

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«_____» _____ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення штока
1905.28.40.01 кульового крана D500, P80 шляхом розроблення
оптимальної структури хонінгувальної операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Михайло ЗАВОДОВСЬКИЙ

Керівник

Анна НЕШТА

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1	
Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі.....	6
1.1 Аналіз службового призначення виробу, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації.....	6
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення.....	10
1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації.....	13
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	15
1.5 Аналіз базового технологічного процесу.....	18
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	24
Розділ 2	
Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі...	26
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.....	29
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки.....	27
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання.....	29
2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу для лінійних розмірів.....	31
2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки.....	36
2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів.....	42
2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	43
2.8 Визначення режимів різання.....	44
2.9 Технічне нормування операцій.....	48
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою.....	50
2.11 Висновок.....	58
Розділ 3	
Структурно-параметрична оптимізація операції зовнішнього хонінгування хромованої поверхні.....	60
3.1 Схема процесу зовнішнього хонінгування.....	60

3.2	Механізм явищ, які виникають у зоні контакту хонінгувальних брусків та оброблювальною поверхнею деталі.....	62
3.3	Вплив робочих циклів радіальної подачі брусків на точність та продуктивність.....	65
3.4	Вибір оптимальних режимів обробки деталей зовнішнім хонінгуванням.....	67
3.5	Розроблення схеми обробки абразивними брусками для виправлення похибок геометричної форми циліндричної поверхні.....	71
3.6	Інструментальна головка для зовнішнього хонінгування.....	78
3.7	Рекомендації для вибору режиму обробки поверхонь штоків зовнішнім хонінгуванням.....	82
3.8	Висновок.....	83
	Висновки.....	84
	Перелік джерел посилань.....	86
	Додаток А Механізм обертання кульового крана D500, P80.....	90
	Додаток Б Креслення деталі 1905.28.40.01 «Шток».....	91
	Додаток В Креслення заготовки 1905.28.40.01 «Шток. Прокат».....	92
	Додаток Г Розрахунок припусків на ЕОМ.....	93
	Додаток Д Специфікація ТМ20510160–08.00.00 «Пристрій для контролю допуску перпендикулярності та радіального биття».....	94
	Додаток Е Креслення ТМ20510160–08.00.00 СК «Пристрій для контролю допуску перпендикулярності та радіального биття».....	96
	Додаток Ж Специфікація ТМ20510160–07–01.00.00 «Головка для хонінгування».....	97
	Додаток К Креслення ТМ20510160–07–01.00.00 СК «Головка для хонінгування».....	99
	Додаток Л Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	100

ВСТУП

Актуальність теми. На підприємствах, де виготовляються штока кульових кранів, оздоблювальною операцією для обробки їх поверхонь під хромування застосовують кругле зовнішнє шліфування. Аналізом встановлено, що більш 60% штоків оброблених шліфуванням мають похибку форми у поперечному і поздовжньому перетинах, дефекти поверхні у вигляді окремих рисок, окалини, надирів. Основним недоліком операції круглого шліфування є висока температура у зоні різання, яка призводить до локального пригорання поверхні і змінювання структури у поверхневому шарі [1, 2, 6]. Наведена поверхня не є зносостійкою і не забезпечує потрібної якості хромованого шару, що негативно впливає на роботу виробу і знижує його надійність та тривалість. виправити зазначені недоліки можна методом зовнішнього хонінгування. Це потребує розроблення схеми процесу хонінгування абразивними (алмазними) брусками, яка підвищить точність форми поверхні штока.

Актуальність поставленого завдання підвищується із збільшенням технічних вимог до виробів які транспортують природний газ та матеріалів, що застосовуються у машинобудуванні.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є шток кульового крану D500, P80 із пневмо-гідравлічним приводом, який змінює поступальний рух поршня циліндра на обертальний рух важеля.

Предмет дослідження. Досліджується метод зовнішнього хонінгування великої довжини циліндричної поверхні штока обробленої під хромування.

Мета дослідження. Підвищення якості поверхні штоку обробленої під хромування за рахунок удосконалення схеми зовнішнього хонінгування абразивними (алмазними) брусками.

Завдання дослідження. Виконати дослідження нової кінематичної схеми зовнішнього хонінгування абразивними (алмазними) брусками поверхні штоку під наступну операцію хромування.

Запропонувати верстатне обладнання, конструкцію хонінгувальної головки для обробки поверхні під хромування.

Розробити рекомендації для вибору режимів різання запропонованої схеми обробки, яка забезпечить потрібні показники продуктивності, точності форми і шорсткості обробленої поверхні під хромування.

Методи дослідження. Теоретичні завдання дослідження вирішувалися математичними рівняннями, якими зроблений опис виправлення похибок геометричної форми виробу абразивними (алмазними) брусками. Практичні рекомендації для вибору режимів різання виконувалися за результатами наукових робіт в яких досліджувалися методи зовнішнього і внутрішнього хонінгування або їх модифікації.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблена схема зовнішнього хонінгування із жорстким кінематичним зв'язком між брусками і додатковим тиском брусків до поверхні вихідною силою гальмувальних ланок. Виконаний теоретичний аналіз розробленої схеми і виявлені фактори, що впливають на підвищення продуктивності і точності циліндричної форми поверхні.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована конструкція хонінгувальної головки для обробки поверхонь штоків під хромування. Вибрані режими різання для обробки поверхонь за схемою зовнішнього хонінгування.

Особистий вклад магістранта. Результати виконаних досліджень отримані студентом самостійно.

Апробація результатів магістерської роботи. Немає.

Публікації. Немає.

Структура і об'єм роботи. Магістерська робота складається із вступу, трьох розділів, висновку, переліку використаних посилань із 45 найменувань, 89 сторінок машинописного тексту, 31 рисунків, 24 таблиць, 9 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Кран кульовий моделі D500, P80 виконаний із пневмо-гідравлічним приводом і встановлюється на газових магістралях для транспортування природного газу. Кран за ГОСТ 15150-69 виготовляється для районів із помірним кліматом за схемою У1, а для районів із холодним кліматом за схемою ХЛ1. Кульовий кран встановлюється на горизонтальних ділянках газової магістралі і має допустиме відхилення від горизонтальної площини не більш 5° . За умовами монтажу кульовий кран має патрубки під зварювання, що дозволяє їх приєднувати до труб із зовнішнім діаметром 500 мм, товщиною стінки 12 мм без перехідних кілець. Кульовий кран складається із крана кульового D500, P80; пневмо-гідравлічного привода; крана кульового D15, P80; клапана. Кран відчиняється і зачиняється обертанням пробки на кут 90° .

Технічна характеристика крана кульового наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика крана кульового D500, P80

Найменування показників	Чисельні дані
Умовний прохід D, мм	500
Умовний тиск P, МПа	8,0
Робоче середовище	Неагресивний природний газ згідно ОСТ 5140–83
Температура робочого середовища, °С: 1) виконання ХЛ1 2) виконання У1	від – 60 до + 80 від – 45 до + 80
Швидкість робочого середовища, м/с	20
Температура зовнішнього середовища, °С: 1) виконання У1 2) виконання ХЛ1	від – 45 до + 45 від – 60 до + 45
Максимальний крутний момент (не менший), що досягається приводом, Нм	30000
Марка робочої рідини	АМГ – 10 ГОСТ 6794–75
Об'єм робочої рідини, м ³ (л)	0,014 (14)

Шток є складовою частиною пневматичного циліндра, а останній – складальною одиницею «механізму обертання» (див. додаток А).

Механізм обертання призначений для перетворення енергії тиску газу (мастила) у обертальний рух важеля 23 і передавання крутного моменту на пробку крана.

Механізм обертання складається із корпусу 24, важеля 23, кришки 21, осі 5, повзунів 22 та 25, гідравлічного циліндра 2 і пневматичного циліндра 11. Пневматичний циліндр має зварювальний корпус у якому рухається поршень 12 із штоком 13, кришки 20, двох пробок 10, які передбачають подавання газу у штокову і без штокову порожнини пневматичного циліндру, ущільнювальних кілець. Гідравлічний циліндр має аналогічну конструкцію.

