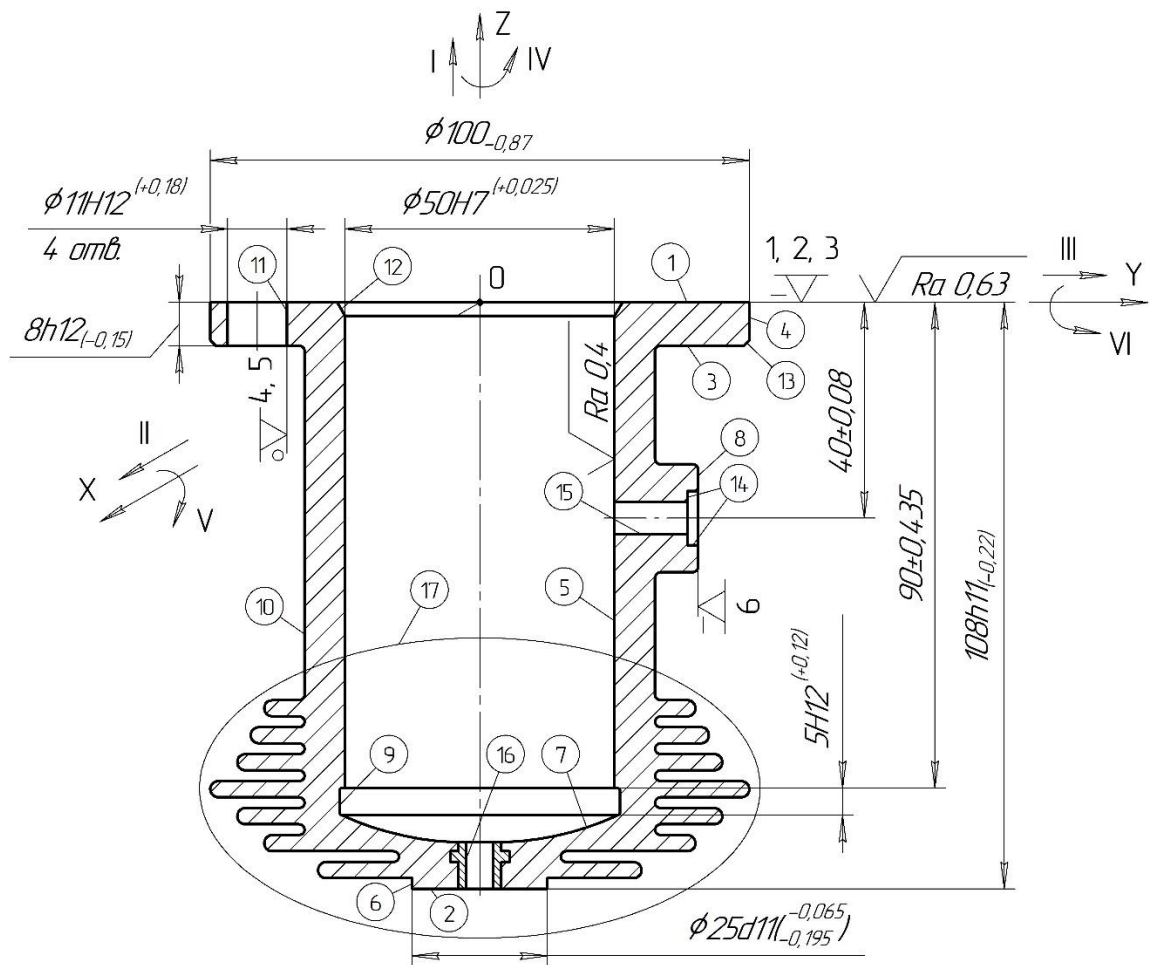


Рисунок 1.1 – Ескіз циліндра з нумерацією поверхонь

Таблиця 1.2 – 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	ОБ, явна

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / l, 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	ОБ
α	0	0	1	
Всього	2	2	2	6-Ь зв'язків

Поверхні 2, 3 (частково), 8, 14, 16 є допоміжними конструкторськими базами (ДКБ) і визначають розташування приєднаних до них інших деталей.

Аналіз інших поверхонь деталі показав, що частина поверхні 10, поверхня 3, частина поверхні 5, торцева поверхня 2 на окремих операціях технологічного процесу виготовлення деталі можуть виконувати функцію технологічних баз (ТБ). Інші поверхні, які зазначені на рисунку 1.1 є вільними, вони визначають лише габарити та масу деталі.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Технічні вимоги на виготовлення деталі наведені на кресленні циліндра (див. додаток А). Виходячи із умов експлуатації деталі в повітряному компресорі, конструктор призначив матеріалом стійкий до корозії чавун марки ЧН1ХМД ГОСТ 11849-76.

Хімічний склад чавуну та його механічні властивості наведені відповідно в таблицях 1.4 та 1.5 [4].

Таблиця 1.4 – Хімічний склад чавуну, в процентах

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	Ti	P	S
								Не більше	
2,8-3,2	1,6-2,0	0,9-1,2	0,2-0,6	0,7-1,5	0,2-0,5	0,3-0,6	–	0,15	0,12

Таблиця 1.5 – Механічні властивості чавуну

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	НВ
–	300	–	201-286

Чавун марки ЧН1ХМД ГОСТ 11849-76 застосовується для деталей поршневих машин, двигунів внутрішнього згорання та компресорів, які працюють в умовах підвищеного зносу і газової корозії (продуктів згорання палива, технічний кисень і т. ін.). Характерні деталі де застосовується наведена марка чавуну – поршні та гільзи циліндрів повітряних, кисневих і газових компресорів. За даними джерела [3] швидкість корозії чавуну в середовищі

водопровідної води при температурі 20° С не перевищує 0,024 г/м²·год і є мінімальним відносно інших марок чавуну.

Механічна обробка наведеної марки чавуну залежить від багатьох факторів, а саме, хімічного складу, структури, фізико-механічних властивостей. Марка чавуну має збільшений склад графіту, дисперсність і рівномірність розподілу структурних складових, що пов'язано із збільшеним складом легуючих елементів. Зазначені властивості спромагають однакову рівномірну твердість шару металу, що підвищує продуктивність його обробки різальним лезовим і абразивним інструментом.

Виходячи із фізико-механічних і технологічних характеристик чавуну ЧН1ХМД можна затверджувати, що циліндр компресора варто виготовляти із цієї марки. Застосування чавуну інших марок може погіршати експлуатаційні та механічні властивості деталі.

Виконаємо аналіз основної технічної вимоги креслення циліндра – точність розміру, шорсткості, форми поверхні отвору Ø50H7 мм (дивись креслення 21-586-0023-004).

Поле допуску Ø50H7 мм призначено конструктором для посадки Ø50H7/h7. Згідно рекомендацій ГОСТ 25347-82 зазначена посадка застосовується для поступально-зворотного руху поршня за підвищеними вимогами до компресії стислого газу. Шорсткість мікрорельєфу поверхні становить R_a=0,4 мкм. Зазначені вимоги креслення передбачають застосування в технологічному процесі операції хонінгування.

Точність форми поверхні отвору Ø50H7 мм знаходиться в межах поля допуску (25 мкм) на розмір і становить 0,005 мм (допуски круглості, профілю поздовжнього перерізу і прямолінійності). Згідно ГОСТ 23643-81 допуски форми відповідають шостому ступеню точності C=20% допуску на розмір. Для циліндра наведена точність достатня, тому що довжина отвору 87,5 мм, а поздовжній рух поршня в складальній одиниці становить близько 40 мм. Підвищене відхилення форми поверхні отвору від зазначеного допуску (0,005 мм) може визвати

заклинювання поршню в циліндрі і призвести до руйнування виробу. Таким чином, допуски форми поверхні отвору зазначені конструктором обґрунтовано.

Шорсткість поверхні циліндра становить $R_a=0,4$ мкм і відповідає рекомендованій залежності мінімальній шорсткості від допуску на розмір [1]. Зазначена шорсткість передбачає інтенсивність експлуатації вузла за період роботи виробу. Величина параметру шорсткості зменшує сили тертя, знос робочих поверхонь циліндра і поршня, температуру їх нагрівання і відповідає вимогам потрібної експлуатації деталі у виробі.

Креслення виконано за вимогами нормативу ЄСКД. Кількість видів і перерізів достатньо для повного уявлення деталі. Поверхні деталі мають розміри, зазначена їх точність, шорсткість. На кресленні наведені технічні вимоги для обробки деталі.

1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$ згідно ГОСТ 3.1108-74. Коефіцієнт розраховується за поділкою всіх різноманітних операцій, що виконуються виробничим підрозділом за місяць, до кількості робочих місць. На перших етапах проектування тип виробництва можна визначити табличним методом, а потім уточнити за коефіцієнтом закріплення операцій [4].

Тип виробництва залежить від річної програми випуску виробів $N = 3000$ штук та їх трудомісткості. Спочатку визначимо місячний випуск виробів N_m :

$$N_m = \frac{N}{12} = \frac{3000}{12} = 250 \text{ шт,}$$

де 12 – кількість місяців в році.

Трудомісткість виготовлення деталі за даними виробництва складає 0,5 години. За даними джерела [1, рис. 15.9, с. 461] та за результатами розрахунку $K_{з.о}$ (див. додаток Б) це буде середньосерійне виробництво.

Визначимо кількість деталей в партії $N_{\text{п}}$ для одночасного їх запуску у виробництво спрощеним способом за формулою [3, с. 23]:

$$N_{\text{п}} = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{3000 \cdot 12}{254} = 142 \text{ шт,}$$

де $a = 12$ днів – періодичність запуску деталей в днях;
254 дні – кількість робочих днів у році.

Згідно ГОСТ 14.004-83 [5] у середньосерійному виробництві основною формою організації є групова форма. На підприємствах з груповою формою організації робочі місця спеціалізовані, а саме, закріплені за кожним із декількох операцій для виготовлення деталей, обробка яких ведеться партіями.

Використовується універсальне, спеціалізоване і частково спеціальне обладнання. Широко застосовуються верстати з ЧПК, оброблювальні центри, гнучкі автоматизовані системи на основі верстатів з ЧПК, пов'язаних транспортуючими пристроями, керованими від ЕОМ. Устаткування розташовано за технологічними групами із урахуванням напрямку основних вантажних потоків цеху. Застосовується універсально-збірне, періодично налагоджувальне технологічне оснащення. Основний типаж різального інструменту – універсальний і спеціальний. Вимірювальний інструмент – калібри, спеціальний вимірювальний інструмент.

Вихідними заготовками застосовують гарячий та холодний прокат, лиття в земляні форми, лиття під тиском, точне лиття, поковки і точні штамповки.

Технологічна документація та нормування докладно розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок і спрощеного нормування для простих заготовок. Одночасно має місце застосування укрупненої документації.

У середньосерійному виробництві технологічний процес переважно диференційований, тобто розчленований на окремі операції, які закріплені за окремими визначеними верстатами. Середня кваліфікація основних робочих вище, ніж у масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному виробництві. Розряди робочих знаходяться в межах 3–5 розрядів.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінювання технологічності за якісними показниками. Конструкція деталі складена із циліндричних, площинних і фасонних поверхонь, що дозволяє застосувати відомі методи обробки (розточування, точіння, свердління, фрезерування, шліфування) та реалізувати прості схеми базування і закріплення [5].

Обробка поверхонь $\varnothing 50H7$ мм, $\varnothing 100$ мм, торців $\varnothing 100/\varnothing 50$, $\varnothing 100/\varnothing 65$, внутрішнього кармана $\varnothing 52 \times 5$ мм, поверхні радіусом R80 мм передбачає єдність технологічних баз при їх виготовленні – поверхні $\varnothing 65$ мм і торця $\varnothing 25$ мм, які є чорновими базами. Чорнове і чистове розточування отвору $\varnothing 50H7$ мм виконується з одного установу операції із використанням наведених чорнових баз, що дозволить забезпечити точність (8-й квалітет) і шорсткість ($R_a=2,5$ мкм) оброблювальної поверхні. Наведену конструкцію елементів деталі можна вважати технологічною.

Для свердління чотирьох отворів $\varnothing 11H12$ мм на «прохід» доцільно використати нижній торець $\varnothing 100/\varnothing 65$, торцеву площину бобишки $\varnothing 20$ мм і розточений отвір $\varnothing 49,8H8$ мм. Застосування наведеного комплекту базових поверхонь забезпечить виконання технічної вимоги кутового розташування отворів $\varnothing 11H12$ мм і співвісність їх осей на $\varnothing 82,5$ мм в межах 0,1 мм від осі деталі. Точність розмірів та взаємне розташування чотирьох отворів не передбачає труднощів при їх виготовленні і наведену конструкцію поверхонь деталі можна вважати технологічною.

Конструкція ступінчастого отвору $\varnothing 8$ мм із канавкою $\varnothing 12 \times 2$ мм є відносно технологічною. Розточування канавки потребує застосування спеціального різця, що збільшує трудомісткість технологічної операції.

Нетехнологічним рішенням є введення в технологічний процес слюсарно-складальної операції. На операції виконується заповнювання розплавленим металом (виливаною бронзою марки Бр.ОЦС4-4-4) ступінчастого отвору $\varnothing 8$ мм із канавкою $\varnothing 12 \times 2$ мм. Конструктор прийняв обґрунтоване рішення, пов'язане із нерухомим застосуванням бронзової втулки і неможливістю її зрушення в

межах роботи компресора. За час тривалої роботи компресора інші конструкції втулки не зможуть забезпечити її нерухомість у вузлу, що пов'язано із швидкою зміною високого тиску та температури.

Наявність в конструкції циліндра температурних ребр різних діаметрів і товщини передбачає їх виготовлення на заготівельній операції. Точність і шорсткість поверхонь ребр, матеріал чавуну ЧН1ХМД дозволяє їх виготовлення методом лиття в металеві форми. Запропонована конструкція ребр циліндра практично не ускладнює технологічний процес виготовлення і тому її можна вважати технологічною.

Таким чином, за якісними показниками деталь є відносно технологічною, допускає застосування відомих методів обробки, роботу на верстатах з ЧПК із використанням продуктивних режимів різання.

Оцінювання технологічності за кількісними показниками. Технологічність конструкції деталі оцінювалася наступними показниками.

1 Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів K_y . Деталь має 31 конструктивний елемент: циліндричних зовнішніх поверхонь – 3; циліндричних внутрішніх поверхонь – 8; фасок – 2, карманів – 1; радіусних поверхонь – 1; торцевих поверхонь – 5; галтелей – 4; ребр – 7.

Із цих поверхонь 24 – уніфіковані, а 7 поверхонь – оригінальні (ребра). Коефіцієнт уніфікації становить

$$K_y = 24/31 = 0,78.$$

Показник коефіцієнта уніфікації елементів високий і за цим критерієм конструкцію деталі можна вважати технологічною [3].

2 Коефіцієнт точності K_T діаметральних і основних лінійних розмірів деталі (див. табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Коефіцієнт точності K_T

Квалітет точності T_i	7	8	9	10	11	12	13	14
Кількість квалітетів n_i	2	2	–	–	3	28	–	7
$T_i \cdot n_i$	14	16	–	–	33	336	–	98

$$\Sigma n_i = 42; \quad \Sigma(T_i \cdot n_i) = 497.$$

$$T_{cp} = \frac{\Sigma(T_i \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{497}{42} = 11,83.$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{11,83} = 0,92.$$

За даними показника коефіцієнту точності $K_T = 0,92$ конструкцію деталі можна вважати технологічною. [3].

3 Коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$ діаметральних і торцевих поверхонь деталі (див. табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$

Шорсткість поверхонь ΣR_a , мкм	0,4	0,63	1,25	2,5	3,2	6,3
Кількість поверхонь n_i	2	1	16	2	22	
$\Sigma R_a \cdot n_i$	0,2	1,25	40	6,4	138,6	

$$\Sigma n_i = 42; \quad \Sigma(R_a \cdot n_i) = 186,45.$$

$$R_{a, cp} = \frac{\Sigma(R_a \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{186,45}{42} = 4,44.$$

$$K_{ш} = \frac{1}{R_{a, cp}} = \frac{1}{4,44} = 0,23.$$

Показник коефіцієнта шорсткості $K_{ш} = 0,23$ є достатнім і за цим критерієм конструкцію деталі можна вважати технологічною [3].

Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними та кількісними показниками дозволив визнати її технологічною на стадіях виготовлення заготовки та механічної обробки.

1.5 Аналіз операцій існуючого технологічного процесу обробки циліндра

Операція 005. Лиття металів і сплавів. Заготовка циліндра на операції одержана литтям під тиском в металеві форми згідно ГОСТ 26645-85. Маса заготовки становить 2,04 кг.

Операція 010. Термічна обробка. Під час виливання заготовки в структурі матеріалу (чавун марки ЧН1ХМД ГОСТ 11849-76) виникає перерозподіл напружень (I, II, III роду), що призводить до її жолоблення. Для зняття

напружень усього об'єму циліндру застосовується штучне старіння – низькотемпературне відпалювання. Заготовку розташовують в печі з температурою 520-650 °С і витримують її в печі не менше трьох годин. За названими режимами остаточні напруження знижуються на 60-70%.

Операція 015. Розточувальна з ЧПК. Операція виконується на вертикально-розточувальному верстаті моделі 2776В. Заготовка базується на столі верстата необробленими (чорновими) поверхнями – торцем $\varnothing 27 \pm 0,25$ мм і $\varnothing 65(0; -0,74)$ мм (див. рис. 1.2).