Штоки 13 і 14 з'єднуються із віссю 5 за допомогою цапф 3 і 8. Останні угвинчені в порожні кінці штоків і мають кульку 7, вставку 6, що вільно обертається у вертикальній площині відносно цапфи 3, двох втулок і гайки 4. Штоки із поршнями з'єднані віссю 5 і є жорсткою конструкцією, яка дозволяє компенсувати перехрещення і не співвісність за час роботи.

Механізм обертання працює наступним чином. В пневматичний циліндр 11 поступає газ під тиском і рухає поршень 12. Поступальні рухи поршня, штока 13, осі 5, повзунів 22 і 25 перетворюються у обертальний рух важеля 23. Шток 14 разом із поршнем 15 гідравлічного циліндра 2 здійснює поступальний рух, а рідина, що знаходиться у циліндрі 2, виконує функцію демпфера.

Робоча рідина, що поступає у гідравлічний циліндр під тиском, здійснює аналогічну роботу, яку виконують деталі гідравлічного циліндра. Шток 13 разом із поршнем 12 пневматичного циліндра 11 мають холостий рух.

Механізм обертання передбачений для районів із помірним кліматом, температурою зовнішнього середовища від -45°C до $+45^{\circ}\text{C}$ і температурах робочого середовища від -45°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Робочим середовищем пневматичного циліндра є не агресивний природний газ згідно ОСТ 5140–83, який поступає під тиском 8 МПа (80 кг/мм^2) із швидкістю 20 м/с.

Шток призначений змінювати поступальний рух поршня пневматичного циліндра у обертальний рух важеля і має швидкість приблизно 1 м/с. Зворотно-поступальний рух штока працює з динамічним і вібраційним навантаженнями, що підвищує знос його робочої поверхні. Шток основними конструкторськими базами (ОКБ) 1, 2, 3 встановлюється у пневматичному циліндрі (див. рис. 1.1).

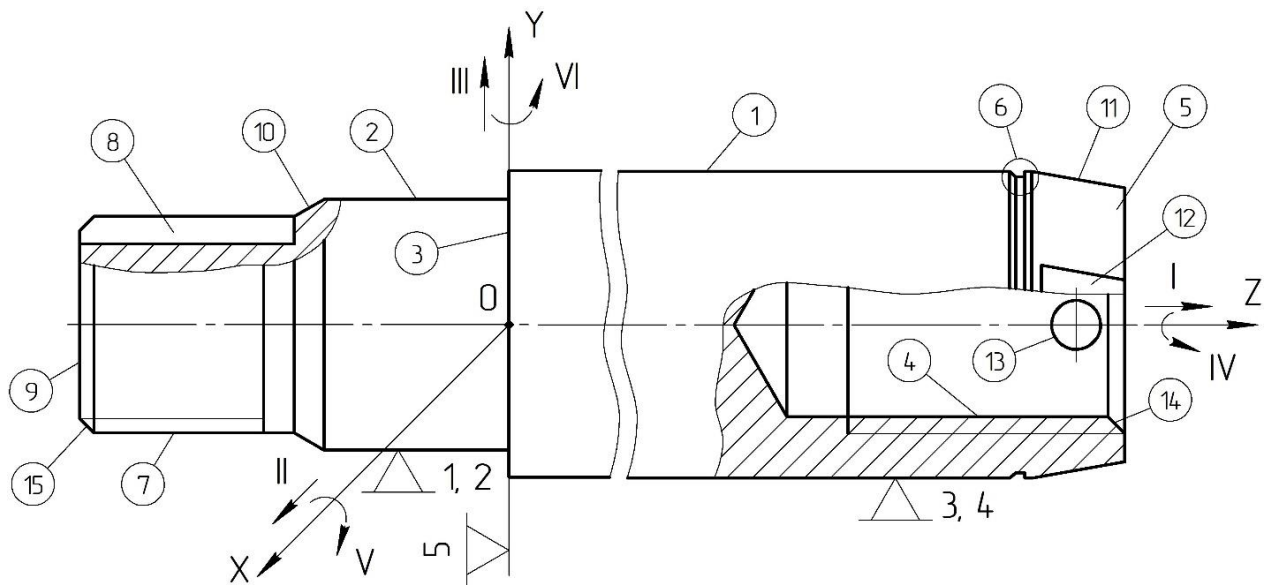


Рисунок 1.1 – Базування штока у складальній одиниці

Поверхні 1 і 2 визначають місце розташування штока в пневматичному циліндрі. Кожна із поверхонь 1 ($\varnothing 50f9$) і 2 ($\varnothing 42h9$) окремо позбавляють шток двох ступенів свободи. Сумісно поверхні 1 і 2 позбавляють деталь чотирьох ступенів свободи і є подвійною напрямною базою (ПНБ). Поверхня 3 визначає місце розташування деталі уздовж осі OZ, є опорною базою (ОБ) і позбавляє її одного ступеня свободи.

Таким чином, комплект ОКБ штока складається із трьох поверхонь 1, 2, 3, які визначають його розташування в складальній одиниці і разом позбавляють п'яти ступенів свободи. Шоста ступінь свободи (обертання навколо осі OZ) є вакантною. Класифікація визначених баз наведена в таблицях 1.2 і 1.3.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступінь свободи	База, характер прояву
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ, явна
5	I	ОБ, явна
6	Вакансія	–

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

1, α / X, Y, Z	X	Y	Z	База
1	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	-
α	0	0	0	
Σ	2	2	1	5-ь зв'язків

Допоміжними базами штока є поверхні 4 і 5, якими він приєднаний до цапфи 8, а також поверхні 12 та 13. Дві поверхні 13 фіксують кутове розташування цапфи 8, а отвір 12 передбачений для встановлення у нього штифта. Кілька поверхонь 6 (фаски і канавка) передбачені для встановлення ущільнювальних кілець, а різьбова поверхня 7 для закріплення поршня 12 із штоком. Комплект поверхонь 8 (шпонковий паз) передбачені для встановлення шпонки, яка усуває самостійне відгвинчування поршня. Виконавчими поверхнями (ВП) штока є поверхні 4 і 5, а вільними – поверхні 9, 10, 11, 14, 15.

Аналізом встановлено, що поверхня 1 працює в дуже складних умовах. Визначена поверхня постійно рухається в одному, а потім зворотному напрямках. Вона безперервно працює в умовах підвищеного тертя і тиску транспортуемого газу, який утримає вологість і абразивні частки. Для службової діяльності пневматичного циліндра, поверхня 1 повинна мати високу зносостійкість і довговічність. З цією метою конструктор заклав у технологічний процес виготовлення штока операцію покриття поверхні 1 хромом. Хромована поверхня є значно твердою і підвищує її зносостійкість. Таким чином, для виготовлення штока потрібно передбачити комплекс технологічних рішень, які забезпечують потрібні умови роботи штока у виробі.

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

Шток виготовлений із конструкційної, легованої сталі марки 40ХН ГОСТ 4543–71 (див. додаток Б). Марка сталі передбачає вібраційні та динамічні навантаження до яких ставлять вимоги за міцністю і в'язкістю. Хімічний склад сталі 40ХН наведений у таблиці 1.4, а механічні властивості у таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сталі 40ХН (у відсотках)

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Cu
					Не більше		
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,45-0,75	1-1,4	0,035	0,035	0,3

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі 40ХН ГОСТ 4543–71

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	Ψ , %	НВ, МПа
Не менше				Відпалена сталь
784	981	11	45	Не більше 229

Технологічні властивості сталі 40ХН: трудно зварювальна, обробка різанням у гарячекатаному стані при НВ 166–170 і $\sigma_B = 690$ МПа складає: $K_{VTB.CP.}=1$; $K_{VB.CT.}=0,9$; підвищена флокеночутливість; схильність до відпалювальної ламаності. Виходячи із фізико-механічних і технологічних характеристик сталі 40ХН можна затверджувати, що шток потрібно виготовляти із цієї сталі. Застосування сталей інших марок може збільшити вартість матеріалу і погіршити експлуатаційні і механічні властивості деталі.

Виконаємо аналіз технічних вимог креслення штока.

1) Гр. IV – КП590⁰С–КСУ⁻⁶⁰ ≥ 30 ГОСТ 8479–70. Це вимога механічних властивостей та видів іспитів матеріалу деталі. Поковка IV групи, категорія міцності КП590, має спеціальні підвищені норми пластичності і ударної в'язкості. Ударна в'язкість становить не менше $30 \cdot 10^4$ Дж/м² при температурі 60 °С. За додатком до ГОСТ 8479–70 сталь 40ХН має категорію пружності КП590, для якої встановлені механічні характеристики після кінцевої термічної

обробки: $\sigma_{0,2} = 590$ МПа, $\sigma_B = 735$ МПа, $\delta_5 = 14\%$, $\Psi = 45\%$, $KCU = 59 \cdot 10^4$ Дж/м², НВ 235-277.

2) Розміри і шорсткість поверхні Е після покриття. Вимога передбачає точність обробки після нанесення зміцнювального покриття. Виключити механічну обробку після покриття неможливо. За технологією гальванічних покриттів змінюються номінальні розміри поверхні і погіршується її шорсткість.

3) Покриття поверхні Е – Хтв. 21. Вимога передбачає вид покриття робочої поверхні штоку, його товщину і характеристики. Призначення покриття – підвищення зносостійкості поверхонь деталей, які працюють в умовах тертя і динамічних навантажень. Призначена конструктором група покриття віднесена до дуже жорстких (ДЖ) і згідно ГОСТ 9.073–77 має позначення Хтв. 21. Товщина покриття 21 – 30 мкм. Після покриття хромом треба виконати полірування поверхні згідно рекомендацій ГОСТ 9.073–77.

4) Шток має точні розміри: $\varnothing 50f9$ и $\varnothing 42h9$. Поле допуску діаметра $50f9$ мм призначено конструктором для посадки $H9/f9$. Зазначена посадка застосовується для поступального руху поршневих штоків за зниженими вимогами до точності центрування. ГОСТ 25347–82 рекомендує посадку $H7/f7$, яка забезпечує високу точність центрування. Підвищення точності центрування збільшує якість складання і зменшує величину не співвісності з'єднань у пневматичних і гідравлічних виробках. Технологічний процес обробки поверхні $\varnothing 50f9$ передбачає операції шліфування і полірування, що забезпечує зазначену точність розміру. Запропоновану точність розміру $\varnothing 50f7$ треба з'ясувати із конструктором креслення.

Точність розміру $\varnothing 42h9$ передбачена для посадки $H9/h9$ у з'єднанні штока і поршня. Посадка забезпечує легкість складання і застосовується у механізмах із невеликими навантаженнями. У нерухомо закріплених деталях посадка $\varnothing 42H9/h9$ є найкращою і застосування іншої посадки недоречно.

5) Зовнішня різьба М36x2-8g передбачена для закріплення поршня на штоку. Клас точності різьби «грубий» і закріплення поршня не передбачає високих

вимог. Внутрішня різьба М36х2-7Н потрібна для з'єднання штока із цапфою. Клас точності різьби «середній» і закріплення передбачає підвищені вимоги.

б) Точність форми поверхонь на кресленні не зазначена. Це передбачає, що точність форми знаходиться в межах поля допуску на розмір [2]. Шток є тілом обертання і точність форми (циліндричність і круглість) становить 30% допуску на розмір. Для $\varnothing 50f9$ наведені величини становлять 0,02 мм і відповідають 8-му ступеню точності допуску круглості і циліндричності згідно ГОСТ 23643–81. Для штока наведена точність є недостатньою, тому що він має велику довжину і рух (592 мм і 400 мм відповідно). Значне відхилення форми від циліндричної може визвати нерівномірний знос робочої поверхні і заклинювання штока за період експлуатації. Таким чином, допуск циліндричності повинен знаходитися в межах 0,01 мм на довжині 400 мм.

На кресленні допуск перпендикулярності торця $\varnothing 50f9/\varnothing 42h9$ відносно поверхні $\varnothing 50f9$ заданий 0,02 мм, що відповідає 7-му ступеню точності згідно ГОСТ 24643–81 [5]. Названа вимога забезпечує мінімальне перекошування поршня при складанні, що підвищує строк служби виробу.

Заданий допуск радіального биття $\varnothing 42h9$ відносно $\varnothing 50f9$ дорівнює 0,02 мм і відповідає 6-му ступеню точності згідно ГОСТ 24643–81. Шток за умовами роботи має основний поступальний рух і не значне додаткове обертання. Виходячи із роботи штока можна вимогу радіального биття зменшити.

7) Шорсткість поверхонь штока відповідає мінімальній шорсткості залежно допуску на розмір [1]. Шорсткість поверхні $\varnothing 50f9$ становить $R_a = 0,4$ мкм, що визвано інтенсивною експлуатацією вузла за період роботи виробу. Зазначений параметр шорсткості зменшує сили тертя, знос робочої поверхні і нагрівання за період роботи штока і відповідає вимогам експлуатації деталі.

8) Креслення виконано згідно вимог 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 [4].

1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Тип виробництва визначається за таблицями джерела [2] і залежить від річної програми виготовлення виробів та їх трудомісткості. Визначимо місячний N_m випуск виробів:

$$N_m = \frac{N}{12} = \frac{2000}{12} = 167 \text{ шт,}$$

де 12 – кількість місяців у році.

Трудомісткість виготовлення деталей та їх складання у виріб кульового крана за даними підприємства становить 230 – 235 годин. Трудомісткість штока $T_{шт}$ становить 13,7% від трудомісткості кульового крана

$$T_{шт} = 0,137 \cdot 235 \cong 32,2 \text{ год.}$$

За довідковими даними літературного джерела [2, рис. 15.9, с. 461] тип виробництва – дрібносерійний.

Кількість деталей в партії N_p для одночасного їх запуску у виготовлення визначається за формулою [5, с. 23]:

$$N_p = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{2000 \cdot 12}{254} = 95 \text{ шт,}$$

де $a = 12$ днів – періодичність запуску деталей в днях;

254 днів – кількість робочих днів у році.

Основна характеристика групової форми організації виробництва згідно ГОСТ 14.004–83 [2].

У машинобудуванні дрібносерійне виробництво характеризується закріпленням за кожним робочим місцем від 20 до 40 операцій. Робочі місця на підприємствах дрібносерійного виробництва певною мірою спеціалізовані. При цьому відбувається переважно предметна їх спеціалізація – закріплення за кожним із них декількох операцій для виготовлення деталей, обробка яких ведеться партіями.

Використовується універсальне і спеціалізоване, а також частково спеціальне обладнання. Широко застосовуються верстати з ЧПК, оброблювальні центри, а також гнучкі автоматизовані системи на основі верстатів з ЧПК, з'єднаних транспортуючими пристроями, керованими від ЕОМ. Устаткування розташовані за технологічними групами із урахуванням напрямку основних вантажних потоків цеху, а також за предметно-зачиненим ділянкам.

Технологічне оснащення у цілому є універсальним. Поширене універсально-збірне, багато разів налагоджувальне технологічне оснащення, що дозволяє значно підвищити коефіцієнт оснащеності дрібносерійного виробництва.

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 та спрощеного нормування для простих заготовок.

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

У відповідності із визначеним типом виробництва та послідовністю виконання операцій, розташуванням технологічного обладнання, встановлюється групова форма організації технологічного процесу, що характеризується однорідними конструкторсько-технологічними ознаками виробів, єдністю засобів технологічного оснащення.

У дрібносерійному виробництві технологічний процес переважно диференційований, тобто розчленований на окремі операції, які закріплені за окремими визначеними верстатами. Верстати, що застосовуються на дільницях цеху, є універсальними, спеціалізованими, спеціальними, автоматизованими.

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

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

1.4.1 Якісна оцінка технологічності конструкції деталі.