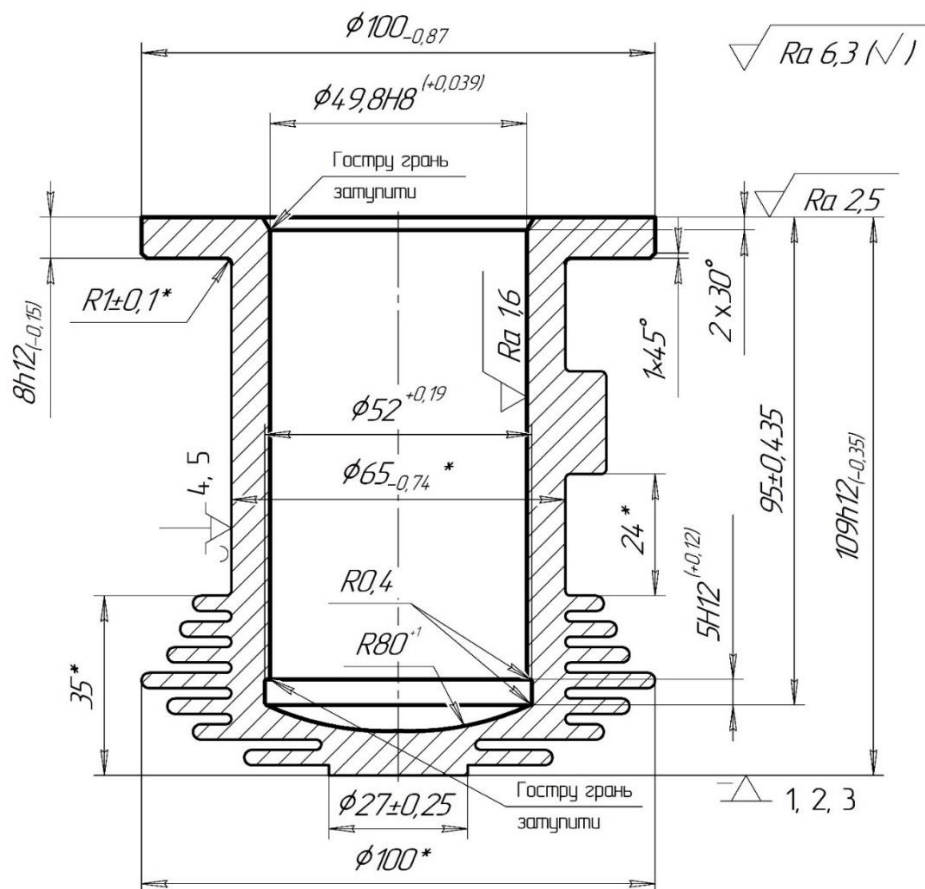


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки на операції 015

На операції використовується токарний патрон із спеціальними кулачками. Затиснення кулачками відбувається в межах зазначеної довжини 24* мм заготовки.

На операції спочатку виконується зовнішня обробка торцевої поверхні $\varnothing 100/\varnothing 50$, фланця $\varnothing 100(0; -0,87)$ мм, підрізання внутрішньої торцевої поверхні

Ø100/Ø65. Потім розточується отвір із Ø47±0,28 мм до Ø49,8H8 мм (чорнова і чистова обробка) довжиною 95±0,435 мм. За вимогами креслення гострі кромки на пересіченні поверхонь затуплюються. Далі розточується «карман» Ø52 x 5 мм і обробляється поверхня радіусом R80(+1; 0) мм остаточно.

Операція 020. Токарна з ЧПК. Обробка заготовки виконується на токарному верстаті з ЧПК моделі 16Б16Т1 (див. рис. 1.3).

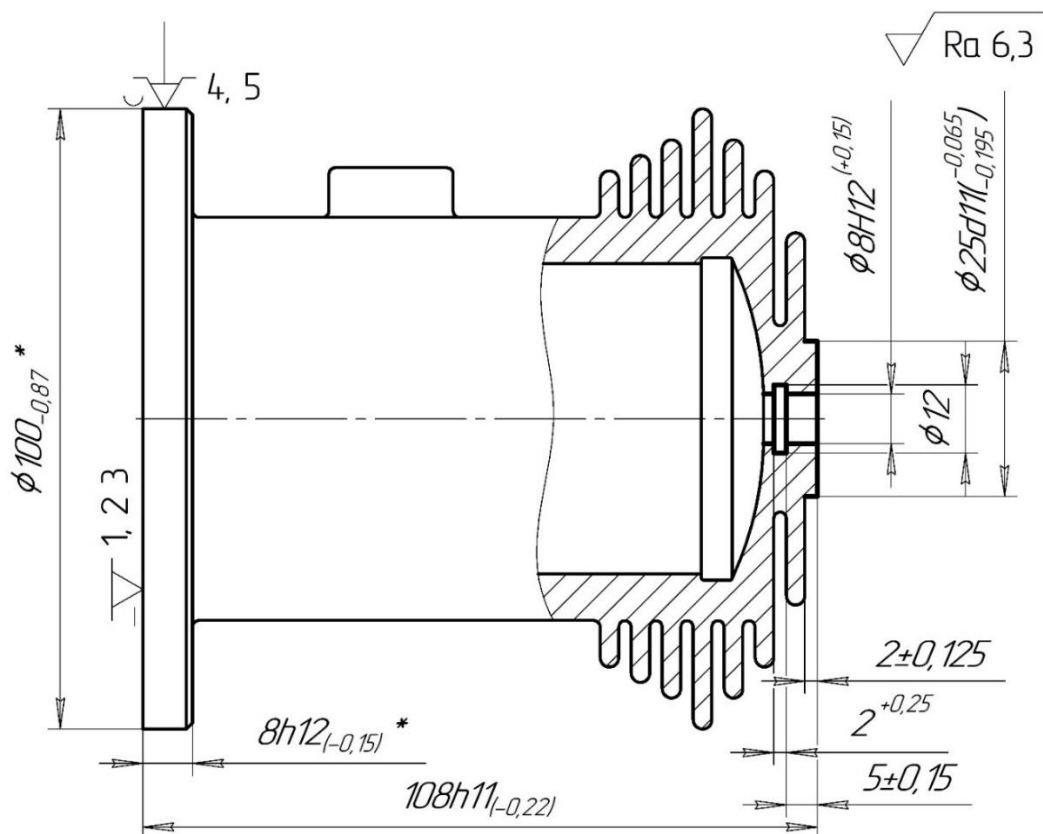


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки на операції 020

Заготовка базується по торцю і діаметру Ø100 мм на довжині 8h12 мм. На операції підрізається торець Ø25 мм і витримується розмір 108h11 мм, точиться Ø25d11 мм на довжину 2±0,125 мм. Потім свердлиться і зенкерується отвір Ø8H12 мм «на прохід», розточується канавка розміром Ø12 x 2 мм і витримується розмір 5±0,15 мм.

Операція 025. Фрезерна з ЧПК. Операція виконується вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6Р11Ф3-1 (див. рис. 1.4).

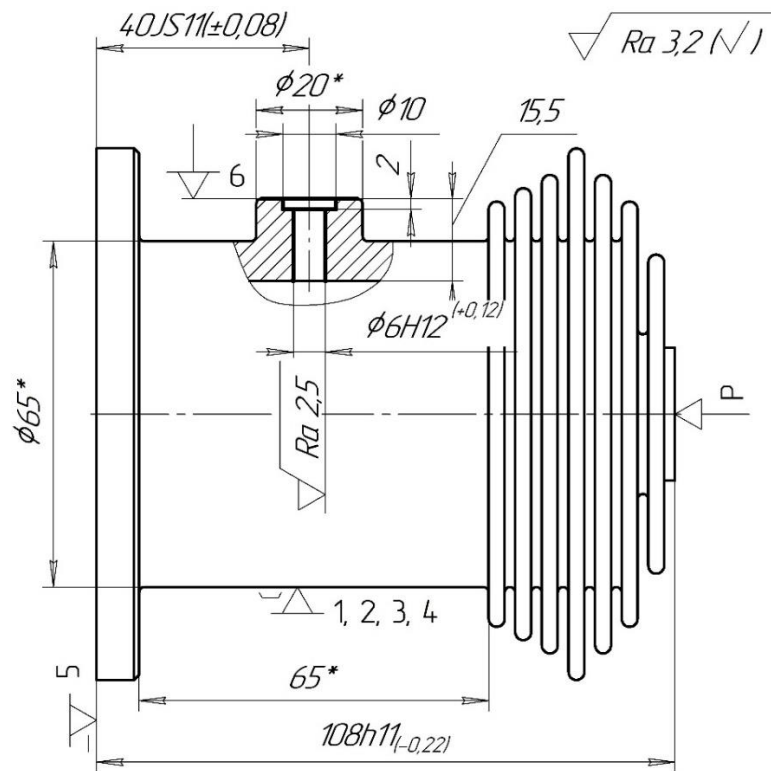


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки на операції 025

Заготовка установлюється в лещата, конструкція якої доопрацьована. В лещатах розташована призма на яку базується заготовка. Лівий торець заготовки упирається в нерухому губу лещат. Для установлення заготовки у вертикальній площині підводиться упор (шоста ступінь позбавлення свободи), який після закріплення заготовки відводиться від оброблюваної поверхні (торця $\varnothing 20^*$ мм). Після досягнення потрібного розташування правий торець заготовки затискається рухомою губою.

На операції фрезерується торцева поверхня $\varnothing 20$ мм, потім свердлиться отвір $\varnothing 6H12$ мм «на прохід» і витримується розмір $40js11$ мм. Останньою торцевою зенківкою оброблюється отвір $\varnothing 10 \times 2$ мм.

Операція 030. Слюсарно-складальна. На операції в отвір $\varnothing 8H12$ мм і канавку $\varnothing 12 \times 2$ мм заливається розплавлена бронза (див. рис. 1.5).

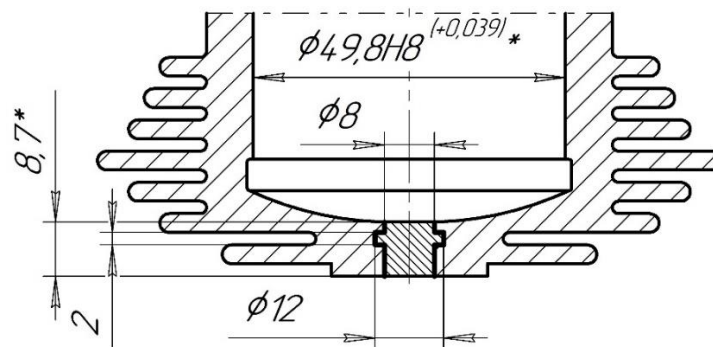


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки на операції 030

Операція виконується на спеціальному стенді і передбачає одночасну обробку восьми заготовок.

Операція 035. Свердлильна з ЧПК. Операція виконується на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2P135Ф2-1 (див. рис. 1.6).

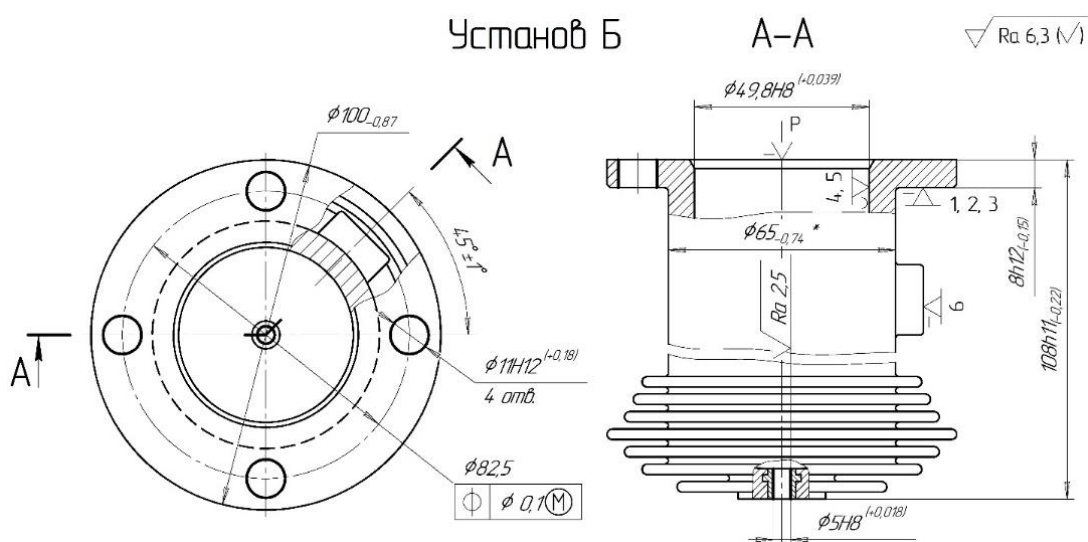


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки на операції 035

Заготовка базується в спеціальному пристрої з пневматичним приводом і закріплюється затискачем. Структура операції складається із двох установів А і Б. На установі А свердлиться отвір $\text{Ø}4,9\text{H}12$ мм на «прохід», потім отвір зенкерується до розміру $\text{Ø}5\text{H}8(+0,018; 0)$ мм. Потім заготовка переустановлюється (установ Б). На установі Б (див. рис. 1.6) свердяться чотири отвори $\text{Ø}11\text{H}12$ мм «на прохід». При свердлінні витримується кут $45^\circ \pm 1^\circ$

відносно осі ступінчастого отвору $\varnothing 10/\varnothing 6H12$ мм, отриманого на попередній операції 025 «Фрезерна з ЧПК».

Операція 040 Термічна обробка. Операція передбачає зміцнювання отвору $\varnothing 49,8H8$ мм на довжині 87,5 мм. Отвір заготовки гартують до твердості HRCэ 45...52, глибина загартованого шару становить 2–3 мм. Гартування поверхні виконується на пристрої ТВЧ. Зазор між індуктором і прямою отвору становить 3–5 мм куди надходить вода під тиском $(1-2) \cdot 10^5$ Па.

Операція 045. Круглошліфувальна. Операція виконується на круглошліфувальному верстаті моделі 3Т160. На верстаті виконується шліфування торцевої поверхні $\varnothing 100/\varnothing 49,8H8$ для досягнення шорсткості поверхні $R_a = 0,63$ мкм (див. рис. 1.7).

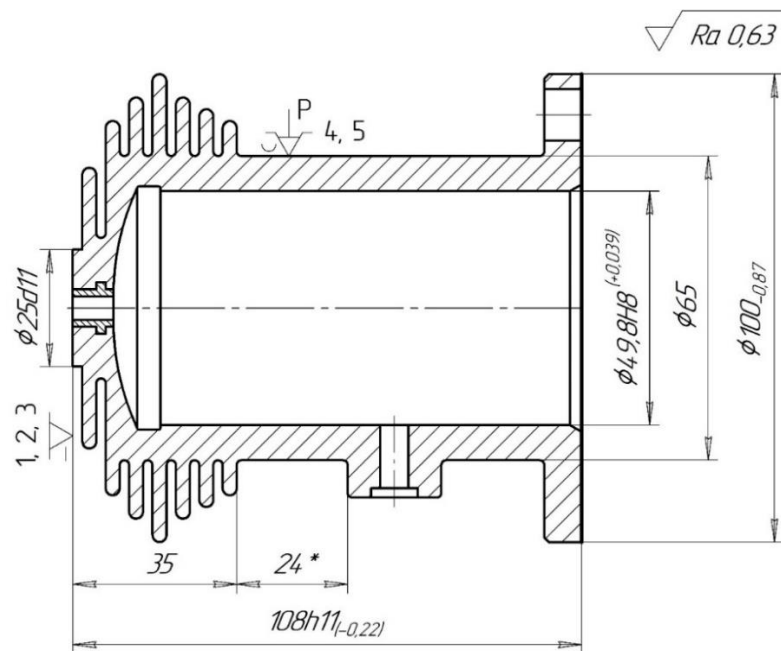


Рисунок 1.7 – Ескіз заготовки на операції 045

Заготовка встановлюється в трикулачковий пневматичний патрон підвищеної точності і затискається кулачками в межах відстані 24* мм. Для обробки поверхні торця застосовується шліфувальний круг, який оброблює заготовку торцем.

Операція 050. Внутрішньошліфувальна. Операція виконується на внутрішньошліфувальному верстаті моделі 3К227А (див. рис. 1.8). Шліфування відбувається за один технологічний перехід (тонке шліфування).

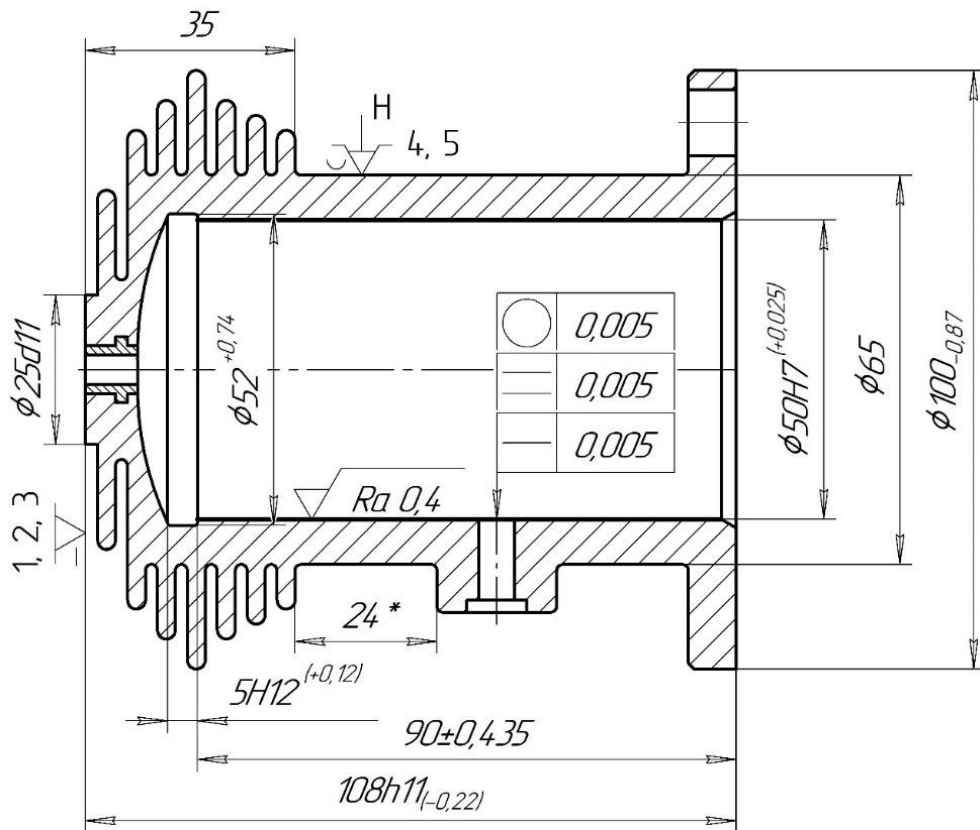


Рисунок 1.8 – Ескіз заготовки на операції 050

Заготовка установлюється в патрон верстата і закріплюється трьома самоцентрувальними кулачками. Для шліфування використовується шліфувальний круг типу ПП 32x8x12 ГОСТ 2424-88, характеристика круга 24А10СМ23К6 35м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-88. Шліфуванням забезпечується точність розміру $\varnothing 50H7(+0,025; 0)$ мм, шорсткість поверхні $R_a = 0,4-0,63$ мкм.

Шліфуванням забезпечуються: допуск круглості циліндричної форми отвору 0,005 мм, допуск профіля поздовжнього перетину 0,005 мм, допуск прямолінійності осі отвору 0,005 мм.

За даними виробництва допуски форми поверхні отвору в багатьох випадках не забезпечується, що пов'язано із недоскональними режимами різання, кінематикою процесу, характеристикою шліфувального круга.

Операція 055. Промивання. В спеціальній ванні виконується очищення заготовки від металевого шламу і бруду.