Відношення довжини деталі $L = 592$ мм до основного діаметру $\varnothing 50f9$ дорівнює більше 10 і тому конструкція штока відноситься до не жорстких валів. На токарних операціях обробку найбільшої сходитки штока треба виконувати із застосуванням люнети. За цим показником деталь не є технологічною [7].

Зовнішня і внутрішня поверхні різьби М36х2-8g не мають канавок для виходу нарізного інструменту, які регламентовані ГОСТ 10549–80.

Канавка шириною $2,2(+0,25; 0)$ мм і внутрішнім діаметром $\varnothing 47(0; -0,74)$ мм є нетехнологічним елементом деталі (див. рис. 1.2).

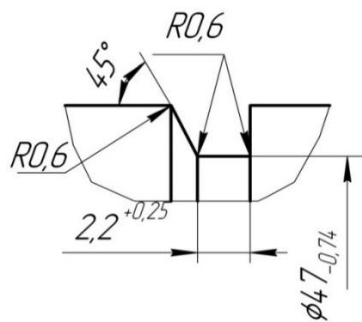


Рисунок 1.2 – Конструкція канавки

Для виготовлення канавки методом копіювання треба застосувати спеціальний інструмент, який заточується за формою канавки, а це підвищить собівартість виготовлення деталі.

Шпонковий паз шириною 8 мм і глибиною 4 мм є відносно нетехнологічним елементом конструкції деталі (див. рис. 1.3).

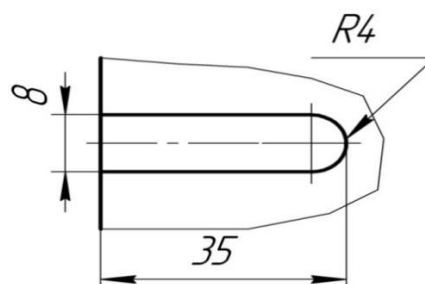


Рисунок 1.3 – Конструкція шпонкового паза

Шпонковий паз із однієї сторони є закритим, а з другої – відкритим. Обробка шпонкового паза виконується кінцевою фрезою і є мало продуктивним методом у порівнянні із фрезеруванням дисковою фрезою або протягуванням [9].

Інші елементи конструкції штока не визивають будь-якої трудомісткості при їх виготовленні і за якісними показниками деталь можна вважати технологічною.

1.4.2 Кількісна оцінка технологічності конструкції деталі.

Кількісний аналіз технологічності конструкції штока виконується за коефіцієнтами точності K_T , шорсткості $K_{ш}$, використання метала K_M , уніфікації поверхонь K_y [8].

Коефіцієнт точності K_T визначається за формулою

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

де T_{cp} – середній квалітет точності поверхонь.

Середній квалітет точності визначається за формулою

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i},$$

де T_i – квалітет точності i -й поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету.

Вихідні дані для розрахунку наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Визначення коефіцієнта точності K_T

T_i	9	12	14
n_i	2	2	10
$T_i \cdot n_i$	18	24	140

$$T_{cp} = \frac{182}{14} = 13;$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{13} = 0,92.$$

Коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$ визначається за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{cp}}$$

де $Ш_{cp}$ – середня шорсткість поверхонь.

Середня шорсткість поверхонь визначається за формулою:

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i n_i}{\sum n_i},$$

де $Ш_i$ – шорсткість i -й поверхні;

n_i – кількість поверхонь із однаковою шорсткістю.

Вихідні дані наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Визначення коефіцієнта шорсткості $K_{ш}$

$Ш_i$	n_i	$Ш_i \cdot n_i$	$Ш_i$	n_i	$Ш_i \cdot n_i$	$\sum Ш_i \cdot n_i = 72,6$
0,4	1	0,4	6,3	2	12,6	$\sum n_i = 11$
1,6	2	3,2	12,5	4	50	$Ш_{cp} = 6,6$
3,2	2	6,4	–	–	–	–

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_i} = \frac{1}{6,6} = 0,16.$$

Коефіцієнт використання металу K_M визначається за формулою:

$$K_M = \frac{M_d}{M_3} = \frac{7,7}{13,5} = 0,57,$$

де $M_d = 7,7$ кг – маса деталі;

$M_3 = 13,5$ кг – маса заготовки.

Коефіцієнт уніфікації поверхонь K_y визначається за формулою:

$$K_y = \frac{\sum П_y}{\sum П} = \frac{12}{13} = 0,93,$$

де $\sum П_y = 12$ – сума уніфікованих поверхонь деталі;

$\sum П = 13$ – загальна кількість поверхонь.

Відповідно до ЕСТПП деталь технологічна [7, 8], якщо кількісні показники мають величини $K_T \geq 0,8$; $K_{ш} \leq 0,32$; $K_M \geq 0,7$; $K_y \rightarrow 1$.

Аналізом кількісних оцінок встановлено, що деталь технологічна за коефіцієнтами точності, шорсткості і уніфікації поверхонь, але не технологічна

за коефіцієнтом використання металу. Для підвищення коефіцієнта K_m потрібно змінити метод отримання заготовки деталі.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу

Розглянемо існуючий на підприємстві технологічний процес виготовлення штока за наступними операціями.

Операція 005 «Заготівельна». Заготовкою штока є круговий прокат $\varnothing 55$ В ГОСТ 2590-71. Пруток розрізається на заготовки довжиною 596 мм.

Операція 010 «Горизонтально-розточувальна». Верстат горизонтально-розточувальний моделі 2М615. Заготовка встановлюється в тиски 7200-0252 ГОСТ 21186-75 (із доопрацюванням). Фрезеруються дві торцеві поверхні і свердяться два центрових отвори А4 ГОСТ 14034-74. Оброблені поверхні будуть базами на наступних операціях для обробки штока.

Операція 015 «Токарна з ЧПК». Верстат токарно-гвинторізний з ЧПК моделі 16К20Ф3. Ескізи заготовки наведені на рисунках 1.4 і 1.5.

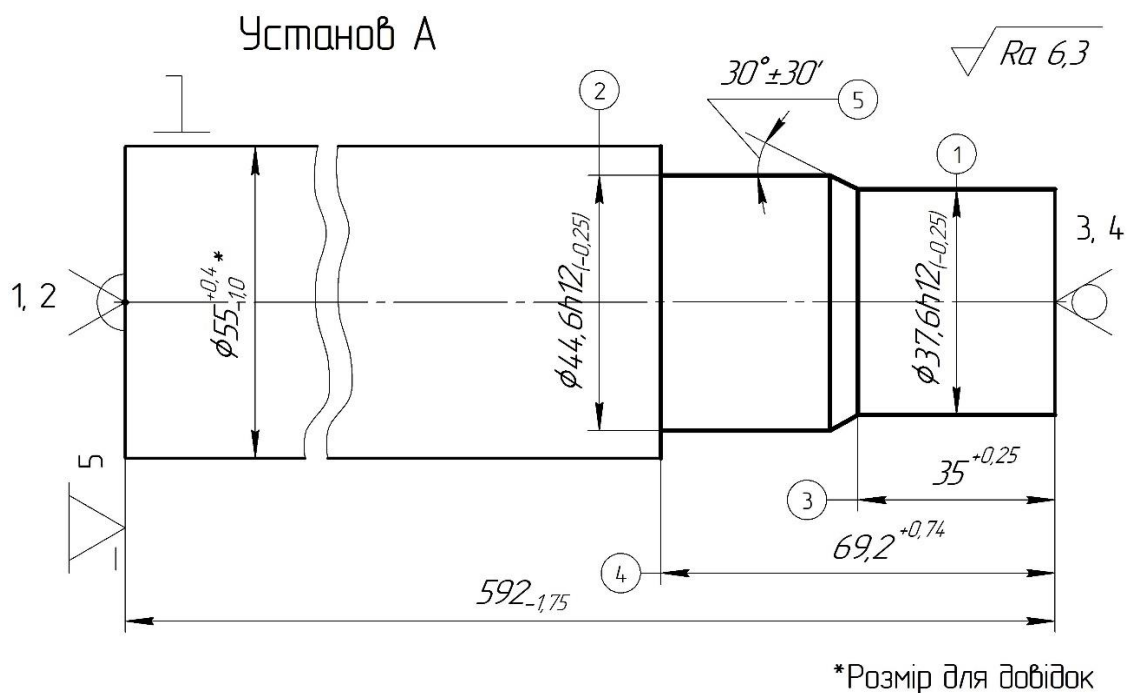


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки на операції 015. Установ А

Заготовка встановлюється на центра А 1-2 НП ЧПК ГОСТ 8742–75. Передача крутного моменту виконується патроном моделі УГО 124000000000. Установ А передбачає обробку поверхонь на яких витримуються розміри 1, 2, 3, 4, 5 (див. рис. 1.4), а на установі Б оброблюються поверхні і витримуються розміри 6, 7, 8, 9 (див. рис. 1.5). Обробка виконується контурним різцем MWLNR 2020K06 T15K6 TY2–035–892–82. Точність розмірів оброблених поверхонь – 12-й квалітет, шорсткість – $R_a = 6,3$ мкм.

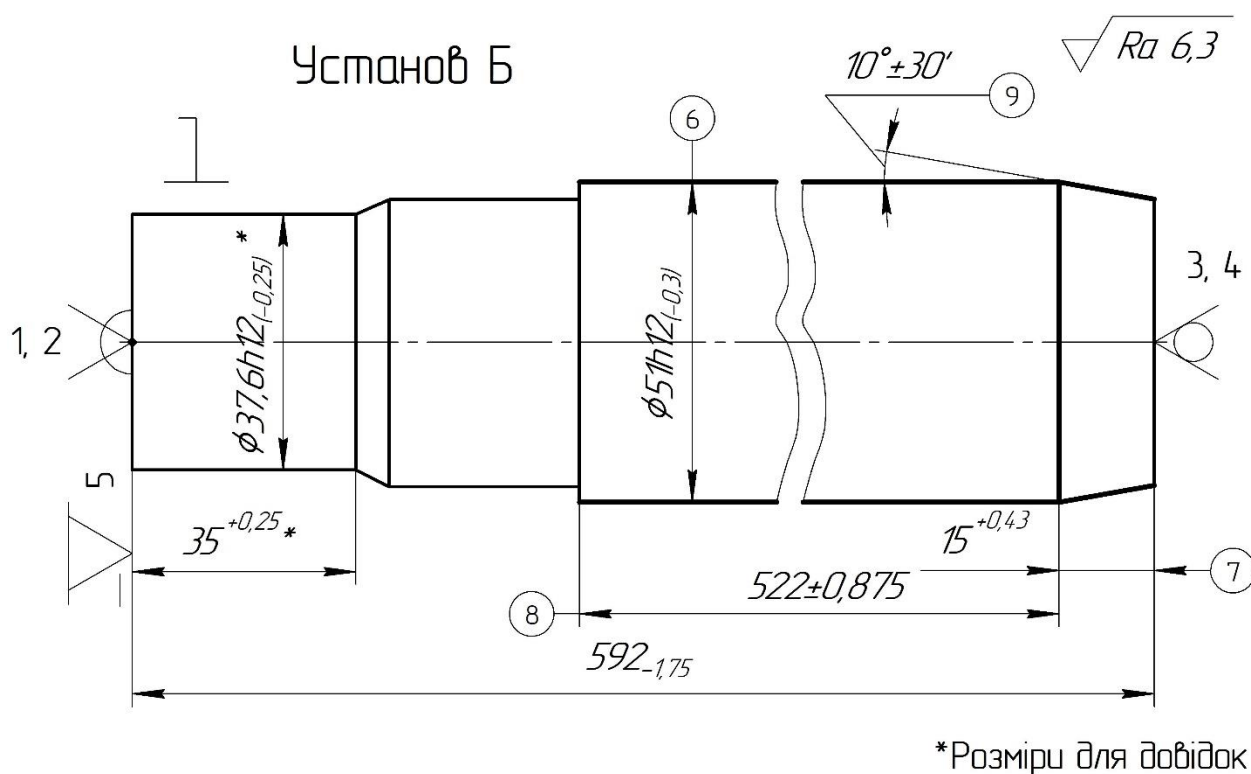


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки на операції 015. Установ Б

Операція 020 «Токарна з ЧПК». Верстат токарно-гвинторізний з ЧПК моделі 16K20Ф3. Ескізи обробленої заготовки наведені на рисунках 1.6 і 1.7.

Заготовка встановлюється на центра А1-2 НП ЧПК ГОСТ 8742–75. Передача крутного моменту виконується патроном моделі УГО 124000000000. На установі А при обробки витримуються розміри 1 – 5 (див. рис. 1.6), остаточно оброблюється канавка В, кінчна поверхня з кутом $10^\circ \pm 30'$, витримуються розміри 15(0; -0,43) мм, 16(0; -0,43) мм, $522 \pm 0,875$ мм.

На установі Б оброблюються поверхні 9 – 14 (див. рис. 1.7). Циліндрична поверхня $\varnothing 42h9(0; -0,062)$ мм і торець $\varnothing 50,4h9/\varnothing 42h9$ оброблюються різцями PCLNR 2020K12, T15K6 і PDINR 2525M15, T30K4 згідно ТУ2–035–892–82. Різьба M36x2-8g довжиною $30\pm 0,26$ мм ріжеться різцем К.01.4942000-00 T15K6 ДНДІнструмент. На установі Б остаточно витримуються вимоги креслення по розташуванню поверхонь Г і торця $\varnothing 50,4h9/\varnothing 42h9$ в межах 0,02 мм.

Операція 025 «Токарна з ЧПК». Верстат токарно-гвинторізний з ЧПК моделі 16K20Ф3. Заготовка установлюється і закріплюється у 3-х кулачковому самоцентрувальному патроні 7100-0031П ГОСТ 2675–80 та люнеті. Остаточно оброблюється різьбовий отвір M36x2–7H з довжиною різьби $45(+0,62; 0)$ мм. Для обробки застосовують свердло 035-2301-1100 P6M5 ОСТ 2И20–2–80; різці 035-2159-0559 T15K6 ОСТ 2И10–9–84 і К.01.4983.000-04 T15K6 ТУ2–035–1040–86.

Операція 030 «Вертикально-фрезерна». Верстат вертикально-фрезерний моделі 6P12. На операції оброблюється шпонковий паз згідно технічних вимог креслення. Заготовка встановлюється у спеціальний пристрій для фрезерування. Різальний інструмент: фреза 2220-0009 P6M5 ГОСТ 17025–71.

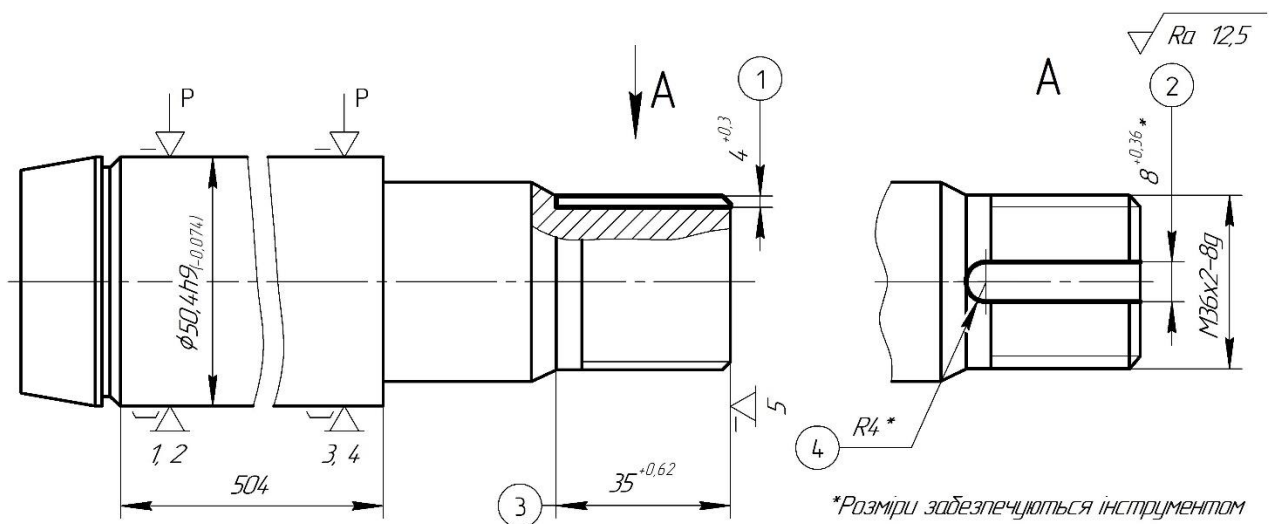


Рисунок 1.8 – Ескіз заготовки на операції 030

Операція 035 «Горизонтально-фрезерна». Верстат горизонтально-фрезерний моделі 6P82Г. Заготовка установлюється в спеціальний пристрій (УСП). На