Операція 060. Технічний контроль. На операції виконується 100% контроль отвору $\varnothing 50H7(+0,025; 0)$ мм за вимогами креслення. Для вимірювання внутрішнього діаметру циліндра застосовувався індикаторний нутромір із двома контактами і центровим містком моделі НИ 18-50-1 ГОСТ 868-75. Контролю підлягали точність розміру, 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. Технологічний процес обробки циліндра виконується в умовах середньосерійного типу виробництва. Заготовки оброблюються на верстатах з ЧПК і на універсальному обладнанні. Структура операцій складається із переходів, на яких використовуються різні режими різання, різальний інструмент, застосовується універсальна (спрощена) технологічна оснастка. Структура технологічного процесу побудована за принципом диференціації операцій, має невелику кількість допоміжних переходів. Виходячи із умов середньосерійного виробництва існуюча структура технологічного процесу обробки циліндра є раціональною.

2. В технологічному процесі виготовлення циліндра тривалість часу технологічних операцій різна. Якщо порівняти операцію 015 «Розточувальна з ЧПК» і 020 «Токарна з ЧПК», то остання потребує додаткове технологічне завантаження, що пов'язано із різницею їх трудомісткості. В цілому це ускладнює технологічний процес виготовлення виробу.

Для усунення наведеного недоліку необхідно змінити існуючий парк верстатного обладнання. Аналізуючи структури операцій і їх методи обробки, можна запропонувати більш сучасні і продуктивні марки верстатів. Це дозволить

зменшити кількість обладнання і поліпшити структуру технологічного процесу виготовлення циліндра.

3. На всіх механічних операціях технологічного процесу використовується застаріле верстатне обладнання із застосуванням значної кількості ручних прийомів. Особливо це пов'язано із базуванням і закріпленням заготовок. В верстатних пристроях мало застосовується пневматичні або гідравлічні приводи. Це збільшує допоміжний час в межах штучно-калькуляційного часу окремої операції і призводить до збільшення трудомісткості виробу.

4. Операція 050 «Внутрішньошліфувальна» передбачає забезпечення технічних вимог призначених конструктором для обробки отвору Ø50H7 мм. В умовах середньосерійного виробництва налагодження шліфувального верстата потребує багато допоміжного часу, що збільшує трудомісткість операції.

Доведено, що після шліфування загартованого чавуну на його поверхні залишаються окремі плями у вигляді задирок та уламків абразивних часток, які зварювані із поверхневим шаром металу залишених шліфувальним кругом. Це наслідок високої локальної температури в зоні контакту зерен шліфувального круга із поверхнею заготовки.

В деяких заготовках форма циліндричних поверхонь після шліфування має вигляд огранювання та овальності. Поверхня отвору містить окремі сліди глибоких подряпин від виступаючих абразивних зерен шліфувального круга. Наведені недоліки можна виправити, якщо замінити існуючу операцію операцією «Хонінгувальна». Хонінгування отвору абразивними або алмазними брусками із невеликими швидкостями різання, дозволить виключити зазначені недоліки існуючої операції. Для забезпечення технічних вимог креслення треба виконати дослідницьку роботу.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ЦИЛІНДРА

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення циліндра

Конструкція циліндра містить циліндричні, площинні, конічні, фасонні поверхні та їх сполучання. Для оброблення наведених поверхонь із різними квалітетами точності, формами, шорсткістю, їх взаємного розташування, застосовуються методи розточування, точіння, свердління, фрезерування, шліфування, хонінгування і т. ін. В таблиці 2.1 порівнюються технологічний процес виготовлення циліндра на підприємстві із запропонованим.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця технологічних процесів оброблення циліндра

Номер операції	Технологічний процес на підприємстві	Модель верстата	Запропонований технологічний процес	Модель верстата–
005	Лиття металів та сплавів	Установка для лиття	Лиття металів та сплавів	Пристрій для лиття
010	Термічна обробка	Піч	Термічна обробка	Піч
015	Розточувальна з ЧПК	2776В	Токарна з ЧПК	L-Turn
020	Токарна з ЧПК	16Б16Т1	Слюсарно-складальна	Спеціальний стенд
025	Фрезерна з ЧПК	6Р11Ф3-1	Термічна обробка	Устрій ТВЧ
030	Слюсарно-складальна	Спеціальний стенд	Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК	X.mill 640
035	Свердлильна з ЧПК	2Р135Ф2-1	Хонінгувальна	3М82
040	Термічна обробка	Устрій ТВЧ	Промивання	Ванна
045	Круглошліфувальна	3Т160	Технічний контроль	Стіл ВТК
050	Внутрішньошліфувальна	3К227Р	–	–
055	Промивання	Ванна	–	–
060	Технічний контроль	Стіл ВТК	–	–

Обґрунтування запропонованого технологічного процесу виготовлення циліндра та окремої операції 035 «Хонінгувальна» наведена в наступних підрозділах пояснювальної записки.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення заготовки та розроблення технічних вимог

Циліндр виготовляється із чавуну ЧН1ХМД ГОСТ 11849-76 методом лиття. У середньосерійному виробництві виходячи із конструкції деталі за даними джерел [2, 4] економічно доцільно виготовляти заготовки литтям під тиском в металеві форми. Тому, розрахунок варіантів способів отримання заготовок зводиться до розрахунку вартості заготовки, що отримана наведеним способом лиття.

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.;

$m_3 = 2,04$ кг – вага заготовки;

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

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

$m_d = 1,36$ кг – вага деталі;

$C_{вт} = 6$ грн. – ціна 1-го кг відходів [4, 6].

Оптова ціна C_{03} заготовки визначається за формулою [4]:

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

де $C_в = 11300$ грн. – вихідна, оптова ціна однієї 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.

$$C_{03} = \frac{11300}{1000} \cdot 0,86 \cdot 0,82 \cdot 1,15 \cdot \left(1 + \frac{8\%}{100\%} \right) = 9,9 \text{ грн.}$$

$$S_3 = 2,04 \cdot 9,9 \cdot \left(1 + \frac{7\%}{100\%}\right) - (2,04 - 1,36) \cdot 6 = 17,6 \text{ грн.}$$

Вартість річної партії заготовок визначиться за формулою:

$$S_3^0 = S_3 \cdot N = 17,6 \cdot 3000 = 52800 \text{ грн.}$$

Розроблення креслення вилитої заготовки згідно ГОСТ 26645–85 [5].

1. Установлюємо спосіб одержання заготовки із чавуну спеціальної марки – лиття під тиском в металеві форми [5, т. 9, с. 32-34].

2. Установлюємо бази для першої операції механічної обробки (дивись креслення «Циліндр 21-586-0023-004. Виливка»).

3. Визначимо розташування виливки в формі за лінією площини рознімання (дивись креслення «Циліндр 21-586-0023-004. Виливка»).

4. Установлюємо клас розмірної точності виливки 4–7 [5, т. 9, с. 32-34].

Приймаємо 5.

5. Установлюємо ступінь жолоблення виливки 1–4 [5, т. 10, с. 35].

Приймаємо 4.

6. Установлюємо ступінь точності поверхонь 4–8 [5, т. 11, с. 36–38].

Приймаємо 6.

7. Визначаємо шорсткість поверхонь виливки за критерієм R_a мкм із 6-ою ступеню точності поверхонь [5, т. 12, с. 39]. Приймаємо $R_a = 6,3$ мкм.

8. Установлюємо клас точності мас 3т–9т залежно від способу одержання виливки [5, т. 13, с. 40–42]. Приймаємо 6.

9. Установлюємо допуск зміщення виливки за площиною рознімання виливки, яка виходить на лінію рознімання 0,32 мм [5, пункт 2.7, с. 4].

10. Визначаємо ряд припусків 1–4 [5, т. 14, с. 43]. Приймаємо 3.

11. Позначимо оброблені поверхні виливки цифрами 1, ..., n (див. рис. 1.1).

Точність виливки 5–4–6–6 Зм.0,32 ГОСТ 26645-85.

12. Розміри заготовки занесемо до таблиці 2.2 і розробимо креслення заготовки (дивись креслення «21-586-0023-004 Циліндр. Виливка»).

13. Технічні вимоги для виготовлення заготовки наведені на кресленні.

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

Номер поверхні	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	108h11(0; -0,22)	0,64	0,24	0,7	Пів чистова	0,35	3	0,7 / 0,7	110±0,35
1, 3	8h12(0; -0,15)	0,32	0,24	0,44	Пів чистова	0,22	3	0,7 / 0,5	10±0,22
2, 8	2H12(+0,1; 0)	0,24	0,24	0,4	Чорнова	0,2	3	0,7 / 0,4	3,5±0,2
9	8H14(+0,36; 0)	0,32	0,24	0,44	Чорнова	0,22	3	0,4	8,5±0,22
1, 7	95js14(±0,435)	0,56	0,24	0,7	Чорнова	0,35	3	0,7 / 0,5	95±0,35
1	40js11(±0,08)	0,44	0,24	0,56	Пів чистова	0,28	3	0,7	41±0,28
4	Ø100h14(0; -0,87)	0,56	0,24	0,7	Чорнова	0,35	3	0,5	Ø102±0,35
5	Ø50H7(+0,025; 0)	0,5	0,24	0,56	Тонка	0,28	3	0,7	Ø48±0,28
6	Ø25d11(-0,065; -0,195)	0,4	0,24	0,5	Пів чистова	0,25	3	0,6	Ø27±0,25

2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку поверхні обертання

Припуски та проміжні граничні розміри розраховуються для отвору $\varnothing 50H7$ мм довжиною 78,5 мм і шорсткістю $R_a=0,4$ мкм. Діаметральні розміри отвору циліндра формується на операціях 005 «Лиття металів та сплавів», 015 «Токарна з ЧПК», 035 «Хонінгувальна».

Вихідні дані: виливка 5–4–6–6 Зм. 0,32 ГОСТ 26645-85 отримана литтям під тиском в металеві форми. Вага деталі 1,36 кг, вага заготовки 2,04 кг.

1. Визначаємо величину мікронерівності R_{zi-1} і дефектного шару H_{i-1} :

заготовка (виливка) [4, т. 4.3, с. 63] – $R_{zi-1} = 20$ мкм; $H_{i-1} = 140$ мкм;

розточування (чорнове) [4, т. 4.6, с. 65] – $R_{zi-1} = 50$ мкм і $H_{i-1} = 50$ мкм;

розточування (чистове) [4, т. 4.6, с. 65] – $R_{zi-1} = 20$ мкм і $H_{i-1} = 25$ мкм;

хонінгування (тонке) [4, т. 4.6, с. 65] – $R_{zi-1} = 3$ мкм і H_{i-1} – немає.

Після першого технологічного переходу чорнового розточування дефектний шар H_{i-1} для чавунних заготовок із розрахунків виключається і визначається тільки величина шорсткості.

2. Просторове відхилення для заготовки визначається за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_3^2} = \sqrt{481^2 + 560^2} = 738 \text{ мкм.}$$

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

$$\rho_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_k \cdot d)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2} = \sqrt{(0,7 \cdot 50)^2 + (0,7 \cdot 87,5)^2} = 481 \text{ мкм,}$$

де $\Delta_k = 0,7$ мкм/мм – питома кривизна заготовки [4, т. 4.8, с. 71];

$d = 50H7$ мм; $l = 87,5$ мм – діаметр та довжина оброблюваного отвору;

$\rho_3 = T_{\text{заг}} = 560$ мкм – допуск заготовки.

Просторові відхилення для чорнового розточування становлять:

$$\rho_{\text{чорн розточ}} = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,04 \cdot 738 = 30 \text{ мкм.}$$

Просторові відхилення для чистового розточування $\rho_{\text{чист розточ}} = 0$, тому що обробка виконується на одній операції із одного установа. При хонінгуванні в склад мінімального припуску просторові відхилення не входять.

Похибка установлення заготовки $\varepsilon_{y \text{ чорн}}$ при чорновому розточуванні визначиться за формулою:

$$\varepsilon_{y \text{ чорн}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{55^2 + 0^2} = 55 \text{ мкм},$$

де $\varepsilon_6 = 55$ мкм – похибка установлення заготовки в пристрій з пневматичним затисненням [4, т. 4.12, с. 79-82];

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

Чистове розточування виконується на одному верстаті з однієї установки після чорнового розточування [4, с. 85] і тому $\varepsilon_{y \text{ чист розточ}} = 0$.

При хонінгуванні хон установлюється (базується) в отворі заготовки і похибка установки заготовки не впливає на точність розміру.

Отримані вихідні дані для розрахунку припуску на $\varnothing 50H7$ мм наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для визначення припуску на $\varnothing 50H7$ мм

Найменування переходу або операції	Квалітет точності	Допуск, мм	Елементи припуску, мкм			
			Rz_{i-1}	H_{i-1}	ρ_{i-1}	ε_{yi}
Лиття металів та сплавів	T4	0,56	20	140	738	–
Розточування (чорнове)	H11	0,16	50	50	30	55
Розточування (чистове)	H8	0,039	20	–	–	–
Хонінгувальна	H7	0,025	3	–	–	–

Припуски та граничні розміри на технологічні переходи наведених операцій розраховувалися за програмою «prp.ver.7.1» на ЕОМ (див. додаток Б). Схема полів припусків і допусків наведена на рисунку 2.1.

2.4 Розроблення структури операції 035 «Хонінгувальна»

2.4.1 Обґрунтування та вибір схем базування та закріплення заготовки

Хонінгування отвору $\text{Ø}50\text{H}7(0; -0,025)$ мм виконується на хонінгувальному верстаті моделі 3М82. Схема установлення заготовки наведена на рисунку 2.2.

Заготовка установлюється в спеціальний пристрій, який установлений на столі верстата (дивись додаток Ж).

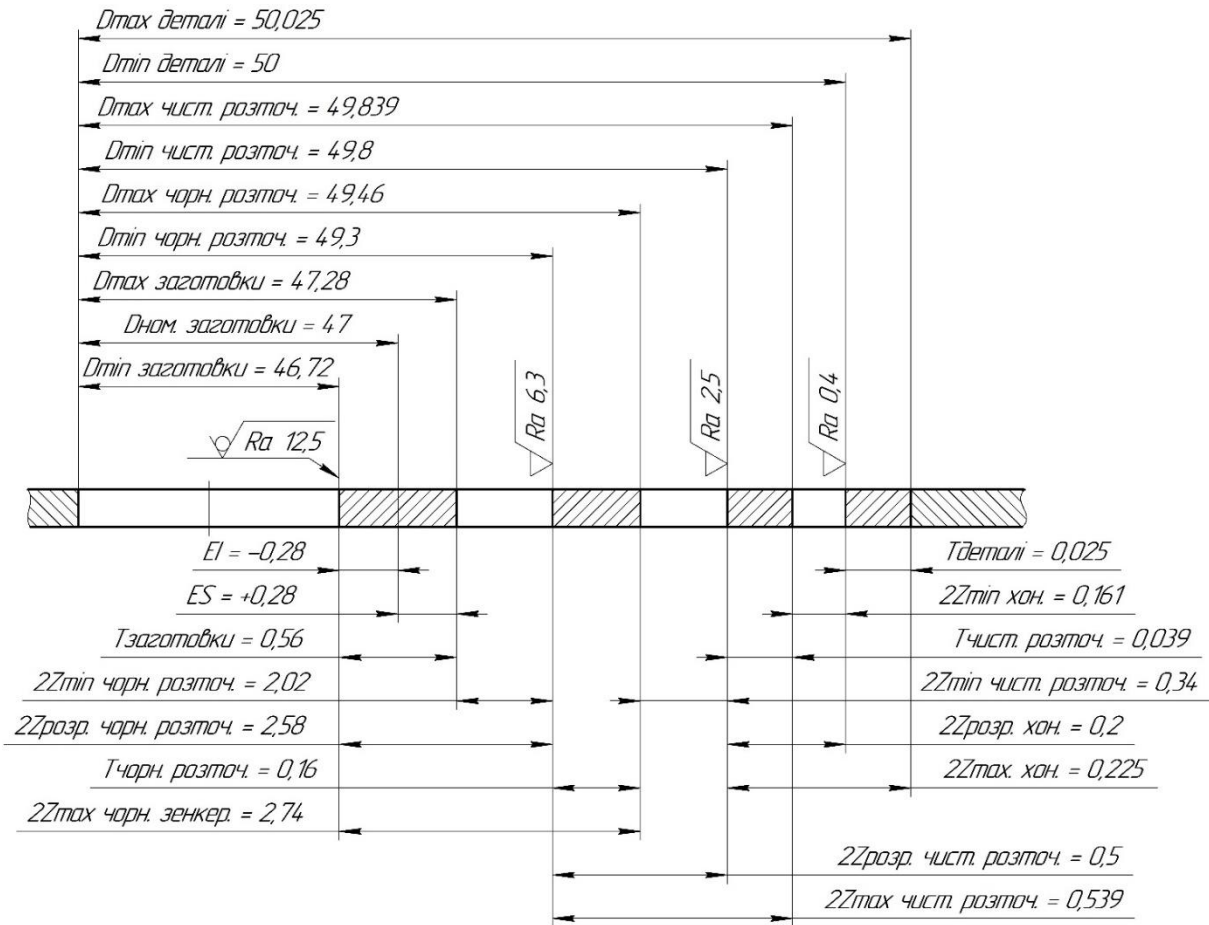


Рисунок 2.1 – Схема припусків на поверхню $\text{Ø}50\text{H}7(+0,025; 0)$ мм

Схема базування циліндра на операції наведена в таблицях 2.4 і 2.5.