операції виконується одночасна обробка паралельних поверхонь з'єднаних розміром 41(0; -0,25) мм. Різальний інструмент: дві фрези 2241-0153 Р6М5 ГОСТ 1669–75, які налагоджені на розмір 41(0; -0,25) мм. Для установлення фрез у шпindelь верстата застосовується оправка 6225-0177 ГОСТ 15068–75.

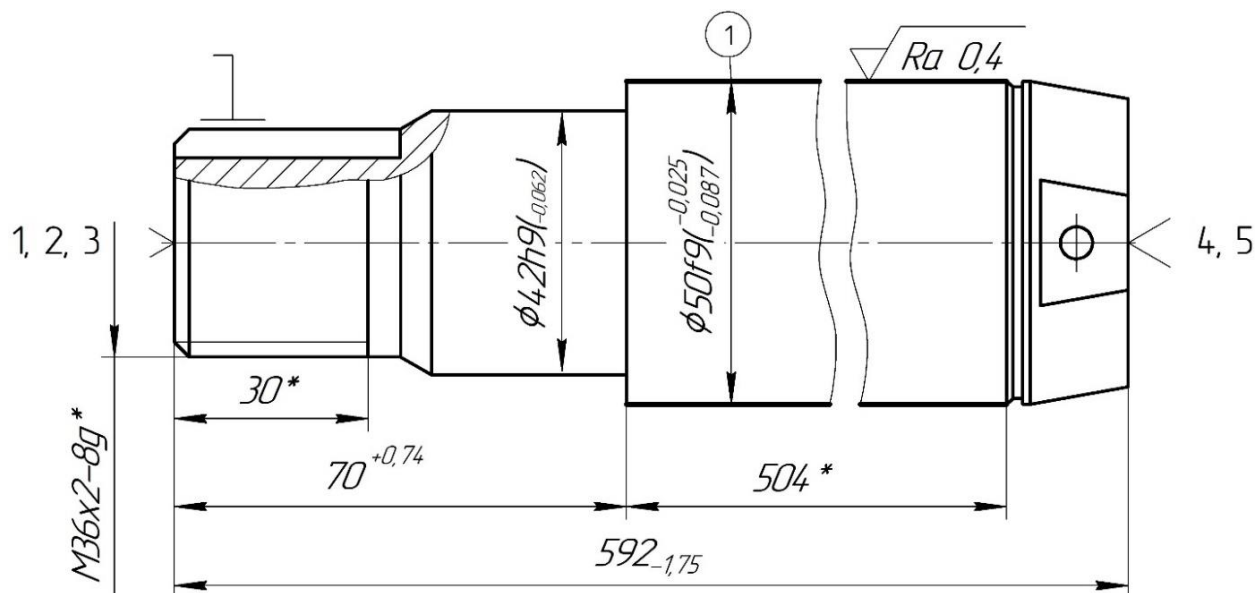
Операція 040 «Вертикально-свердлильна». Верстат вертикально-свердлильний моделі 2Н135. Заготовка установлюється в спеціальний пристрій (УСП). Свердлиться отвір $\varnothing 5(+0,3; 0)$ мм на «прохід», застосовується свердло 2300-6173 Р6М5 ГОСТ 10902–77.

Операція 045 «Круглошліфувальна». Верстат круглошліфувальний моделі 3М151. Заготовка установлюється на два жорстких центри. Передній центр базує заготовку по центровому отвору. Задній центр базує заготовку по центровому отвору А4 розташованому у пробки із різьбою М36х2-6h, яка вгвинчена у різьбовий отвір штока за посадкою М36х2-7Н/6h. Для передачі крутного моменту від шпindelю верстата до заготовки застосовується хомутик 7107-0066 ГОСТ 16488–70. Умовне позначення центрів 7032-0032 Морзе 4 ГОСТ 13214–79. Різальний інструмент: круг шліфувальний ПВД 600х100х305 ГОСТ 2424–88; характеристика шліфувального круга 25А25С26К8, 50 м/с, 2 кл. ГОСТ 2424–88. Мета операції – підготувати поверхню $\varnothing 50f_9$ для нанесення на її верхній шар хрому. Для цього потрібно забезпечити однорідну шорсткість поверхні $R_a = 0,4-0,8$ мкм на довжині 504 мм. Не виконання цієї вимоги призведе до появи неякісного покриття хромом поверхні і не забезпечить її зносостійкість на протязі всього строку служби виробу.

Операція 050 «Отримання покриттів». На операції виконується дифузійне хромування поверхні $\varnothing 50f_9$ довжиною 504 мм, що забезпечує одну із технічних вимог креслення Е – Хтв.21.

Операція 055 «Токарно-гвинторізна». Верстат токарно-гвинторізний моделі 16К20. На операції виконується правлення двох базових поверхонь – центрових отворів А4 ГОСТ 14034–74. Для обробки використовуються: центрувальний люнет; патрон 7100-0031 ГОСТ 2675–80; спеціальні притири.

Операція 065 «Токарно-гвинторізна». Верстат токарно-гвинторізний моделі 16К20. На операції (див. рис. 1.9) виконується полірування поверхні $\varnothing 50f9$. Заготовка встановлюється на два центри 7032-0032 Морзе 4 ГОСТ 13214–79. Крутний момент штоку передає хомутик 7107-0066 ГОСТ 16488–70. Обробка поверхні виконується ручним способом.



*Розміри для довідок

Рисунок 1.9 – Ескіз заготовки на операції 065

Для обробки поверхні 1 використовується спеціальний ручний інструмент («жимки»), у якому встановлена шліфувальна шкурка, основа якої виконана із спеціальної тканини (ГОСТ 13344–69). Зернистість шліфувальної шкурки в межах М40-М14 мкм, клас шкурки А. Після обробки забезпечується шорсткість поверхні $R_a = 0,4 - 0,63$ мкм.

Операція 070 «Промивання». Заготовка промивається у ванні спеціальними розчинами рідини, яка містить поверхнево-активні речовини (ПАР). Промивання дозволяє видалити із всіх поверхонь штоку металевий і абразивний шлам.

Операція 075 «Технічний контроль». Контроль виконується на столі ВТК. Контролюється точність: розмірів $\varnothing 42h9$; $\varnothing 50f9$; внутрішньої і зовнішньої різьби відповідно М36x2-7H та М36x2-8g; радіальне биття поверхні $\varnothing 42h9$ і

перпендикулярність торця $\varnothing 42h9/50f9$ відносно поверхні $\varnothing 50f9$, шорсткість зазначених поверхонь $R_a = 1,6$ мкм і $R_a = 0,4$ мкм. На контрольній операції застосовуються спеціальні контрольні пристрої для контролю радіального биття та перпендикулярності. Шорсткість поверхонь контролюється еталонами шорсткості згідно ГОСТ 9378–75.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Аналіз базового технологічного процесу виявив завдання для проектування послідовності оздоблювальних операцій обробки штока.