Таблиця 2.4 – 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 2.5 – 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-Ь зв'язків

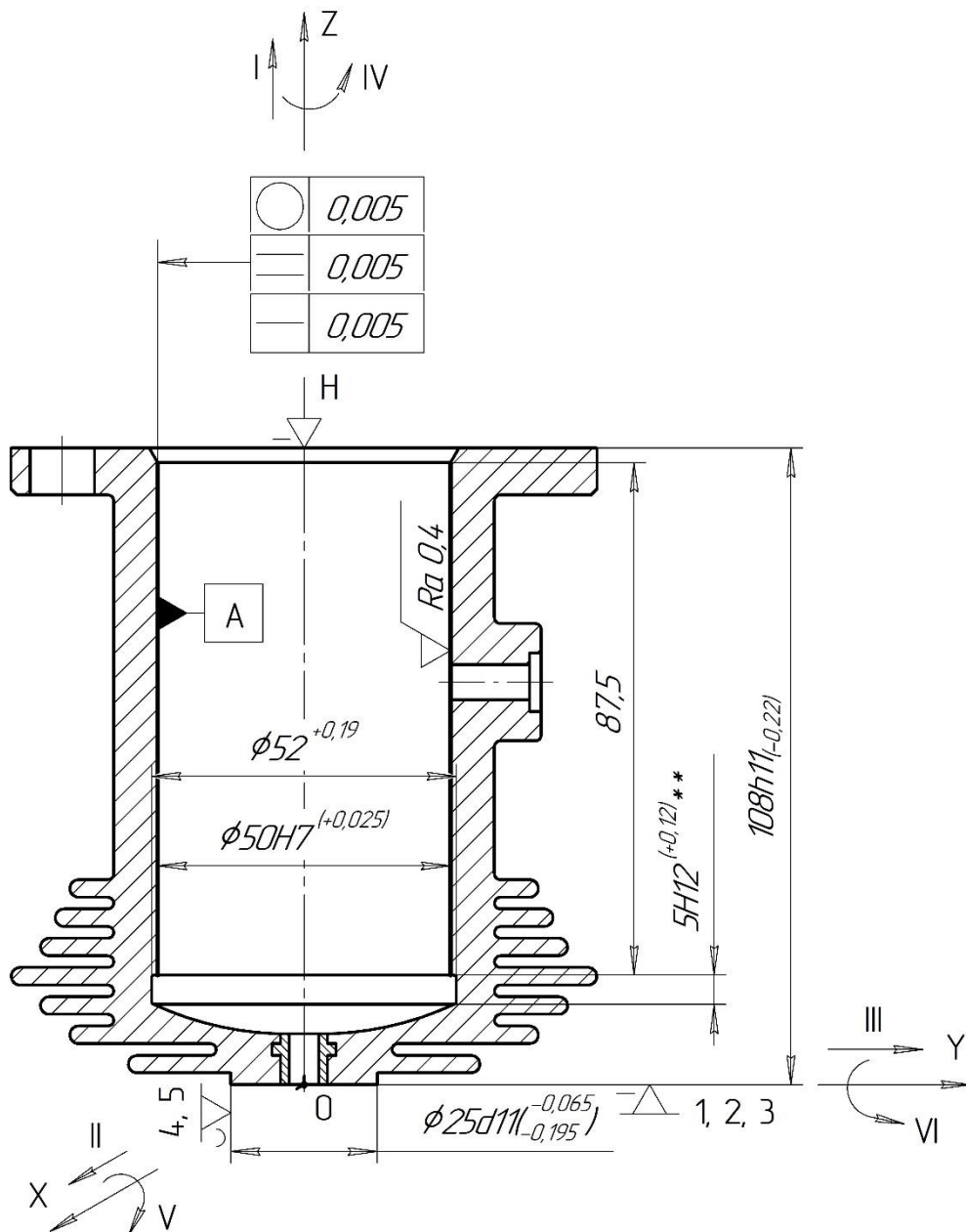


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки на операції 035

2.4.2 Обґрунтування та вибір моделі металорізального верстата

Технічна характеристика хонінгувального верстата наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика хонінгувального верстата моделі 3М82

Параметри хонінгування	Чисельні дані
1	2
Діаметр оброблювального отвору, мм: найбільший / найменший	80 / 20
Довжина ходу шпиндельної головки	500
Швидкість обертання шпинделя, об/хв	121 – 328
Швидкість зворотно-поступального руху хонінгувальної головки (безступінчасте регулювання), м/хв	3 – 15
Максимальний питомий тиск брусків, МПа	До 15
Розміри базової поверхні стола верстата, (Д x Ш) мм	800 x 500
Потужність електродвигуна, кВт: приводу обертання шпинделя	4
гідролічного приводу руху хонінгувальної головки	3

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

2.4.3 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.

Пристрій для закріплення заготовки. Розроблений спеціальний верстатний пристрій ТМ 22510222-07-01.00.00 СК наведений в підрозділі 2.5 пояснювальної записки.

Різальний інструмент. Розроблена спеціальна хонінгувальна головка ТМ 22510222-09.00.00 СК – «Хон Ø50» із восьми алмазними брусками розташованими в одному ряду по колу інструмента. Умовне позначення алмазного бруска: 2768-0045-I-ACB 40/28-100-MS1 ГОСТ 16066-71.

Вимірювання отвору деталі і вимірювальний інструмент.

Контролю піддавався отвір $\varnothing 50H7(+0,025; 0)$ мм. Для вимірювання використовувався індикаторний нутромір моделі НИ 18-50-1 ГОСТ 868-82 з двома контактами і центровим містком.

Схема вимірювань діаметральних розмірів в трьох поперечних перерізах розташованих на довжині отвору (перерізи А-А, Б-Б, В-В) наведені на рисунку 2.3.

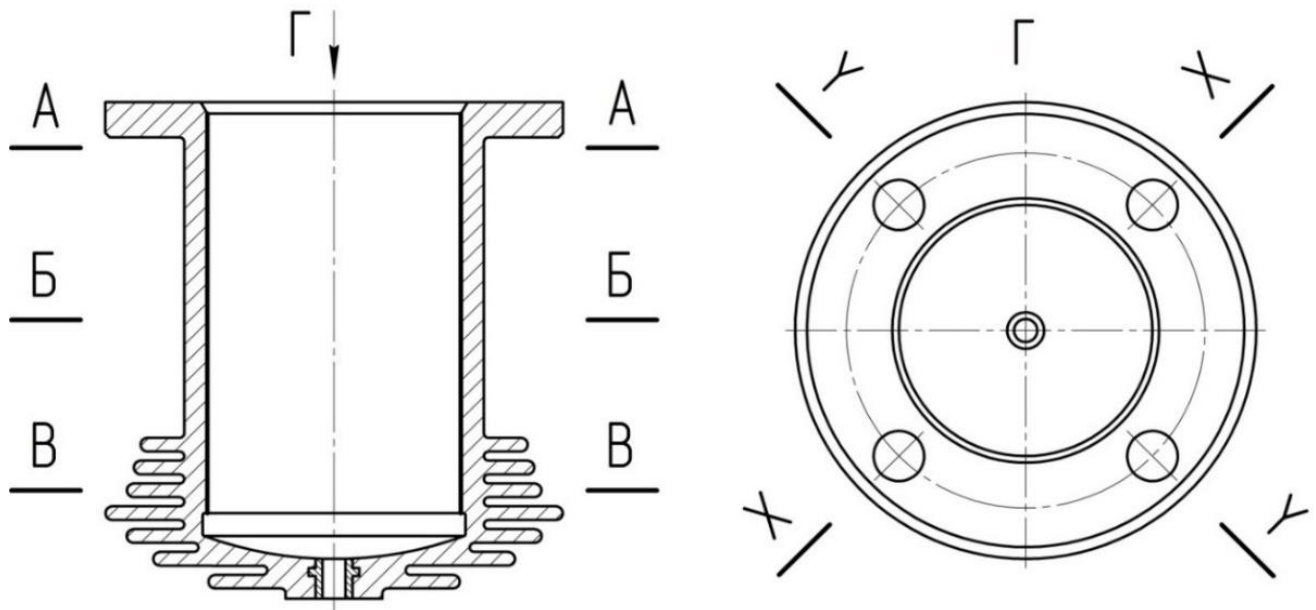


Рисунок 2.3 – Схема вимірювання діаметральних розмірів глухого отвору

Вимірювання діаметральних розмірів виконувалося у кожному перерізі в двох взаємно перпендикулярних напрямках (X-X, Y-Y). Поперечні перерізи позначалися рисками на зовнішній поверхні заготовки. Вимірювання в кожному окремому перерізі і напрямку виконувалося три рази і остаточно фіксувалося середнє його значення. Це підвищувало точність вимірювань і наступних розрахунків діаметральних розмірів отвору.

Згідно ГОСТ 28187-89 замість прямого вимірювання відхилення від циліндричності отвору виконувалося вимірювання відхилення від круглості і профілю поздовжнього перерізу отвору. Наведена методика розрахунків не впливає на результати вимірювання.

Профілометр-профілограф моделі 240 ГОСТ 9504-80 (для цехів).

2.4.4 Розрахунок режиму різання

1. Вибираємо характеристику брусків. За рекомендаціями [13, т. 3.2, с. 215] приймаємо алмазний брусок марки АСВ на металевій в'язці згідно ГОСТ 16606-71. Для досягнення шорсткості $R_a = 0,4$ мкм беремо зернистість бруска 40/28 мкм.

2. Вибираємо сумарну ширину B_Σ брусків залежно від потрібної продуктивності, розмірів, форми отвору і жорсткості заготовки. Згідно рекомендацій [13]:

$$B_\Sigma = (0,15 - 0,35)C_{\text{отв}} = (0,15 - 0,35) \cdot \pi D_0 = \\ = (0,15 - 0,35) \cdot 3,14 \cdot 50 = (23,55 - 54,95)\text{мм},$$

де $C_{\text{отв}}$ – довжина кола отвору циліндра (діаметр $D_0 = 50$ мм).

3. Вибираємо довжину бруска L_6 залежно від довжини L_0 оброблювального отвору. При $3 \geq L_0/D_0 = 87,5/50 = 1,75$ довжина бруска становить

$$L_6 = (0,5 - 0,75)L_0 = (0,5 - 0,75) \cdot 87,5 = (43,75 - 65,625)\text{ мм}.$$

4. Беремо стандартний алмазний брусок розмірами:

$B = 6$ мм; $H = 4$ мм; $L_6 = 50$ мм; $S = 2$ мм; $r = 16$ мм, маса алмазів 2,64 карата при концентрації 100% [13, т. 24, с. 31] (див. рис. 2.4).

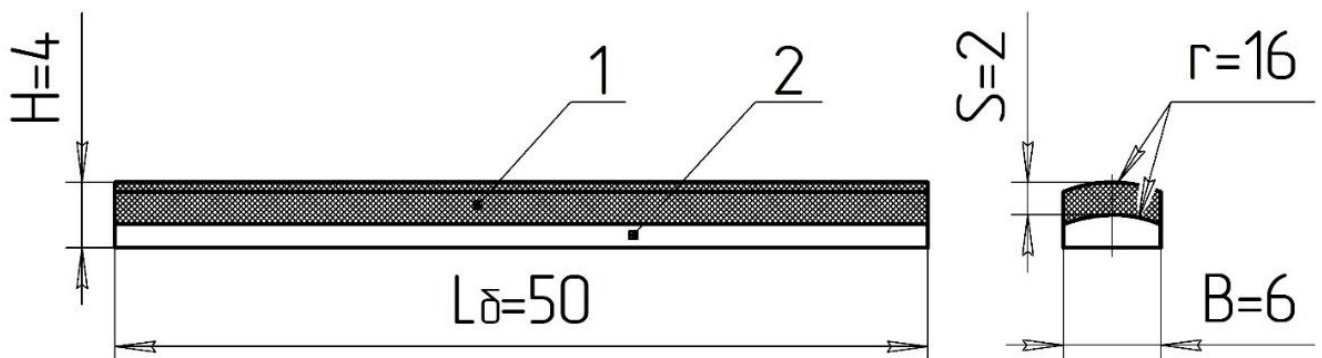


Рисунок 2.4 – Конструкція алмазного бруска: 1 – алмазний шар;
2 – металева підвалина

5. Визначаємо кількість алмазних брусків в хонінгувальній головки

$$B_\Sigma/B = \frac{(23,55 - 54,95)}{6} = (3,93 - 9,16).$$

Розрахований діапазон визначає потрібну кількість брусків в хонінгувальній головці, а саме, від 4-х до 9-и брусків. Для високої продуктивності хонінгування, виправлення форми поверхні отвору, забезпечення низької шорсткості рекомендується прийняти найбільшу кількість брусків із розрахованого діапазону. Приймаємо 8-м брусків.

6. Визначаємо вартість восьми брусків за формулою [13, с. 32]:

$$C_6 = m \cdot \beta \cdot C_1 \cdot Q_a = 8 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 2,64 = 38 \text{ грн},$$

де $\beta = 1,4 - 1,5$ – коефіцієнт, який враховує вартість алмазів в бруську;

$C_1 = 1,2$ грн – ціна одного карата алмаза;

$Q_a = 2,64$ карата – маса алмазів у одному робочому шарі бруска;

$m = 8$ – кількість брусків в хонінгувальній головці.

Розраховані дані потрібні для економічних розрахунків вартості хонінгувальної операції.

7. Визначаємо режим алмазного хонінгування [13, т. 3.6, с. 220]:

$$V_o = 50 \text{ м/хв}; V_{з-п} = 15 \text{ м/хв}; p_0 = 6 \text{ кгс/см}^2; S_o = 0,6 \text{ мкм/подв. хід}.$$

Припуск на діаметр (0,05–0,08) мм [12, т. 45, с. 106-107], час обробки отвору (0,8–1,5) хв; досяжна точність форми (10–15) мкм; орієнтовна стійкість брусків (8000–20000) деталей; середня витрата алмаза – 0,08 мг/г видаленого металу; досяжна шорсткість поверхні – $R_a = 0,2-0,4$ мкм [12, т. 45, с. 106-107].

8. Визначаємо кількість обертів шпинделя n_1 , об/хв:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_o}{\pi \cdot D_o} = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 50} = 319 \text{ об/хв},$$

де $D_o = 50$ мм – діаметр оброблювального отвору.

За паспортом верстата приймаємо $n_{1п} = 328$ об/хв.

$$V_{оф} = \frac{\pi D_o n_{1п}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 328}{1000} = 51,5 \text{ м/хв}.$$

9. Визначаємо кількість подвійних ходів n_2 (подв. хід) шпиндельної головки:

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_{з-п}}{2 \cdot L} = \frac{1000 \cdot 15}{2 \cdot 56} = 134 \text{ подв. ход.},$$

де $L = l_0 + l_{\text{пер.в.}} + l_{\text{пер.н.}} - l_6 = 90 + 12,5 + 3,5 - 50 = 56$ мм – хід шпиндельної головки;

$$l_{\text{пер.в.}} = (0,25 - 0,5)l_6 = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \text{ мм} - \text{верхній перебіг бруска};$$

$$l_{\text{пер.н.}} = 3,5 \text{ мм} - \text{нижній перебіг бруска (згідно креслення)}.$$

10. Визначаємо відношення λ – кут схрещення траєкторій руху різальних зерен бруска на оброблювальній поверхні:

$$\lambda = \frac{V_{\text{оф}}}{V_{3-\text{п}}} = \frac{51,5}{15} = 3,43.$$

Згідно рекомендацій [12, т. 40, с. 101] при хонінгуванні чавуну допустиме відношення $[\lambda]=2-6$ і розраховане значення $\lambda=3,43$ знаходиться у рекомендованому діапазоні.

11. Визначаємо складові сили різання P_x , P_y , P_z , які потрібні для розрахунку хона і пристрою для закріплення заготовки [13, с. 221].

$$P_x = f_x \cdot F \cdot p_0 \cdot m = 0,31 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 8 = 44,64 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 438 \text{ Н};$$

$$P_y = f_y \cdot F \cdot p_0 \cdot m = 0,18 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 8 = 25,92 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 254 \text{ Н};$$

$$P_z = f_z \cdot F \cdot p_0 \cdot m = 0,23 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 8 = 33,12 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 325 \text{ Н},$$

де $f_x=0,31$; $f_y=0,18$; $f_z=0,23$ – коефіцієнти тертя-шарпання [13, с. 222];

$F = L_6 \cdot B = 50 \cdot 6 = 300 \text{ мм}^2 = 3 \text{ см}^2$ – площа одного бруска;

$m = 8$ – кількість брусків у хоні.

12. Визначаємо потужність привода шпинделя N_x і потужність привода зворотно-поступального руху шпиндельної головки верстата N_z :

$$N_x = \frac{P_x \cdot V_{\text{оф}} \cdot \eta_1}{102 \cdot 60} = \frac{438 \cdot 51,5 \cdot 0,9}{102 \cdot 60} = 3,32 \text{ кВт};$$

$$N_z = \frac{P_z \cdot V_{3-\text{п}} \cdot \eta_2}{102 \cdot 60} = \frac{325 \cdot 15 \cdot 0,85}{102 \cdot 60} = 0,68 \text{ кВт},$$

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

Якщо $N_x = 3,32 \text{ кВт} < N_B = 4,0 \text{ кВт}$, $N_z = 0,68 \text{ кВт} < N_{гп} = 3,0 \text{ кВт}$, то обробка можлива, де $N_B = 4,0 \text{ кВт}$; $N_{гв} = 3,0 \text{ кВт}$ – відповідно потужність обертання шпинделя і гідравлічного привода верстата.

13. Визначаємо основний час T_0 хонінгування отвору [12, с. 122]:

$$T_0 = 100 \cdot \Delta h \cdot t = 100 \cdot 0,1 \cdot 10 = 100 \text{ с} = 1,7 \text{ хв},$$

де $\Delta h = 0,06 \text{ мм}$ – припуск на хонінгування [12, т. 45, с. 106-107];

$t = 10 \text{ с}$ – середній час, за який видаляється $0,01 \text{ мм}$ металу (визначається дослідним шляхом) [12, с. 122].

2.4.5 Технічне нормування операції.

Штучно-калькуляційний час на операцію визначається за формулою [1]:

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

де $T_{п-з} = 5 \text{ хв}$ – підготовчо-завершальний час на устанавлення технологічної оснастки і її віддача після обробки [1, т. 6.9, с. 221];

$N_{п} = 142 \text{ шт.}$ – партія запуску заготовок у виробництво;

$T_0 = 1,7 \text{ хв}$ – основний (машинний) час операції хонінгування;

$T_{д}$ – допоміжний час;

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

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

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

де $T_{ус} + T_{зв} = 0,131 + 0,024 = 0,155 \text{ хв}$ – час устанавки, закріплення, відкріплення, зняття заготовки руками [1, т. 5.6, 5.7, с. 199-202];

$T_{кер} = 0,01 + 0,03 + 0,025 + 0,01 = 0,075 \text{ хв}$ – час вмикання і вимикання верстата; стиснення (розтиснення) брусків хонінгувальної головки; підведення (відведення) хонінгувальної головки [1, т. 5.8, с. 202-205];

$T_{вим} = 0,9 \text{ хв}$ – час контрольного вимірювання індикаторним нутроміром [1, т. 5.16, с. 209];

1,85 – коефіцієнт, який враховує норми допоміжного часу, наведеному для масового виробництва [1, с. 101-102].

Визначаємо оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_d = 1,7 + 2,1 = 3,8 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{обс}} + T_{\text{від}} = \frac{\alpha\% \cdot T_{\text{оп}}}{100\%} = \frac{10 \cdot 3,8}{100} = 0,38 \text{ хв,}$$

де $\alpha = 10\%$ – процент часу на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби працюючого [1, т. 6.1, с. 214-215].