1) На операціях 015 і 020 «Токарна з ЧПК» оброблюється поверхня $\varnothing 50f9$ і залишається припуск на наступну обробку абразивним інструментом, хромуванням і оздоблювальну обробку абразивними брусками. Наведена послідовність операцій дозволяє забезпечити технічні вимоги креслення за критеріями точності і шорсткості поверхні.

2) Операцію 045 «Круглошліфувальна» доцільно замінити на операцію «Хонінгувальна». Практичними даними ряду підприємств доведено [3], що після шліфування не загартованої сталі 40ХН на її поверхні залишаються температурні плями у вигляді «прожогів», залишених шліфувальним кругом. Також на циліндричній поверхні залишається не круглість у вигляді огранювання та овальності, має місце слідів окремих глибоких подряпин від виступаючих абразивних зерен шліфувального круга.

Усунути наведені недоліки можна методом зовнішнього хонінгування. Обробка поверхні хонінгуванням дозволить підготувати шар поверхні потрібної якості для наступного хромування [3].

3) Для обробки поверхні $\varnothing 50f9$ хонінгуванням, яка виконується перед операцією хромування, потрібно розробити спеціальну хонінгувальну головку, що дозволить забезпечити потрібні шорсткість, точність розміру і форму поверхні штока.

4) На операції 050 «Отримання покриттів», поверхня $\varnothing 50f9$ покривається хромом. Покриття виконується дифузійним способом, що дозволяє забезпечити потрібний якісний шар хрому і виконати вимогу креслення Е-Хтв.21. Для забезпечення якісного покриття, треба виявити фактори і надати рекомендації, за якими буде виконуватися хонінгувальна операція.

5) Операція 065 «Полірувальна» виконується на токарному верстаті. Метод ручного полірування абразивною шкуркою треба замінити методом суперфінішування абразивними (алмазними) брусками. Пропонується на операціях хонінгування і суперфінішування поверхні штока використовувати спеціалізований верстат для суперфінішування моделі ЗД871Б, а також виконати його модернізацію.

6) Шорсткість поверхні $\varnothing 50f9$ доцільно контролювати на робочому місці цеховим приладом моделі 240 ГОСТ 9504–80 після виконання операції хонінгування.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Пропонується технологічний маршрут обробки штока із усуненням недоліків, виявлених у базовому технологічному процесі виготовлення деталі. В таблиці 2.1 порівнюються технологічний процес виготовлення штока на підприємстві і запропонований технологічний процес.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця технологічних процесів оброблення штока

Номер операції	Існуючий технологічний процес	Модель верстата	Запропонований технологічний процес	Модель верстата
1	2	3	4	5
005	Заготівельна	–	Пиловідрізна	8A631
010	Горизонтально-розточувальна	2M615	Горизонтально-розточувальна	2M615
015	Токарна з ЧПК	16K20Ф3	Токарна з ЧПК	Star Chip 520x1000
020	Токарна з ЧПК	16K20Ф3	Токарна з ЧПК	Star Chip 520x1000
025	Токарна з ЧПК	16K20Ф3	Токарна з ЧПК	Star Chip 520x1000
030	Вертикально-фрезерна	6P12	Вертикально-фрезерна	UWF 10
035	Горизонтально-фрезерна	6P82Г	Горизонтально-фрезерна	UFM 2
040	Вертикально-свердлильна	2H135	Вертикально-свердлильна	KSS 25V
045	Кругло-шліфувальна	3M151	Хонінгувальна	ЗД871Б
050	Отримання покриттів	ВЧИ-1010.44-ПЗ	Отримання покриттів	ВЧИ-1010.44-ПЗ

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
055	Термічна обробка	Піч	Термічна обробка	Піч
060	Токарно-гвинторізна	16К20	Токарно-гвинторізна	16К20
065	Токарно-гвинторізна	16К20	Суперфінішна	ЗД871Б
070	Промивання	Ванна	Промивання	Ванна
075	Технічний контроль	Стіл ВТК	Технічний контроль	Стіл ВТК

Обґрунтування запропонованого технологічного процесу виготовлення штока та окремих його операцій наведено в наступних підрозділах пояснювальної записки.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

У дрібносерійному виробництві застосовується прокат або поковка, яка вироблена вільним куванням на молоті або пресі. Остаточний вибір способу виготовлення приймається після порівнювального техніко-економічного обґрунтування пропонувананих способів виготовлення заготовки [4].

Зробимо розрахунок технологічної собівартості заготовки, яка виготовлена вільним куванням на молоті або із круглого прокату нормальної точності діаметром $\varnothing 55$ мм. Вихідні дані наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для визначення технологічної вартості заготовок

Найменування показника	Варіант 1	Варіант 2
Вид заготовки	Поковка, кована на молоті ГОСТ 7829–70	Прокат нормальної точності ГОСТ 2590–71
Клас точності	15	14
Маса заготовки, кг	12	10,8
Вартість однієї тони заготовок, грн	15730	8000
Вартість однієї тони відходів, грн	1200	1200

Собівартість заготовки, яка виготовлена ковкою на молоті (варіант 1), визначається за формулою [4, с. 14]:

$$S_{\text{заг}} = \frac{C_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000},$$

де C_6 – базова вартість однієї тони заготовок, грн;

$K_T = 0,9$ – коефіцієнт, який враховує клас точності заготовки;

$K_C = 0,77$ – коефіцієнт, який враховує складність заготовки;

$K_B = 1,18$ – коефіцієнт, який враховує масу заготовки;

$K_M = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує марку матеріалу заготовки;

$K_{\Pi} = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує об'єм виробництва заготовок;

Q – маса заготовки, кг;

$q = 7,7$ кг – маса деталі;

$S_{\text{від}}$ – вартість однієї тони відходів, грн.

$$S_{\text{заг1}} = \frac{15730}{1000} (12 \cdot 0,9 \cdot 0,77 \cdot 1,18 \cdot 0,8 \cdot 1) - (12 - 7,7) \frac{1200}{1000} = 118 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовки, яка виготовлена із круглого прокату нормальної точності (варіант 2), визначається за формулою [4, с. 14]:

$$S_{\text{заг2}} = C_M + \Sigma C_{\text{зо}} = 82,3 + 0,37 = 82,7 \text{ грн.}$$

де C_M – вартість матеріалу заготовки, грн.;

$C_{\text{зо}}$ – вартість заготівельних операцій, грн.

$$C_M = \frac{Q \cdot S_6}{1000} - (Q - q) \frac{S_{\text{від}}}{1000} = \frac{10,8 \cdot 8000}{1000} - (10,8 - 7,7) \frac{1200}{1000} = 82,3 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{зо}} = \frac{C_{\text{пз}} \cdot T_{\text{шк}}}{60} = \frac{11,5 \cdot 1,9}{60} = 0,37 \text{ грн.}$$

де $C_{\text{пз}} = 11,5$ грн/ч – витрати на заготівельні операції [4, т. 6, с. 15];

$T_{\text{шк}}$ – трудомісткість розрізання прокату на заготовки, хв.

$$T_{\text{шк}} = T_y \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\pi \cdot 55^2}{4} = 114 \text{ с} = 1,9 \text{ хв.}$$

де $T_y = 5 \cdot 10^{-2} \text{ с/мм}^2$ – питома трудомісткість розрізання [4, т. 6, с. 15].

Собівартість заготовки, яка виготовлена із круглого прокату, є меншою ніж собівартість заготовки виробленою поковкою на молоті. Це пояснюється меншою вагою і формами заготовки, яка більш наближена до форми деталі. Остаточні розміри заготовки виготовленою із круглого прокату визначаються після розрахунку припусків на її діаметр та довжину.

Креслення заготовки та технічні вимоги на її виготовлення наведені в додатку В пояснювальної записки.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Припуск на діаметр $\varnothing 50f9(-0,25; -0,087)$ мм виконується розрахунково-аналітичним методом [2, 4]. Розмір поверхні $\varnothing 50f9$ формується на наступних операціях: токарна чорнова ($h12$), токарна чистова ($h9$), хонінгувальна ($f9$), суперфінішна ($f9$).