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{5}{142} + 1,7 + 2,1 + 0,38 = 4,3 \text{ хв.}$$

2.5 Проектування пристрою для хонінгування

2.5.1 Обґрунтування мети операції і завдання для проектування

На хонінгувальній операції 035 оброблюється отвір $\text{Ø}50\text{H}7(+0,025; 0)$ мм довжиною 87,5 мм. Мета операції – забезпечити технічні вимоги креслення по точності форми отвору (круглість), шорсткість поверхні $R_a=0,4$ мкм. Оброблювальний отвір є «глухим», а саме, в деталі підвалина отвору не дозволяє виходити інструменту на потрібну відстань при обробленні. Але в отворі передбачений «карман» – діаметром 52 x 5 мм. Відношення довжини отвору до його діаметру становить $l:d = 87,5:50 = 1,75$.

На хонінгувальну операцію заготовка надходить із токарної операції і має розмір $\text{Ø}49,8\text{H}8(+0,039; 0)$ мм і вихідну шорсткість поверхні $R_a=1,6$ мкм. Твердість поверхневого шару заготовки НВ 229-240.

Обробка виконується на хонінгувальному верстаті моделі 3М82. В кінематичну схему верстата вбудований механізм жорсткої автоматичної регульованої радіальної подачі брусків в межах від 0,1 мкм до 3 мкм на кожний подвійний хід шпindelьної бабки. Остання має автоматичне налагодження в межах робочого циклу, підвищену жорсткість конструкції і високу точність виготовлення. Верстат укомплектований гідравлічною станцією інтенсивного підведення ЗОР із двох сторін заготовки, тонке очищення ЗОР від продуктів хонінгування.

Вимоги креслення щодо забезпечення параметрів отвору на операції забезпечується однократним хонінгуванням. Для деталі із отвором $l:d = 1,8$

найбільш обґрунтованою є схема обробки із жорстким кріпленням оброблювальної заготовки шарнірною хонінгувальною головкою [13].

Хонінгувальна головка має чотири бруска, розташованих в одному ряду корпусу. Розтискний механізм у вигляді конуса забезпечує радіальну подачу брусків. Механізм виконаний з двома конічними поверхнями з кутом конуса 12° . Хонінгувальна головка має два шарніра, розташованих на відстані 80 мм один від одного. Зазначена конструкція забезпечує вільне «плавання» головки при максимальному зміщенні осі оброблюваного отвору відносно осі шпинделю верстата 2 мм.

Жорсткість, точність форми та якість оброблювальної поверхні визначаються конструктивними особливостями верстата, конструкцією хонінгувальної головки, розмірами і характеристикою алмазних брусків, технологічним режимом різання, жорсткістю технологічної системи.

Для досягнення поставленої мети потрібно сформулювати наступні задачі.

1. Розробити конструкцію пристрою, в якому реалізується потрібна схема базування і закріплення заготовки.
2. Забезпечити стабільне закріплення заготовки на протязі заданого циклу обробки.
3. Забезпечити максимальний строк експлуатації пристрою для виконання виробничої програми виготовлення виробів.

2.5.2 Розроблення і обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.

Заготовка установлюється нижнім торцем $\varnothing 25/\varnothing 8$ на плоску поверхню пристрою, яка є установчою базою (див. рис. 2.5).

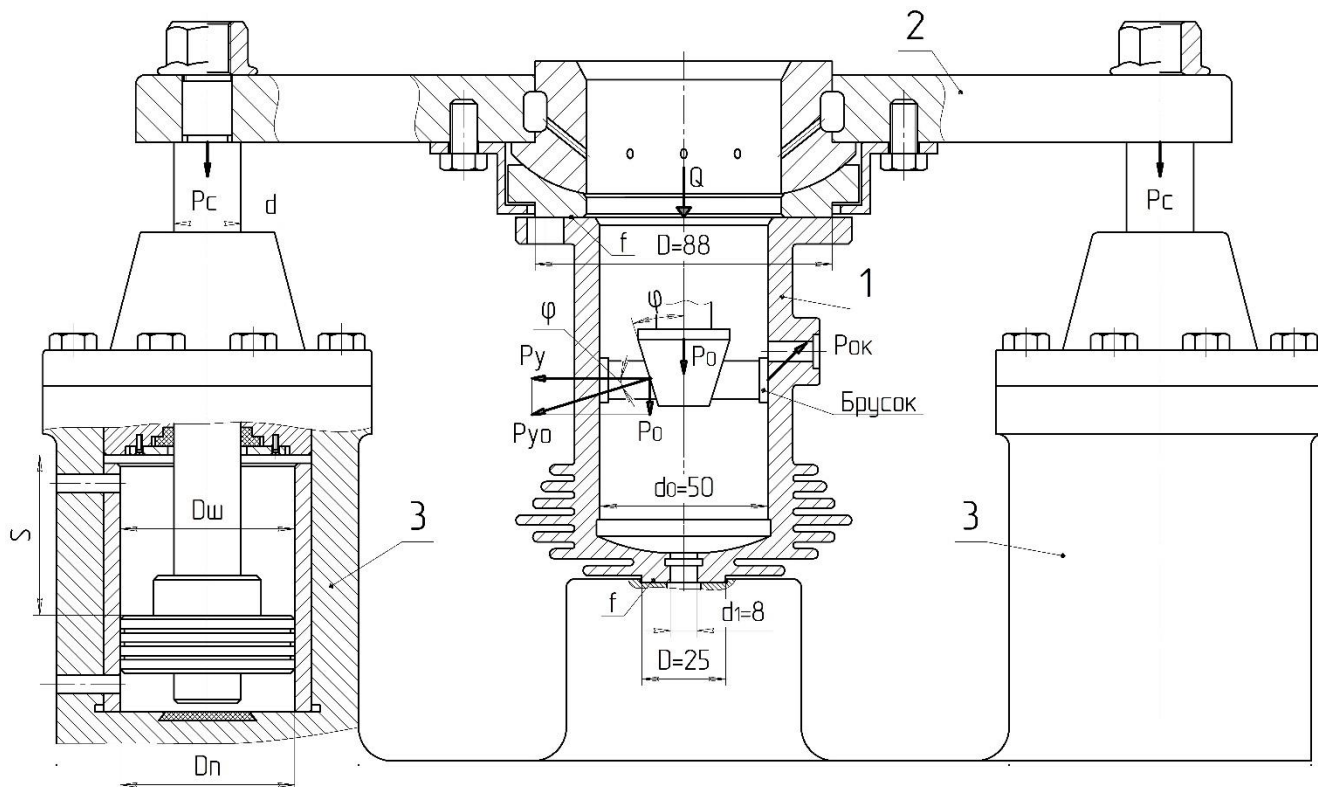


Рисунок 2.5 – Схема затиснення заготовки по торцям та напрямок сил, що діють на брусок від механізму радіальної подачі хона

Досягнуте при базуванні вертикальне розташування заготовки 1 забезпечується затискним механізмом у вигляді плити 2 та двох гідравлічних циліндрів 3, які утримують заготовку від обертання і осьових переміщень.

При хонінгуванні від брусків на оброблювальну поверхню діють колова $P_{ок}$ і осьова P_0 сили різання та радіальна сила P_y , яка виникає від дії механізму радіальної подачі хонінгувальної головки. Сили $P_{ок}$ і P_0 розраховуються за формулами:

$$P_{ок} = m_{ок} \cdot F_{бр} \cdot p_0 = 0,5 \cdot 24 \cdot 6 = 72 \text{ кгс};$$

$$P_0 = m_0 \cdot F_{бр} \cdot p_0 = 0,2 \cdot 24 \cdot 6 = 28,8 \text{ кгс},$$

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

$m_0 = 0,2$ – коефіцієнт осьової сили при хонінгуванні;

$F_{бр} = 24 \text{ см}^2$ – сумарна площа робочих поверхонь брусків;

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

Вектор осьової сили P_0 різання співпадає із напрямком вектору сили на штоці радіального розтиснення брусків (див. рис. 2.4). Більш точніше осьова сила визначається за формулою [12]:

$$P_0 = p_0 \cdot L_6 \cdot B \cdot m \cdot g \cdot \tan(\varphi + \theta) = \\ = 6 \cdot 5 \cdot 0,6 \cdot 8 \cdot 9,81 \cdot \tan(12^\circ + 6^\circ) = 460 \text{ Н},$$

де $\varphi = 12^\circ$ – кут конуса механізму радіальної подачі брусків;

$\theta = 6^\circ$ – кут тертя механізму «конус-колодка» радіальної подачі брусків.

Величина радіальної сили P_y (Н) при номінальному робочому тиску в верстаті $p_H = 10$ МПа визначається за формулою:

$$P_y = P_0 / \tan \varphi = \frac{460}{\tan 12^\circ} = 2164 \text{ Н}.$$

При хонінгуванні із зниженим тиском $P_{yn} = 0,7P_y = 1515 \text{ Н}$. При тиску в кінці обробки $P_{yb} = 0,25P_y = 541 \text{ Н}$. Розраховані сили виникають при хонінгуванні заготовки за час робочого циклу механізму радіальної подачі брусків.

Тиск на манометрі в гідравлічній системі розтиснення брусків (верстат моделі 3Н83) визначається за формулою:

$$P_M = \frac{P_0}{F_{ц} \cdot \eta} = \frac{460}{12265,6 \cdot 0,8} = 0,05 \text{ МПа},$$

де $F_{ц} = 0,785 \cdot 125^2 = 12265,6 \text{ мм}^2$ – 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 по торцям заготовки виникають сили тертя (на рисунку 2.10 позначені коефіцієнтами тертя f), які за час хонінгування утримують її від обертання. Сила Q визначається за формулою [12]:

$$Q = \frac{\beta \cdot P_{ок} \cdot D_0}{f \cdot (d_0 + D)} = \frac{1,5 \cdot 72 \cdot 50}{0,1 \cdot (50 + 65)} = 470 \text{ кгс},$$

де $\beta = 1,3 - 1,5$ – коефіцієнт надійності затиснення (приймається $\beta = 1,5$);

$f = 0,1 - 0,15$ – коефіцієнт тертя (приймається $f = 0,1$);

$D_0 = 50$ мм – діаметр отвору;

$D = 65$ мм – зовнішній діаметр циліндричної частини заготовки.

Сила на штоку одного гідравлічного циліндра визначається за формулою:

$$P_{\text{ГЦ}} = \frac{Q}{2} = \frac{470}{2} = 235 \text{ кгс} \cdot 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 2306 \text{ Н}.$$

Діаметр поршня гідравлічного циліндра $D_{\text{п}}$ при подачі мастила в порожнину поршня визначається за формулою [4]:

$$D_{\text{п}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{ГЦ}}}{p_{\text{н}} \cdot \eta}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{2306}{10 \cdot 0,9}} = 18,1 \text{ мм},$$

де $p_{\text{н}} = 10$ МПа – номінальний тиск в гідравлічному циліндрі;

$\eta = 0,9$ – механічний ККД.

Діаметр поршня гідравлічного циліндра $D_{\text{ш}}$ при подачі мастила в штокову порожнину визначається за формулою [4]:

$$D_{\text{ш}} = \sqrt{\frac{1,27 P_{\text{ГЦ}}}{p_{\text{н}} \cdot \eta} + d^2} = \sqrt{\frac{1,27 \cdot 2306}{10 \cdot 0,9} + 20^2} = 27 \text{ мм},$$

де $d = 20$ мм – діаметр штока (приймається за кресленням).

Приймається стандартний гідравлічний циліндр двосторонньої дії при номінальному тиску $p_{\text{н}} = 10$ МПа; $D_{\text{ц}} = 50$ мм; хід поршня $S = 32$ мм; діаметр штока $d = 20$ мм [4, т. 21, с. 92].

Визначаємо фактичну силу на штоку гідравлічного циліндра – штовхання $P^{\text{Ш}}$ і тяги P^{T} , за формулами [4]:

$$P^{\text{Ш}} = 0,785 D_{\text{ц}}^2 \cdot p_{\text{н}} \cdot \eta = 0,785 \cdot 50^2 \cdot 10 \cdot 0,9 = 17663 \text{ Н};$$

$$P^{\text{T}} = 0,785 (D_{\text{ц}}^2 - d^2) \cdot p_{\text{н}} \cdot \eta = 0,785 \cdot (50^2 - 20^2) \cdot 10 \cdot 0,9 = 14837 \text{ Н};$$

Порівняємо

$$P^{\text{Ш}} = 17663 \text{ Н} > P_{\text{Г}} = 2306 \text{ Н};$$

$$P^{\text{T}} = 14837 \text{ Н} > P_{\text{Г}} = 2306 \text{ Н}.$$

Обрані гідравлічні циліндри забезпечать закріплення заготовки.

Потрібна шорсткість $R_a=0,4$ мкм при хонінгуванні алмазними брусками забезпечується правильним підбором марки змащувально-охолоджувальної

рідини (ЗОР). За рекомендаціями довідника [12] при хонінгуванні спеціальної марки чавуну алмазними брусками марки АСВ 40/28-100-МС1 ГОСТ 16066-71 беремо емульсію низької концентрації із складом – емульсол НГЛ-205 (5–10%) і вода (90–95%). Склад емульсолу – мастильний розчин сульфоната натрію, мастило марки АС-6,5 і пасивуючі домішки. Зовнішній вигляд ЗОР – темно-корінькова масляниста рідина.

2.5.3 Розрахунок точності елементів пристрою

Щоб уникнути перекося при установленні і закріпленні циліндру, який може призвести до появи овальності обробленого отвору, в конструкції плити 2 передбачена сферична пара. Можливий перекося треба обмежити допуском, а саме, базові торці верхньої плити і нижньої підвалини установчої бази пристрою повинні бути паралельні та перпендикулярні відносно осі хонінгованого отвору.

Параметр $T_{\text{пр}}$ – допуск перпендикулярності наведених поверхонь визначається за формулою [10]:

$$T_{\text{пр}} \leq T_{\text{д}} - K_{\text{Т}} \sqrt{(K_{\text{Т1}} \cdot \varepsilon_{\text{б}})^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + \varepsilon_{\text{пер}}^2 + (K_{\text{Т2}} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{уст}}^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2},$$

де $T_{\text{д}} = 0,6 \cdot T_{90h11} = 0,6 \cdot 0,22 = 0,132 \text{ мм} = 132 \text{ мкм}$ – допуск відхилення перпендикулярності осі отвору відносно базового торця циліндра;

$$K_{\text{Т}} = 1,2; K_{\text{Т1}} = 0,825;$$

$\varepsilon_{\text{б}} = 0$ – похибка базування заготовки;

$\varepsilon_{\text{з}} = 0$ – похибка закріплення заготовки;

$\varepsilon_{\text{и}} = 0$ – похибка зносу установчих елементів пристрою (рівномірний знос за всією площиною при контакті з заготовкою);

$\varepsilon_{\text{пер}} = 0$ – похибка перекося інструмента (хон установлюється по отвору);

$K_{\text{Т2}} = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує імовірність появи похибки обробки;

$\omega = 25 \text{ мкм}$ – середня економічна точність обробки (хонінгування по ІТ7 для діаметра 50 мм);

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0,1^2} = 0,1 \text{ мм} \text{ – похибка установки}$$

пристрою на столі верстата;

$\varepsilon_{\text{поз}} = 0$ – похибка позиціонування шпиндельного вузла (шарнірне кріплення хона).

$$T_{\text{пр}} \leq 132 - 1,2\sqrt{(0,6 \cdot 25)^2 + 100^2} = 11 \text{ мкм.}$$

Приймаємо $T_{\text{пр}} = 0,01$ мм і вносимо розраховане значення в технічні вимоги креслення пристрою для хонінгування.

2.5.4 Опис конструкції і роботи пристрою

Пристрій складається із корпусу 1, двох вбудованих гідравлічних циліндрів, в яких розташовані поршень 3, закритий кришкою 2. Кінці двох поршнів 3 з'єднані плитою 4 із запресованою втулкою 7, яка стикається поверхнею сфери з кільцем 5. Кільце 5 фіксується держакон 6. Біля корпусу 1 установлена гідравлічна станція, яка постачає мастило по трубопроводам крізь штуцера 21 в порожнини гідравлічних циліндрів.

Закріплення заготовки виконується кільцем 5 за допомогою гідравлічних циліндрів, які утримують її від обертання і осьових переміщень. Пристрій має просту конструкцію, зручне установлення, закріплення (розкріплення) заготовки займає незначний час. Обслуговування при хонінгуванні заготовок не потребує працівників високої кваліфікації. Пристрій треба зберігати к сухій коморі, попередньо змастивши мастилом рухомі частини.

2.6 Проектування хонінгувальної головки

Для хонінгування «глухого» отвору $\text{Ø}50\text{H}7$ мм і довжиною 87,5 мм розроблений спеціальний різальний інструмент – хон $\text{Ø}50$ мм (див. рис. 2.6 а, б, в).

Хонінгувальна головка призначена для установки і закріплення комплекта хонінгувальних брусків, які отримують радіальну подачу (розтиснення) після введення головки у оброблювальний отвір та стискання перед відведенням головки після закінчення обробки. Тип і конструкція хонінгувальної головки визначається розмірами і формою оброблювального отвору, прийнятою схемою

обробки. У даному підрозділі необхідно вибрати і обґрунтувати конструктивні елементи головки (див. рис. 2.6 а).

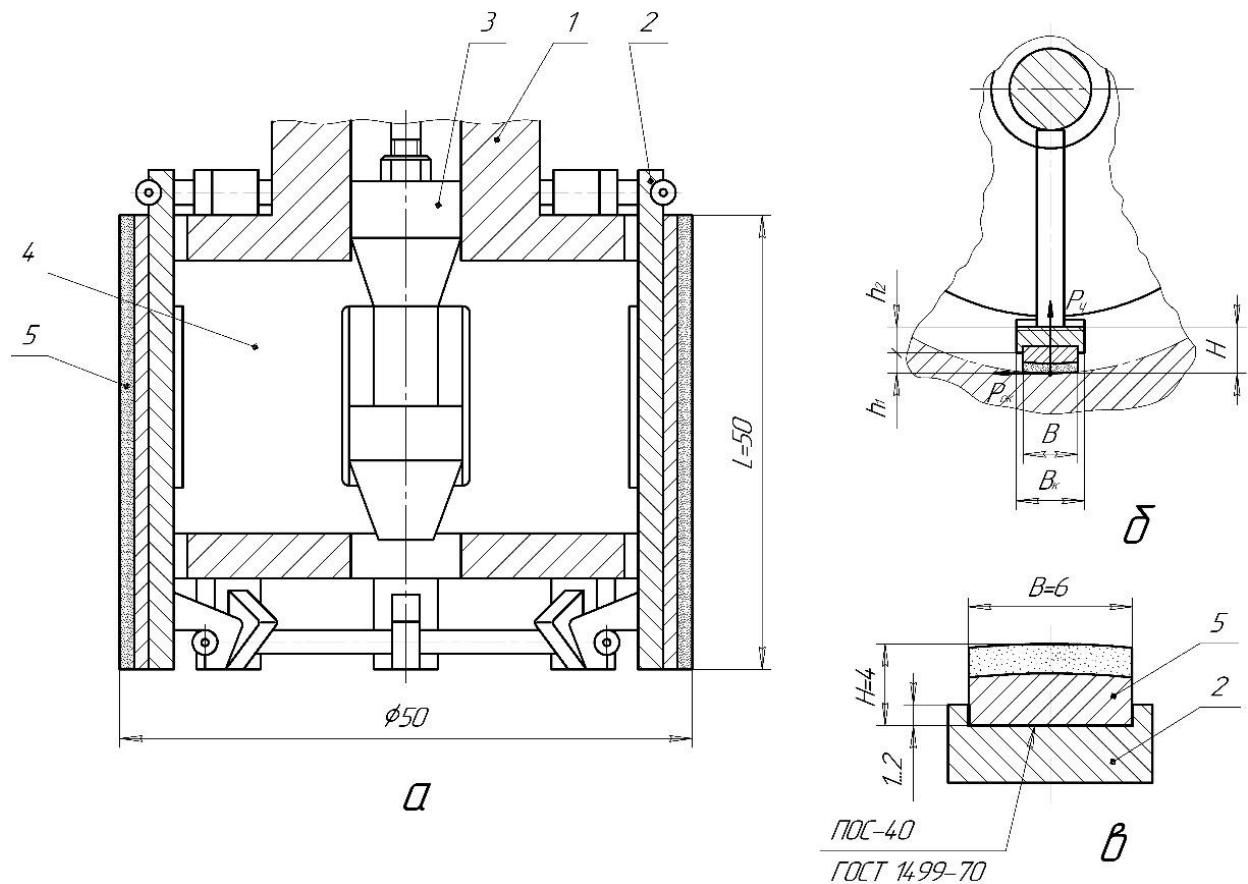


Рисунок 2.6 а, б, в – Хонінгувальна головка для хонінгування «глухих» отворів:

- 1 – корпус; 2 – колодка; 3 – розтискний конус; 4 – розтискна планка;
5 – алмазний брусок

Довжина отвору заготовки визначає відстань між шарнірами «плаваючої» хонінгувальної головки. Згідно рекомендацій [12] розміщення шарнірів і штовхачів механізму розтиснення брусків для діаметрів 40-60 мм приймати не менше 180-250 мм. При такої довжини і можливим поворотом за допомогою шарнірів на кут $2-3^\circ$ забезпечується вільне «плавання» головки у разі максимального зміщення осі оброблювального отвору відносно осі шпинделя верстата.

Кут нахилу твірні розтискного конусу 3 за рекомендацією джерела [13] прийнятий 12° . При інших значеннях кутів може відбутися самостійне

заклинювання розтискних планок 4 і полонка брусків 5 у разі введення головки в отвір. При великих кутах виникає значна податливість пари «планка-конус», що утруднює виправлення вихідної похибки форми отвору.

Для надійного кріплення брусок 5 розташовують в пазу колодки, глибина якої дорівнює 1 – 2 мм. Ширина колодки

$$B_k = 1,25B = 1,25 \cdot 6 = 8 \text{ мм.}$$

Діюча на брусок колова сила $P_{ок}$ буде момент, який прямує заклінути колодки 2 в корпусі 1 головки. При не бажаному співвідношенні розмірів h_1 і h_2 можлива поява вібрації і руйнування брусків. Тому рекомендується прийняти [13]

$$h_2 = (1 - 1,5)h_1 = (1 - 1,5) \cdot 2 = (2 - 3) \text{ мм,}$$

де $h_1 = H - S = 4 - 2 = 2 \text{ мм.}$

Алмазні бруски 5 паяють до колодки 2 припаями із олова ПОС-30 або ПОС-40 ГОСТ 1499-70. Перед напаянням колодки складають в пакет і шліфують в один розмір за висотою на плоскошліфувальному верстаті. Аналогічно шліфують підвалини алмазних брусків. Це потрібно виключити надлишкове видалення алмазного шару на окремих брусках при їх припасуванні по заданому радіусу поверхні отвору. Потім приволочені площини колодок і підкладень алмазних брусків лудять припоєм, а далі, бруски притискають до колодок і охолоджують на повітрі.

Для кріплення хонінгувальної головки до шпинделя верстата застосовують спеціальні патрони [13]. Верхній шарнір Гука передбачається розташувати в патроні, що дозволить спростити конструкцію хонінгувальної головки. Конструкція патрона наведена на кресленні (див. додаток 3).

Крутний момент від шпинделю верстата до патрона хона передається двома шпонками, які є слабким елементом інструмента. Тому необхідно перевірити міцність шпонок на «зрізання» за формулою [9]:

$$[\tau] > \tau = \frac{P_{ок}}{2 \cdot F} = \frac{72}{2 \cdot 35} = 1,1 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2},$$

де $[\tau] = (11,5 - 14,0) \text{ кг/мм}^2$ – допустима напруга для матеріалу шпонки (сталь 45 ГОСТ 1050-88);

$P_{ок} = 72$ кг – колова сила при хонінгуванні (див. підрозділ 2.5 пояснювальної записки);

$F = 14 \cdot 2,5 = 35$ мм² – площа поперечного перетину шпонки.

Таким чином, $[\tau] = 11,5 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2} > \tau = 1,1 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ і працездатність цього вузла інструмента буде забезпечена.

В додатку 3 до пояснювальної записки наведене креслення хонінгувальної головки для обробки «глухого» отвору $\text{Ø}50H7$ мм.

2.7 Висновок

1. Запропонований новий варіант технологічного процесу виготовлення циліндра стосовно середньосерійного типу виробництва.
2. Вибраний спосіб одержання заготовки і розраховані її розміри.
3. За програмою «*grp.ver.7.1*» на ЕОМ розраховані припуски і розміри по технологічним переходам для обробки отвору $\text{Ø}50H7$ мм.
4. Розроблена структура операції 035 «Хонінгувальна», вибрані модель верстата, тип і характеристики алмазних брусків, розраховані режими різання, технічні норми часу.
5. Для закріплення заготовки на хонінгувальній операції 035 спроектований верстатний пристрій із гідравлічним приводом.
6. Спроектвана спеціальна хонінгувальна головка (хон $\text{Ø}50$) для обробки «глухого» отвору циліндра.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ УТВОРЕННЯ ФОРМИ ПРОФІЛЮ ОТВОРУ У ПОЗДОВЖНЬОМУ ПЕРЕРІЗІ ПІСЛЯ ХОНІНГУВАННЯ

3.1 Математична модель процесу видалення припуску при хонінгуванні абразивним інструментом

Особливістю хонінгування абразивним інструментом є його постійний контакт із оброблювальною заготовкою. В початковий період контакту відбувається інтенсивне видалення металу. Це пов'язано із утворенням профілю робочої поверхні інструменту, який визначається геометричними розмірами і фізико-механічними властивостями поверхні заготовки.

Модель процесу видалення шару припуску можна визначити рівнянням, яке наведено у роботі [23]. Змінення припуску за час Δt визначиться за формулою:

$$\Delta q = q(t + \Delta t) - q(t), \quad (3.1)$$

де $q(t)$ – величина видаленого припуску за час t .

Тоді швидкість видалення припуску визначиться за формулою:

$$\frac{q(t + \Delta t) - q(t)}{\Delta t}, \quad (3.2)$$

а відносне змінювання припуску за час Δt :

$$R(t) = \frac{q(t + \Delta t) - q(t)}{q(t)\Delta t}, \quad (3.3)$$

Експериментально встановлено, що за відсутністю похибки форми отвору відносне змінювання припуску є постійною величиною і залежить від фізико-механічних характеристик матеріалів заготовки та інструменту. За наявності похибок форми поверхні заготовки, припуск видаляється нерівномірно і відповідає величині похибки форми.

Припустимо, що для відносного змінення припуску, можна використати залежність:

$$R(t) = \frac{q(t + \Delta t) - q(t)}{q(t)\Delta t} = a - bq(t), \quad (3.4)$$

де a и b – деякі постійні.

Тоді формула (3.4) буде мати вигляд:

$$\frac{q(t + \Delta t) - q(t)}{\Delta t} = aq(t) - bq^2(t). \quad (3.5)$$

Якщо перейти до межі за Δt , то будемо мати звичайне диференціальне рівняння, що характеризує інтенсивність обробки:

$$\frac{\delta q(t)}{\delta t} = aq(t) - bq^2(t). \quad (3.6)$$

Рівняння (3.6) допускає розподіл перемінних і його загальне рішення буде мати вигляд:

$$q(t) = \frac{a}{-b + aC}, \quad (3.7)$$

де C – необґрунтована стала величина.

Вихідною умовою для часткового рішення прийнята величина припуску для обробки на початок часу:

$$q(0) = q_0. \quad (3.8)$$

Тоді рівняння (3.6) може бути вирішено за допомогою рішення задачі Коші:

$$q(t) = \frac{aq_0}{(a + bq_0)e^{at} - bq_0}. \quad (3.9)$$

На рисунку 3.1 зображено поле напрямлень (загальне рішення без вихідних умов) та інтегральні залежності (можливе часткове рішення із вихідними умовами $q_0 = 0,1$ мм і $q_0 = 0,2$ мм) для інтервалу часу $\Delta t = 60$ с, при $a = 0,005$ і $b = 0,8$, що характеризує інтенсивність видалення припуску.

Математична модель підтверджує, що на початку обробки із вихідною похибкою форми відбувається інтенсивне видалення металу, а у подальшому його інтенсивність різко знижується.

Часткові рішення (на рисунку 3.2 зображені двома кривими) визначені рівняннями (3.10) і (3.11):

$$q(0,1) = \frac{1}{-160 + 165a^{0,005t}}, \quad (3.10)$$

$$q(0,2) = \frac{1}{-160 + 165a^{0,005t}}, \quad (3.11)$$

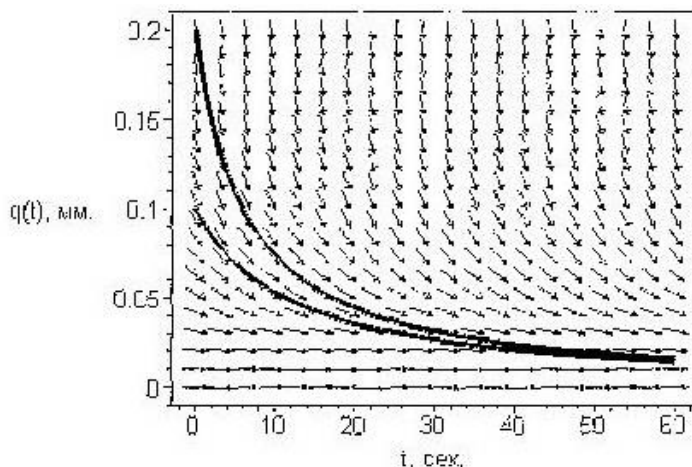


Рисунок 3.1 – Залежності інтенсивності видалення припуску, що визначені із рівняння (3.6) при $a=0,005$ и $b=0,8$

Якщо похибка форми відсутня, то при $b = 0$ рівняння (3.6) буде мати вигляд:

$$\frac{\delta q(t)}{\delta t} = -aq(t). \quad (3.12)$$

Рішення задачі Коші для рівняння (3.12) із початковими умовами (3.8):

$$q(t) = q_0 e^{-at}. \quad (3.13)$$

Із рівняння (3.12) побудуємо графік поля напрямлень та інтегральних кривих видалення припуску при $a = 0,005$ (див. рис. 3.2).

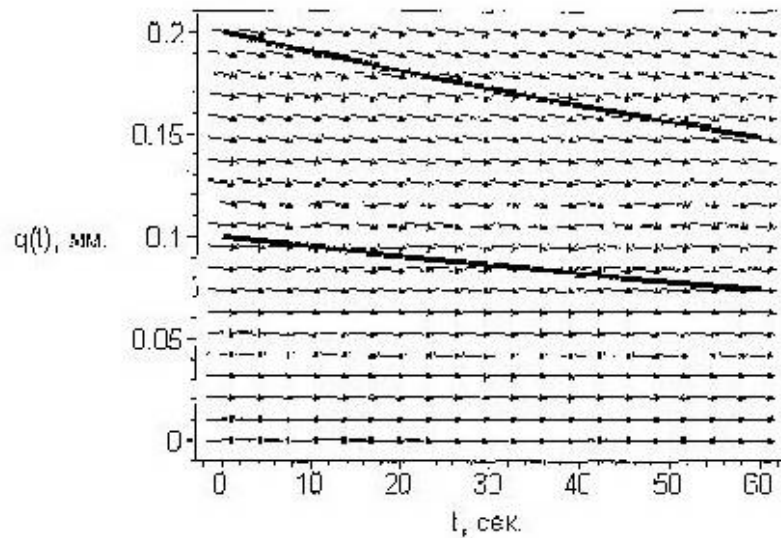


Рисунок 3.2 – Залежності інтенсивності видалення припуску, що визначені із рівняння (3.12) при $a = 0,005$

Із графіка видно, якщо відсутня похибка форми (ідеальна поверхня заготовки), то інтенсивність видалення припуску наглядно знижується. Однак із збільшенням параметра a (наприклад, виконується обробка заготовки інструментом, які мають інші фізичні характеристики) інтенсивність видаленого припуску може бути іншою. Наприклад, на рисунку 3.3 зображений графік інтенсивності видалення припуску, що визначений із рівняння (3.3) при $a = 0,05$ і $b = 0$.

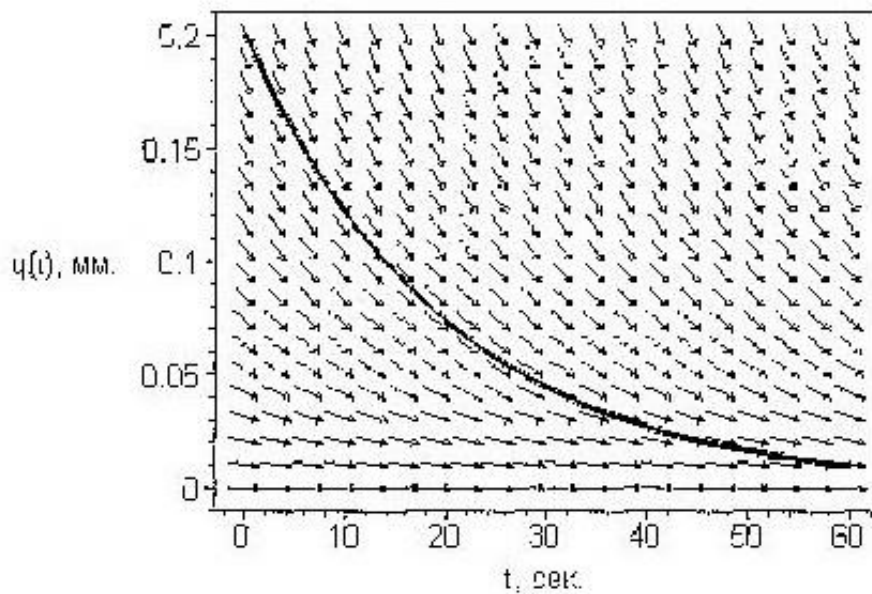


Рисунок 3.3 – Залежність інтенсивності видалення металу, що визначена із рівняння (3.3) при $a = 0,05$ і $b = 0$

У загальному випадку передбачається, що параметр a в рівнянні (3.9) є функцією фізичних параметрів процесу абразивної обробки. Тоді, наведена залежність може бути дуже складною і піддана випадковим збуренням. У той же час, загальне видалення металу можна визначити режимами різання після обробки експериментальних даних за методом найменших квадратів.

Перейдемо від рівняння (3.9), що характеризує інтенсивність видалення припуску, до моделі, яка зображує видалення металу за час обробки. Такий підхід найбільш розповсюджений у науковій літературі [14].

Позначимо видалення металу $Q(t) = q_0$, тоді рівняння (3.9) визначиться:

$$q(t) = \frac{aq_0}{(a + bq_0)e^{at} - bq_0}. \quad (3.14)$$

Характер теоретичної залежності рівняння (3.14) при $q_0 = 0,2$ мм, $a = 0,005$ і $b = 0,8$ в інтервалі часу $\Delta t = 60$ с наведений на рисунку 3.4.

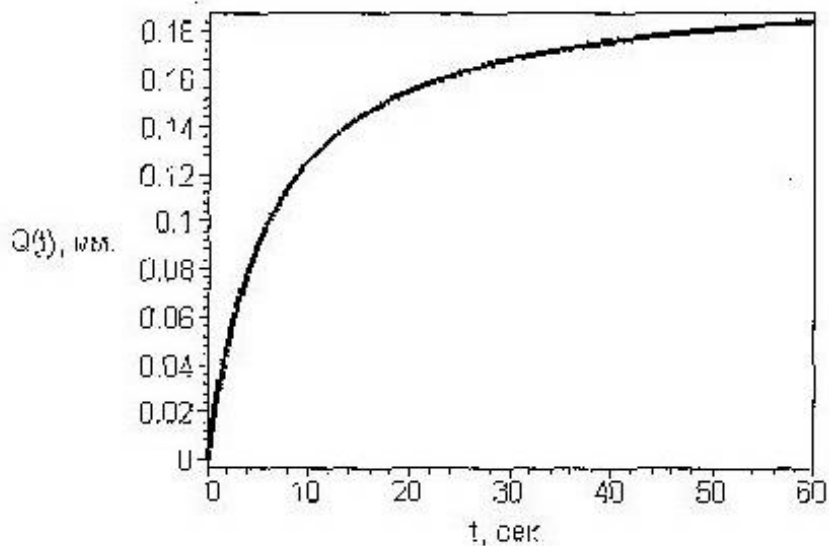


Рисунок 3.4 – Залежність видалення металу від часу обробки отвору

Математична модель підтверджує, що на початку обробки заготовки із наявністю вихідної похибки форми поверхні, відбувається найбільш інтенсивне видалення металу. У подальшому інтенсивність зменшується, тому що зменшується похибка форми і шорсткість поверхні. Математичну модель можна використати для описування та прогнозування динаміки видалення шару припуску при хонінгуванні абразивним інструментом [16].

3.2 Методика для розрахунку режимів обробки отворів новим способом хонінгування

Для розрахунку режимів обробки отворів із вихідною похибкою геометричної форми в поздовжньому перерізі розроблена спеціальна методика. Методика передбачає рівномірне видалення припуску шляхом керування тиском хонінгувальних брусків на різних ділянках оброблювальної поверхні.

Шлях різання, що проходять хонінгувальні бруски уздовж поперечні перерізи отвору, розподілений не рівномірно за довжиною отвору (див. рис. 3.5).

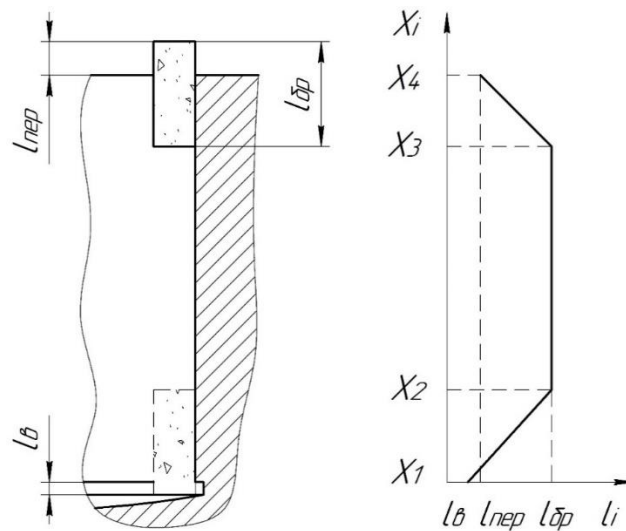


Рисунок 3.5 – Розподілення шляху різання на довжині отвору за один рух хонінгувальної головки

Приймаємо умовні позначення:

$$l_1 = l_b; \quad l_2 = l_{бр}; \quad l_3 = l_{пер}, \quad (3.15)$$

де l_1, l_2, l_3 – шляхи різання в нижній, середній та верхній частинах отвору за один рух хонінгувальної головки;

l_b – довжина виточки у підвалині оброблювального отвору;

$l_{бр}$ – довжина хонінгувального бруска;

$l_{пер}$ – довжина перебігу хонінгувального бруска за межу отвору.

Час хонінгування поперечних перерізів отвору також нерівномірно розподілений на його довжині:

$$t_1 = \frac{l_b}{V_{зп}}; \quad t_2 = \frac{l_{бр}}{V_{зп}}; \quad t_3 = \frac{l_{пер}}{V_{зп}}, \quad (3.16)$$

де t_1, t_2, t_3 – час хонінгування у нижній, середній і верхній частинах отвору за один рух хонінгувальної головки;

$V_{зп}$ – швидкість зворотно-поступального руху хонінгувальної головки уздовж осі отвору.

Вплив технологічного режиму хонінгування на інтенсивність видалення припуску характеризується функціональною залежністю:

$$Q = f(p, t), \quad (3.17)$$

де Q – видалення металу;

p, t – відповідно тиск хонінгувальних брусків та час хонінгування.

Рівномірне видалення припуску без затримок зворотно-поступального руху хонінгувальної головки забезпечується керуванням тиску хонінгувальних брусків на поверхню отвору.

Для визначення кількості рухів головки треба визначити загальний час хонінгування поперечних перерізів отвору:

$$t_{1\text{ заг}} = f(z_1; p_{\text{max}}); \quad t_{2\text{ заг}} = f(z_2; p_{\text{max}}); \quad t_{3\text{ заг}} = f(z_3; p_{\text{max}}), \quad (3.18)$$

де $t_{1\text{ заг}}, t_{2\text{ заг}}, t_{3\text{ заг}}$ – передчасно визначений час хонінгування відповідно у нижній, середній та верхній частинах отвору;

z_1, z_2, z_3 – величини припуску в нижній, середній та верхній частинах отвору;

p_{max} – максимальний тиск хонінгувальних брусків.

Кількість рухів хонінгувальної головки n дорівнює максимальному відношенню:

$$n = \max\left(\frac{t_{1\text{ заг}}}{t_1}; \frac{t_{2\text{ заг}}}{t_2}; \frac{t_{3\text{ заг}}}{t_3}\right). \quad (3.19)$$

Остаточню, загальний час хонінгування поперечних перерізів отвору дорівнює:

$$t_{1\text{ заг}} = t_1 n; \quad t_{2\text{ заг}} = t_2 n; \quad t_{3\text{ заг}} = t_3 n, \quad (3.20)$$

де $t_{1\text{ заг}}, t_{2\text{ заг}}, t_{3\text{ заг}}$ – загальний час хонінгування в нижній, середній та верхній частинах отвору.

Тиск хонінгувальних брусків в поперечних перерізах отвору дорівнює:

$$p_1 = f(z_1; t_{1\text{ заг}}); \quad p_2 = f(z_2; t_{2\text{ заг}}); \quad p_3 = f(z_3; t_{3\text{ заг}}), \quad (3.21)$$

де p_1, p_2, p_3 – тиск хонінгувальних брусків в нижній, середній та верхній частинах отвору.

Загальний час хонінгування отвору дорівнює:

$$t_{\text{зп}} = t_x \cdot n = \frac{l_x}{V_{\text{зп}}} \cdot n, \quad (3.22)$$

де t_x і l_x – час та довжина руху хонінгувальної головки.

Обробка із затриманням зворотно-поступального руху хонінгувальної головки дозволяє видалити рівномірно припуск за рахунок керування тиском брусків на оброблювальну поверхню.

Для визначення кількості рухів розглядається тільки поперечний переріз у середній частині отвору, тому що час t_2 має максимальне значення. Можливо, що у поперечних перерізах нижньої і верхньої частинах отвору максимального тиску буде недостатньо, щоб видалити припуск за час обробки. Тоді на зазначених частинах поверхні треба застосувати затримання руху, які повинні чергуватися із робочими рухами хонінгувальної головки.

Вплив технологічних режимів хонінгування на інтенсивність видалення припуску при затриманнях зворотно-поступального руху хонінгувальної головки характеризується функціональною залежністю:

$$Q_3 = f(p_3; t_3), \quad (3.23)$$

де Q_3 , p_3 , t_3 – відповідно інтенсивність видаленого припуску, тиск хонінгувальних брусків і час хонінгування при затриманнях зворотно-поступального руху хонінгувальної головки.

При зворотно-поступальних рухах хонінгувальної головки час t_{1i} , t_{2i} , $t_{3i} = const$, де $i = 1 \dots n$ – номер руху. Для визначення величин припусків, які потрібно видалити при затриманнях руху, скористаємося функціональною залежністю (3.23) при рівномірному чергуванні часів t_{1i} і t_{3i} .

Позначимо $Q_{i \text{ до}}$ і $Q_{i \text{ після}}$ – величини припусків до і після затримання руху. Час затримання руху в нижній і верхній частинах отвору визначається із функціональної залежності (3.23):

$$\begin{aligned} t_{1t_3} &= f(Q_{1i \text{ до}} + Q_{1i \text{ після}}; P_{max}); \\ t_{3t_3} &= f(Q_{3i \text{ до}} + Q_{3i \text{ після}}; P_{max}). \end{aligned} \quad (3.24)$$

При цьому можливо, що t_{1t_3} та $t_{3t_3} \neq const$, де $i = 1 \dots n$.

Тиск хонінгувальних брусків в середній частині отвору при затриманнях руху дорівнює нулю.

Загальний час хонінгування отвору із урахуванням затриманням руху визначиться за формулою:

$$t_0 = t_{\text{вп}} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{1t_3} + t_{3t_2}. \quad (3.25)$$

3.3 Умови підвищення продуктивності хонінгування отворів із вихідною похибкою геометричної форми у поздовжньому перерізі

Для видалення припуску на окремих частинах поверхні отвору, де має місце похибка у поздовжньому перерізі, треба регулювати зусилля на верхніх та нижніх ділянках брусків (див. рис. 3.6).

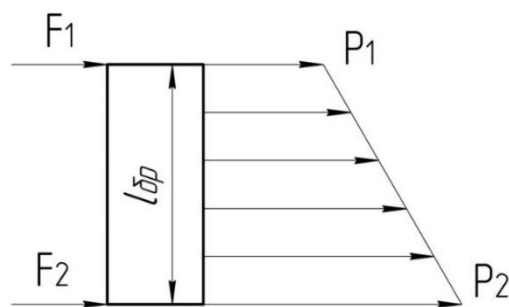


Рисунок 3.6 – Епюра тиску хонінгувальних брусків на середній частині оброблювального отвору

Тиск на кінцевих частинах хонінгувального бруска визначиться за формулами:

$$p_1 = \frac{2F_1}{l_6 \cdot b_6}; \quad p_2 = \frac{2F_2}{l_6 \cdot b_6}, \quad (3.26)$$

де F_1, F_2 – зусилля, що надаються верхнім і нижнім ділянкам хонінгувальних брусків;

b_6 – ширина хонінгувального бруска;

l_6 – довжина хонінгувального бруска.

Тиск у середній частині хонінгувального бруска визначиться за формулою:

$$p_{\text{ср}} = \frac{F_1 + F_2}{l_6 \cdot b_6}, \quad (3.27)$$

Виходячи із формули (3.26), при обробки заготовки без перебігу брусків за межу оброблювального отвору, зусилля, що надаються верхнім і нижнім ділянкам хонінгувальних брусків, визначаються за формулами:

$$F_1 = \frac{p_1 \cdot l_6 \cdot b_6}{2}; \quad F_2 = \frac{p_2 \cdot l_6 \cdot b_6}{2}, \quad (3.28)$$

При обробки заготовки із перебігом хонінгувальних брусків за межу оброблювального отвору можливі два варіанта визначення зусилля, що надаються верхнім і нижнім ділянкам хонінгувальних брусків.

На рисунку 3.7 наданий перший варіант із перебігом хонінгувальних брусків у верхній частині отвору.

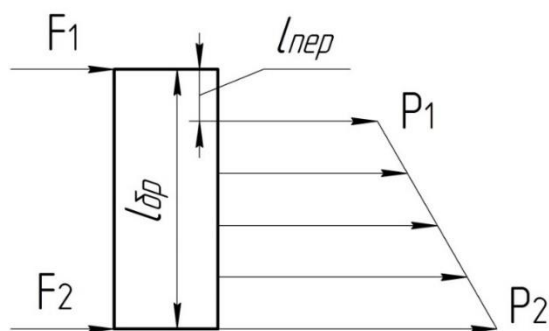


Рисунок 3.7 – Епюра тиску хонінгувальних брусків на верхній частині оброблювального отвору (із перебігом брусків)

Тиск на кінцевих частинах хонінгувального бруска визначиться за формулами:

$$p_1 = \frac{2 \cdot F_1}{(l_6 - l_{\text{пер}}) \cdot b_6}; \quad p_2 = \frac{2 \cdot (F_2 - F_1 \frac{l_{\text{пер}}}{l_6 - l_{\text{пер}}})}{(l_6 - l_{\text{пер}}) \cdot b_6}. \quad (3.29)$$

Виходячи із формули (3.29), зусилля, що надаються верхнім та нижнім ділянкам хонінгувальних брусків визначаються за формулами:

$$F_1 = \frac{p_1 \cdot (l_6 - l_{\text{пер}}) \cdot b_6}{2}; \quad F_2 = \frac{p_2 \cdot (l_6 - l_{\text{пер}}) \cdot b_6}{2} + F_1 \cdot \frac{l_{\text{пер}}}{l_6 - l_{\text{пер}}}. \quad (3.30)$$

Епюра тиску хонінгувальних брусків у нижній частині отвору (дно із виточкою) наведена на рисунку 3.8.

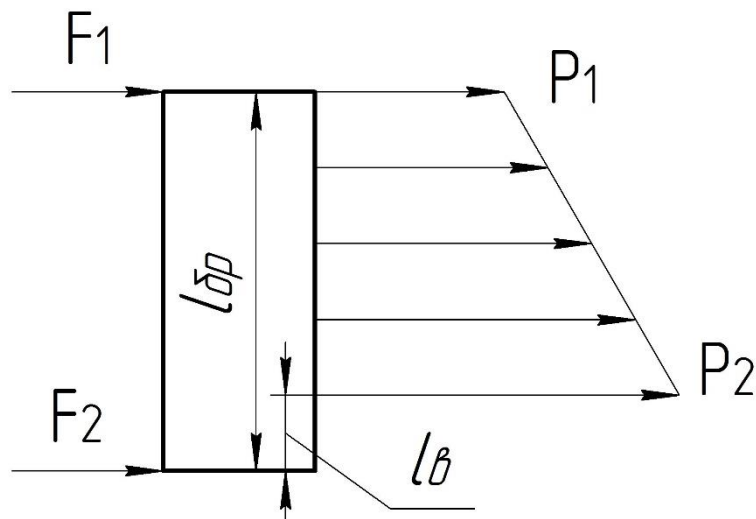


Рисунок 3.8 – Епюра тиску хонінгувальних брусків у нижній частині оброблювального отвору (дно із виточкою)

Тиск на кінцевих ділянках хонінгувального бруска визначиться за формулами:

$$p_1 = \frac{2 \cdot (F_1 - F_2 \cdot \frac{l_B}{l_б - l_B})}{(l_б - l_B) \cdot b_б}; \quad p_2 = \frac{2 \cdot F_2}{(l_б - l_B) \cdot b_б}. \quad (3.31)$$

Виходячи із формули (3.31), зусилля, що надаються верхнім та нижнім ділянкам хонінгувальних брусків, визначаються за формулами:

$$F_1 = \frac{p_1 \cdot (l_б - l_B) \cdot b_б}{2} + F_2 \cdot \frac{l_B}{l_б - l_B}; \quad F_2 = \frac{p_2 \cdot (l_б - l_B) \cdot b_б}{2}. \quad (3.32)$$

3.4 Розробка способу та конструкції для хонінгування глухих отворів

Для розробки нового способу хонінгування був вибраний існуючий спосіб, де хонінгувальна головка одночасно обертається і рухається зворотно-поступально уздовж осі оброблювального отвору заготовки. Хонінгувальні бруски під дією окремого клинового механізму розтискаються і самостійно установлюються на поверхні отвору заготовки (див. рис. 3.9) [8, 31].

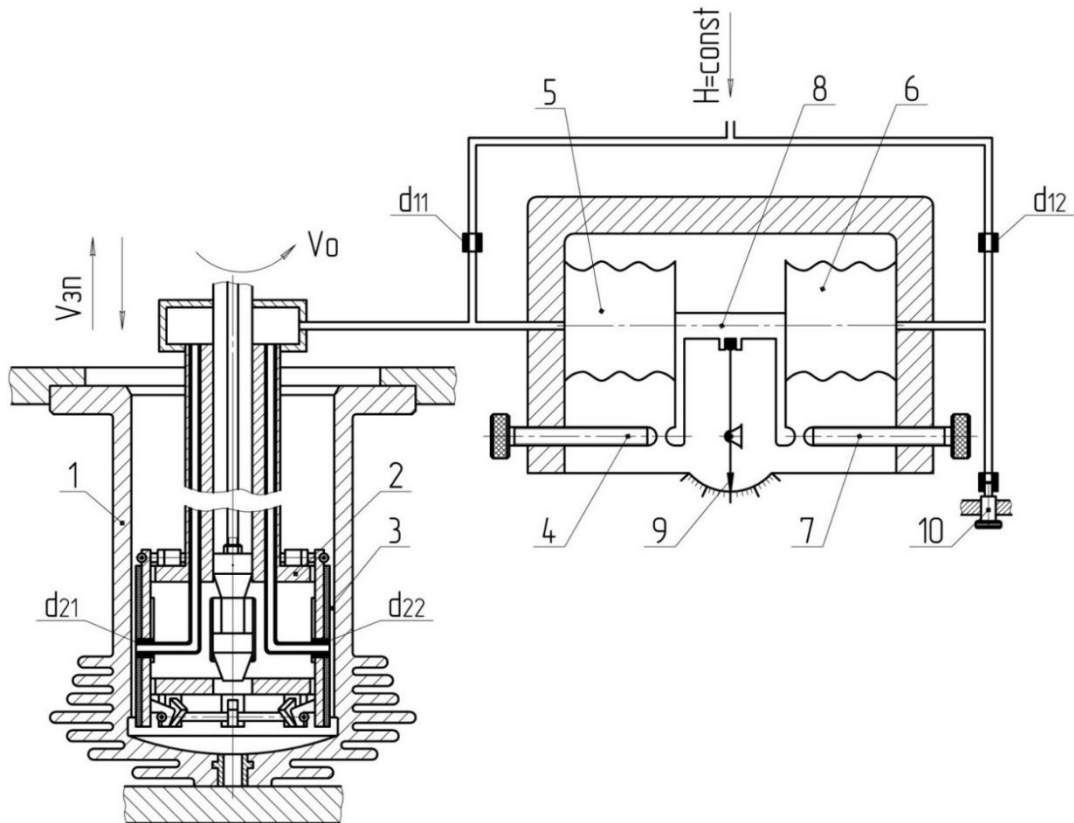


Рисунок 3.9 – Схема безконтактного пневматичного вимірювального пристрою безперервного контролю, що вбудована в хонінгувальну головку: 1 – заготовка; 2 – корпус хонінгувальної головки; 3 – абразивний брусок; 4 – контакти лівого сиффону; 5 – лівий сиффон; 6 – правий сиффон; 7 – контакти правого сиффону; 8 – мостик; 9 – шкала із стрілкою; 10 – регулюючий дросель; d_{11} і d_{12} – вхідні сопла; d_{21} і d_{22} – вимірювальні сопла

Недоліком існуючого способу обробки є складність виправлення вихідних похибок профілю поздовжнього перерізу і забезпечення потрібної форми оброблювального отвору із-за відсутності перебігу брусків у нижній частині отвору. Відомо декілька конструкцій головок, у яких додатково вбудований пристрій безперервного контролю розмірів із мембранним, чутливим елементом.

В корпусу 2 хонінгувальної головки (див. рис. 3.9) між брусками 3 вбудовані два вимірювальних сопла d_{21} і d_{22} , що утворюють пневматичний калібр. Очищене повітря із постійним тиском подається крізь вхідних сопел d_{11} і d_{12} до пневматичного диференціального електроконтактного датчика (модель 235). Повітря із лівого сопла d_{11} одночасно подається до лівого

сильфону 5 датчика і вимірювальних сопел d_{21} і d_{22} хонінгувальної головки. Повітря, що надходить із правого сопла d_{12} , подається до правого сильфона 6 і крізь регулюючий дросель 10 виходить в атмосферу.

Величина зазору між торцями вимірювальних сопел і поверхнею отвору заготовки 1 визначає діаметр останнього. На початку хонінгування, коли припуск ще не видалений, а зазор між торцями сопел і поверхнею отвору дуже малий, то тиск повітря у лівому сильфоні 5 більше ніж у правому 6. Це викликає зміщення мостику 8 вправо і вмикаються контакти 7. У міру видалення припуску зазор між поверхнею отвору і соплами збільшується, тиск у лівому сильфоні 5 знижується, що призводить до зміщення мостику 8 вліво, доки не замкнуться контакти 4. Останні дадуть команду на автоматичне зупинення верстата або на перехід у режим виходжування.

Систему налагоджують двома граничними кільцями-калібрами, які визначають поле допуску обробленого отвору за допомогою регулюючого дроселя 10 і регулюючих контактів 4 та 7. Для візуального нагляду за вимірюванням розміру отвору передбачена шкала із стрілкою 9, що вбудовані у пневматичний вимірювальний пристрій. Система дозволяє контролювати розмір отвору на всій її довжині із значною вихідною похибкою форми отвору у вигляді конусоподібності. Для помилкового відключення верстату, його електрична схема передбачає затримку вихідного сигналу в межах (0,1–0,4) секунд, щоб припинити обробку. Наведена система в середньому забезпечує точність в межах 0,01 мм [2].

Недоліком системи є безперервний контроль розміру оброблюваного отвору заготовки тільки в середній частині хонінгувальних брусків. Це не дозволяє робити висновок о різниці розмірів отвору у верхньому і нижньому ділянках хонінгувальних брусків і реєструвати розмір у дні оброблювального отвору.

Для удосконалення існуючої схеми пропонується спосіб обробки, коли хонінгувальної головки задають оберти і зворотно-поступальний рух уздовж осі

отвору заготовки. Додатково верхнім і нижнім ділянкам бруска надають незалежні рухи із визначеним зусиллям. Величини цих сил визначаються за формулою (3.32).

Наведені кінематичні рухи брусків дозволяють підвищити точність в поздовжньому перерізі отвору заготовки. Окрім цього, з'являється можливість компенсувати різну ступінь зносу хонінгувальних брусків на їх довжині.

Відмітною особливістю запропонованої конструкції є незалежний рух в радіальному напрямку відносно поверхні отвору кінцевих ділянок хонінгувальних брусків (див. рис. 3.10).

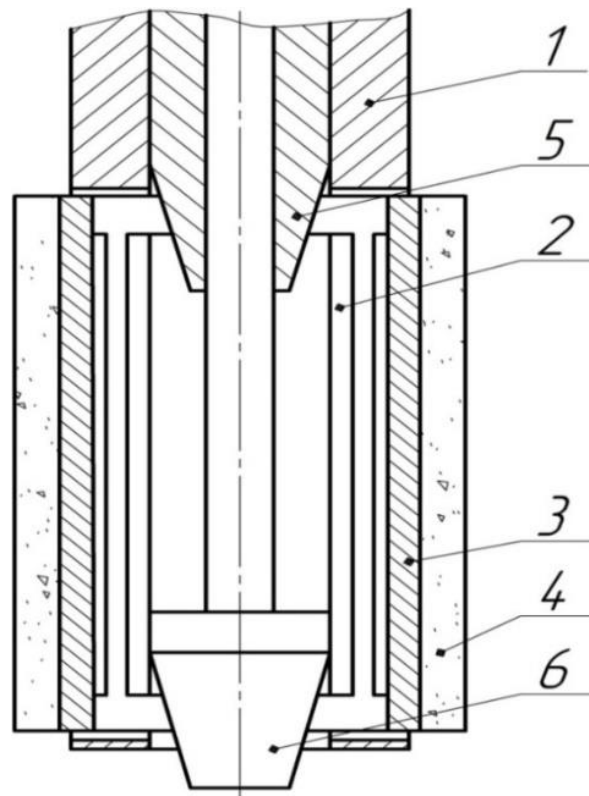


Рисунок 3.10 – Елементи конструкції хонінгувальної головки, яка реалізує новий спосіб хонінгування: 1 – корпус; 2 – конусні планки; 3 – колодки; 4 – абразивні бруски; 5 – верхній розтискний конус; 6 – нижній розтискний конус

Хонінгувальна головка складається із корпусу 1, де в його осьових пазах розташовані конусні планки 2 та колодки 3 із абразивними брусками 4. В осьовому отворі корпусу 1 розташований верхній конус 5 для надання руху верхнім ділянкам хонінгувальних брусків. В осьовому отворі верхнього

розтискного конуса 5 розташований нижній розтискний конус 6 для надання руху нижнім ділянкам хонінгувальних брусків. При обробки заготовки розтискним конусам 5 і 6 надається рух у осьовому напрямку від незалежних штовхачів.

Прийняте рішення було доопрацьоване з метою поліпшення функції керування тиском на окремі ділянки абразивних брусків. Для цього калібровані вимірювальні сопла 7 були розташовані на двох різних рівнях хонінгувальної головки (див. рис. 3.10).

В корпусі 1, між пазами колодок з брусами, на верхній і нижній ділянках брусків вмонтовані по два вимірювальні сопла 7, які створюють два пневматичних калібри. Схема підключення окремих елементів системи до кожного із пневматичних калібрів та їх налагодження є аналогічною, що наведена раніше. При роботі головки, показання вимірювальних приладів використовуються для подання керуючих сигналів на привід для розтискування хонінгувальних брусків (див. рис. 3.11).

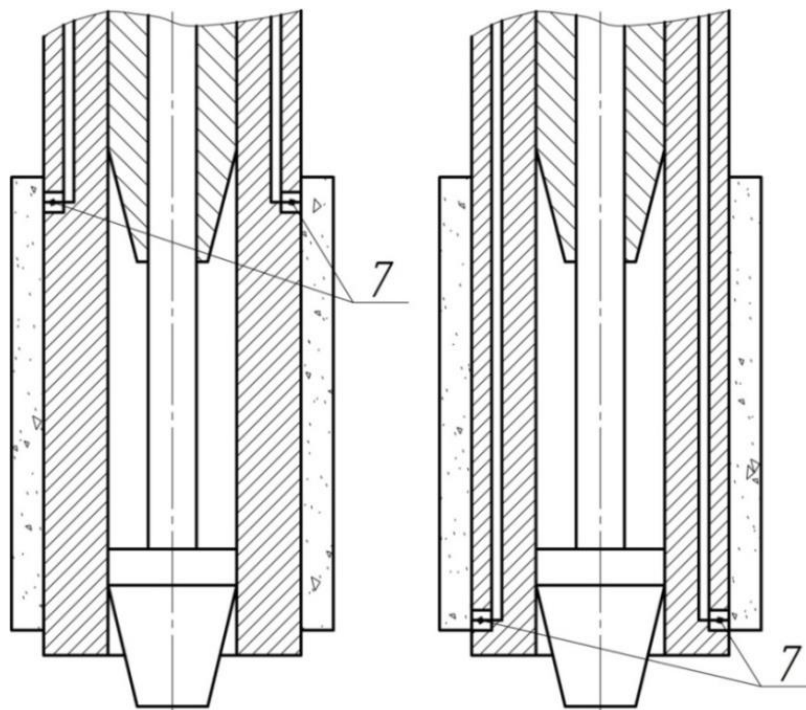


Рисунок 3.11 – Вмонтовані пневматичні вимірювальні сопла (7) на верхньому та нижньому рівнях корпусу хонінгувальної головки

Таким чином, конструкція існуючої хонінгувальної головки була доопрацьована двома розтискними конусами і схемою безконтактного пневматичного вимірювального пристрою активного контролю із вмонтованими вимірювальними соплами, що розташовувалися на двох різних рівнях. Запропоноване рішення дозволить передавати задані зусилля незалежно верхнім і нижнім ділянкам хонінгувальних брусків, а також регулювати величину компенсації різного ступеня зносу брусків на довжині отвору.

Для виправлення похибок профілю поздовжнього перерізу отвору заготовки пропонується на окремих її ділянках додатково виконувати затримку зворотно-поступального руху хонінгувальної головки.

3.5 Техніко-економічне обґрунтування хонінгувальної головки для обробки циліндра

Досліджувалася хонінгувальна головка, яка є інструментальним пристроєм хонінгувального верстата. За результатами роботи отримані наступні результати.

1. Розроблена хонінгувальна головка для обробки циліндра.

2. Експериментально досліджена обробка отвору циліндра хонінгувальною головкою. За результати дослідів встановлено:

- продуктивність процесу обробки підвищилася в 1,4...1,8 рази;
- шорсткість поверхні отвору (чавун ЧН1ХМД ГОСТ 11849-76) знизилася із вихідної $R_a = 1,25 \dots 1,6$ мкм до $R_a = 0,2 \dots 0,4$ мкм;
- виключені похибки форми отвору циліндра.

Розрахунок річного економічного ефекту від виробництва і використання нових засобів праці, довготривалого застосування із покращеними якостями (збільшенням продуктивності, довговічності) визначається за формулою:

$$E = \left[C \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} - (C + E_H \cdot \Delta K) \right] \cdot A, \quad (3.18)$$

де C – вартість базового засобу праці;

$\frac{B_2}{B_1}$ – коефіцієнт, який враховує зростання продуктивності одиниці нового засобу праці у порівнянні із старими (базовими) засобами праці;

B_1, B_2 – річні об'єми продукції (праці), які можливо виробляти при використуванні одиниці базового і нового засобів праці у натуральних одиницях;

$K_c = \frac{P_1 + E_n}{P_2 + E_n}$ – коефіцієнт, який враховує змінювання строку служби нової техніки у порівнянні із старою технікою;

P_1, P_2 – частина відрахування на повну відбудову (реновацію) нової і старої техніки;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

ΔK – додаткові капітальні вкладення для розроблення нових засобів праці;

A – річний об'єм виробництва нових засобів праці у розрахунковому році в натуральних одиницях.

Основні техніко-економічні показники для розрахунку наведені в порівняльній таблиці нового і базового варіантів.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця нового і базового варіантів

Найменування показників	Позначення	Одиниця вимірювання	Показники варіантів	
			Базовий	Новий
			Верстат моделі 3Н83	Модернізований верстат моделі 3Н83
Вартість верстата	C	грн	26000	$26000 + \Delta C^*$
Додаткові капітальні вкладення	ΔK	грн	–	1600
Коефіцієнт обліку зростання продуктивності праці	$\frac{B_2}{B_1}$	–	–	1,6...2,2
Коефіцієнт обліку змінювання строку служби модернізованого верстата	K_c	–	–	1,1
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних витрат	E_n	–	0,15	0,15
ΔC^* – надлишок до вартості верстата (хонінгувальна головка)				

Розрахунок капітальних витрат ΔK виконаний згідно кошторису вартості виконання науково-дослідної роботи за наступними статтями витрат:

1) пряма виробнича заробітна платня	– 7200 грн
2) сировина та матеріали	– 11000 грн
3) комплектуючі вироби, прибори, установки, апаратура, зразки і т. ін., для виконання договору	– 12050 грн
4) обладнання, яке потрібне для виконання робіт по темі договору	– 5000 грн
Всього основні витрати за статтями 1-4	– 35250 грн
5) нарахування на соціальне страхування – 5,5% від загального фонду заробітної платні (стаття 1)	– 396 грн
6) загально-університетські витрати – 34% від прямої заробітної платні (стаття 1)	– 2448 грн
7) планові накопичування – 5% від повної собівартості	– 800 грн
Всього витрат за статтями (1-7)	– 38894 грн

Коефіцієнт обліку зростання продуктивності праці $\frac{B_2}{B_1} = 1,9$ визначений за результатами порівняльних виробничих дослідів хонінгування звичайною головою і розробленим хоном.

Коефіцієнт обліку змінювання строку служби модернізованого верстата укомплектованого розробленим хоном K_c становить

$$K_c = \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} = \frac{0,0627 + 0,15}{0,0468 + 0,15} = 1,1.$$

Величини P_1 і P_2 запозичені із «Методики (основні положення) визначення економічної ефективності використання у народному господарстві нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій» (додаток № 2) для 10-и та 12-и років строку служби верстата відповідно.

Річний економічний ефект для одного хонінгувального верстата, який працює розробленою хонінгувальною головою, становить

$$E = [26000 \cdot 1,9 \cdot 1,1 - (26000 + 0,15 \cdot 38894)] \cdot 1 = 22506 \text{ грн.}$$

3.6 Висновок

1. Запропонована математична модель, яка із достатньою точністю зображує знімання металу при обробки заготовок існуючим хонінгуванням.
2. Розроблена методика розрахунку режимів різання для нового способу хонінгування глухих отворів, якщо присутня вихідна похибка форми у поздовжньому перерізі.
3. Теоретично обґрунтований новий спосіб хонінгування із застосуванням визначених закономірностей формоутворення профілю поздовжнього перерізу отвору та ряду умов потрібних для підвищення ефективності хонінгування.
4. Запропонована конструкція хонінгувальної головки дозволить розширити технологічні можливості операції хонінгування шляхом розподілення розтискного елемента (конусу) на дві його частини та автономного керування кожної із них за час обробки отвору заготовки.

ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз службового призначення циліндра компресорної станції, проаналізована основна технічна вимога деталі для її виготовлення.
2. Табличним методом визначений тип виробництва – середньосерійний та форма його організації – групова.
3. Виконаний аналіз конструкції циліндра за якісними та кількісними показниками технологічності. Конструкція визнана технологічною.
4. Виконаний аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення циліндра, зроблені висновки та надані завдання для удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.
5. Розроблений новий варіант технологічного процесу виготовлення циліндра і запропоновані нововведення для удосконалення хонінгувальної операції.
6. Визначений спосіб одержання вихідної заготовки – лиття металів і сплавів під тиском в металеві форми та розроблені технічні вимоги на її виготовлення.
7. Розрахунково-аналітичним методом з використанням ЕОМ визначені припуски і допуски на обробку «глухого» отвору $\varnothing 50H7(+0,025; 0)$ мм.
8. Обґрунтована схема базування і закріплення заготовки на операції 035 «Хонінгувальна», вибрана модель верстата, технологічна оснастка, різальний та вимірювальний інструмент, розраховані режими різання і норми часу.
9. Розроблене технологічне налагодження операції 035 «Хонінгувальна» для обробки циліндра з «глухим» отвором.
10. Спроектований пристрій для закріплення циліндра на операцію 035 «Хонінгувальна».
11. Розроблена математична модель процесу хонінгування, яка із достатньою точністю відбиває видалення металу при обробки заготовок з «глухим» отвором.

12. Визначені залежності формоутворення геометричної форми профілю у поздовжньому перерізі глухих отворів та розроблені вимоги для підвищення продуктивності хонінгування.

13. Теоретично обґрунтовані кінематичні рухи для розроблення нового способу хонінгування та запропонований пристрій для його реалізації.

14. Для спроектованого технологічного процесу виготовлення циліндра розроблений маршрутний технологічний процес, креслення заготовки, налагодження і пристрій для хонінгування.

15. Розроблені заходи для охорони праці та безпеки робітників на ділянці, вирішені питання пожежної безпеки приміщення, розраховані умови повітряної вентиляції приміщення, виконані розрахунки освітлення робочого місця.

ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Технологічні основи забезпечення якості деталей машин / О. С. Васильєв, А. М. Дальський, С. А. Клименко та ін. Житомир: ЖДТУ, 2005. 219 с.
2. Сагарда, А. А. Алмазно-абразивне оброблення деталей машин / А. А. Сагарда, І. Х. Чеповецький, Л. Л. Мишнаєвський. Київ: Техніка, 1974. 180 с.
3. Чеповецький, І. Х. Алмазне хонінгування термооброблених сталей / І. Х. Чеповецький, І. Д. Кизиків, Ю. Е. Рижов. Київ: Наукова думка, 1988. 136 с.
4. Fritz Klocke, E., Kuchie, A. (2009). Honing. In: Manufacturing Processes 2. RWTNedition. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-92259-9_7
5. Бакуль, В. Н. Алмазне хонінгування / В. Н. Бакуль, А. А. Сагарда, І. Х. Чеповецький. Київ: Техніка, 1966. 38 с.
6. Бахрушин, В. Є. Математичне моделювання / В. Є. Бахрушин. Запоріжжя: ГУ «ЗІДМУ», 2004. 140 с.
7. ГОСТ 24642-81. Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розміщення поверхонь. Основні терміни та визначення.
8. ГОСТ 28187-89. Основні норми взаємозамінності. Відхилення форми та розміщення.
9. ГОСТ 28836-90. Датчики силовимірювальні тензорезисторні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань.
10. Gupta K., Gupta M.K. (eds.) Optimization of Manufacturing Processes. Springer, 2020. 237 p.
11. Sender, P.; Vuj-Corral, I. Influence of Honing Parameters on the Quality of the Machined Parts and Innovations in Honing Processes. Metals 2023, 13, 140. <https://doi.org/10.3390/met13010140>

12. **Клименко, В. М.** Основи методи обробки різанням. Частина 3. Основи механічної обробки матеріалів : Навчальний посібник / В. М. Клименко, О. П. Шиліна, А. Ю. Осадчук. Вінниця: ВНТУ, 2006. 74 с.
13. **Toenshoff, H. K.** Basics of Cutting and Abrasive Processes. Springer Heidelberg New York Dordrecht London, 2013. XIII, 399 p.
14. **Nee, A.Y.C.** (Ed.) Handbook of Manufacturing Engineering and Technology. Springer London Heidelberg New York Dordrecht, 2015. XLV, 3500 p. 2162.
15. **Linke, B.** Life Cycle and Sustainability of Abrasive Tools. Springer, 2016. XVII, 265 p.
16. **Marinescu, I. D.** Tribology of Abrasive Machining Processes. William Andrew, 2005. 751 p.
17. **Rudawska, A.** (ed.) Abrasive Technology: Characteristics and Applications. ITeXLi, 2019. 198 p.
18. **Jackson Mark J.** High Performance Grinding and Advanced Cutting Tools. Springer Science+Business Media, New York, 2013. VIII, 100 p.
19. ASM Metals HandBook Vol. 16 – Machining. ASM International, 2002, 1089 p.
20. **Stone, B.** Chatter and Machine Tools. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London, 2014. XVI, 260 p.
21. **Ігнаткін, В. У.** Метрологічне забезпечення контролю якості продукції. Запоріжжя : Запорізький національний технічний університет, 2017. 202 с.
22. **Медведєв, В. В.** Оздоблювальне хонінгування / В. В. Медведєв. Київ: Техніка, 1973. 56 с.
23. Оздоблювальні операції в машинобудуванні. Довідник / П. О. Руденко, М. П. Шуба, В. О. Огнivecь та ін.: Під заг. ред. проф. П. О. Руденко. 2-е вид., Київ: Техніка, 1990. 150 с.

24. **Подураєв, В. М.** Алмазне вібраційне хонінгування отворів у сталевих загартованих деталях в зб.: Синтетичні алмази в промисловості / В. М. Подураєв, О. О. Суворов, В. І. Карпов. Київ: Наукова думка, 1974. С. 162–172.

25. **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.

26. **Rowe, W. B.** Principles of Modern Grinding Technology (Second Edition). – William Andrew Publishing, 2014. 437 p.

27. Rao R.V. Advanced Modeling and Optimization of Manufacturing Processes: International Research and Development. Springer, 2010. 392 p.

28. **Залога, В. О.** Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні / В. О. Залога, В. Д. Гончаров, О. О. Залога. Суми: СумДУ, 2013. 371 с.

29. **Кос, М.** Modern Manufacturing Processes. Wiley, 2020. 520 p.