Визначимо вихідні елементи припуску: величину шорсткості поверхні R_{zi-1} , величину дефектного шару поверхні H_{i-1} , величину просторових відхилень поверхонь деталі ρ_{i-1} [2, 4, 9, 10].

Величина похибки установлення штока на токарних, хонінгувальній та суперфінішній операціях відсутня ($\varepsilon_{yi} = 0$).

Величини шорсткості та дефектного шару поверхні.

Прокат гарячекатаний, клас точності В ГОСТ 2590–88:

$$R_{zi-1} = 150 \text{ мкм}; H_{i-1} = 250 \text{ мкм.}$$

Токарна чорнова: $R_{zi-1} = 50 \text{ мкм}$, $H_{i-1} = 50 \text{ мкм}$.

Токарна чистова: $R_{zi-1} = 30 \text{ мкм}$, $H_{i-1} = 30 \text{ мкм}$.

Хонінгувальна: $R_{zi-1} = 10 \text{ мкм}$, $H_{i-1} = 20 \text{ мкм}$.

Суперфінішна: $R_{zi-1} = 5 \text{ мкм}$.

Просторові відхилення визначаються за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_K^2 + \rho_{Ц}^2} = \sqrt{388^2 + 744^2} = 839 \text{ мкм},$$

де $\rho_K = \Delta_K \cdot \frac{L}{2} = 1,3 \cdot \frac{597}{2} \approx 388 \text{ мкм}$ – величина жолоблення;

$\Delta_K = 1,3 \text{ мкм/мм}$ – питома кривизна заготовки [6, т. 4.8, с. 81];

$$\rho_{Ц} = \sqrt{\left(\frac{T_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{1,4}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 744 \text{ мкм} \text{ – величина допуску для}$$

поверхні, що є базою на горизонтально-розточувальній операції [6, с. 89].

$$\rho_{\text{ток.чорн.}} = 0,06 \cdot \rho_3 = 0,06 \cdot 839 = 51 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{ток.чист.}} = 0,05 \cdot \rho_3 = 0,05 \cdot 839 = 42 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{хон.}} = 0,02 \cdot \rho_3 = 0,02 \cdot 839 = 17 \text{ мкм}.$$

Вихідні дані вносимо в програму для розрахунку припусків і допусків на ЕОМ (див. додаток Г). Результати розрахунку наведені на рисунку 2.1.

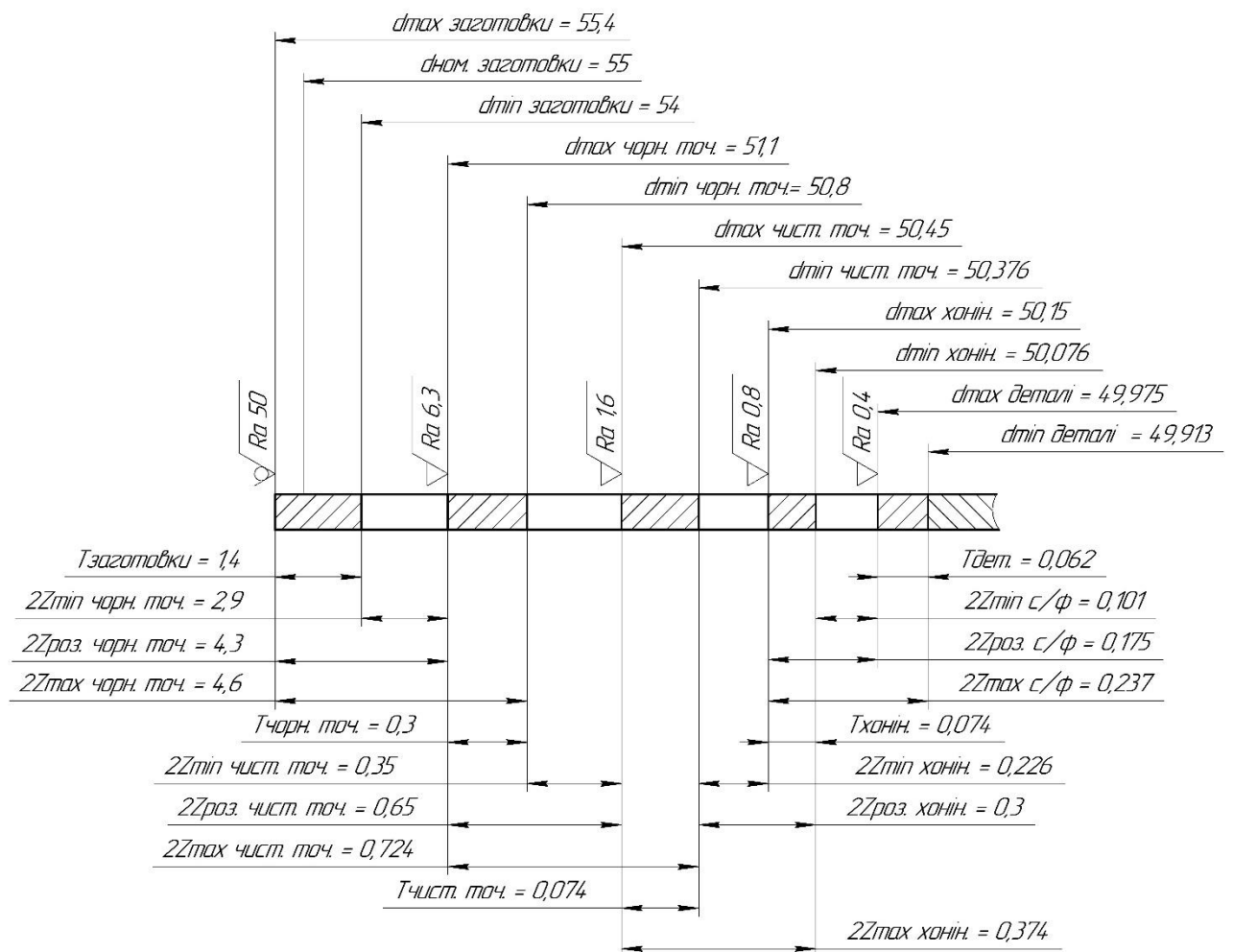


Рисунок 2.1 – Схема полів припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 50/f_9$

2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу для лінійних розмірів

Вихідні дані: маршрутно-операційний технологічний процес обробки штока;
ескіз креслення заготовки на операції 005, операційні ескізи (див. рис. 2.2 – 2.5).

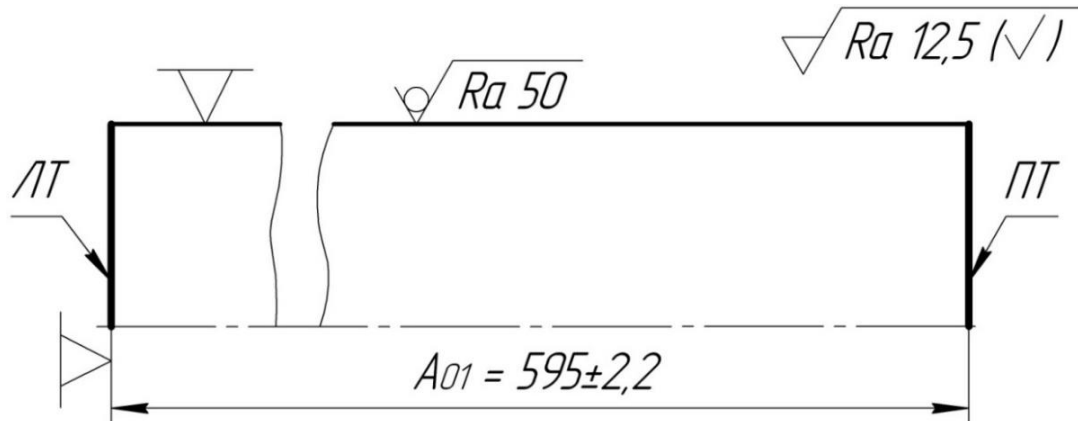


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки на операції 005

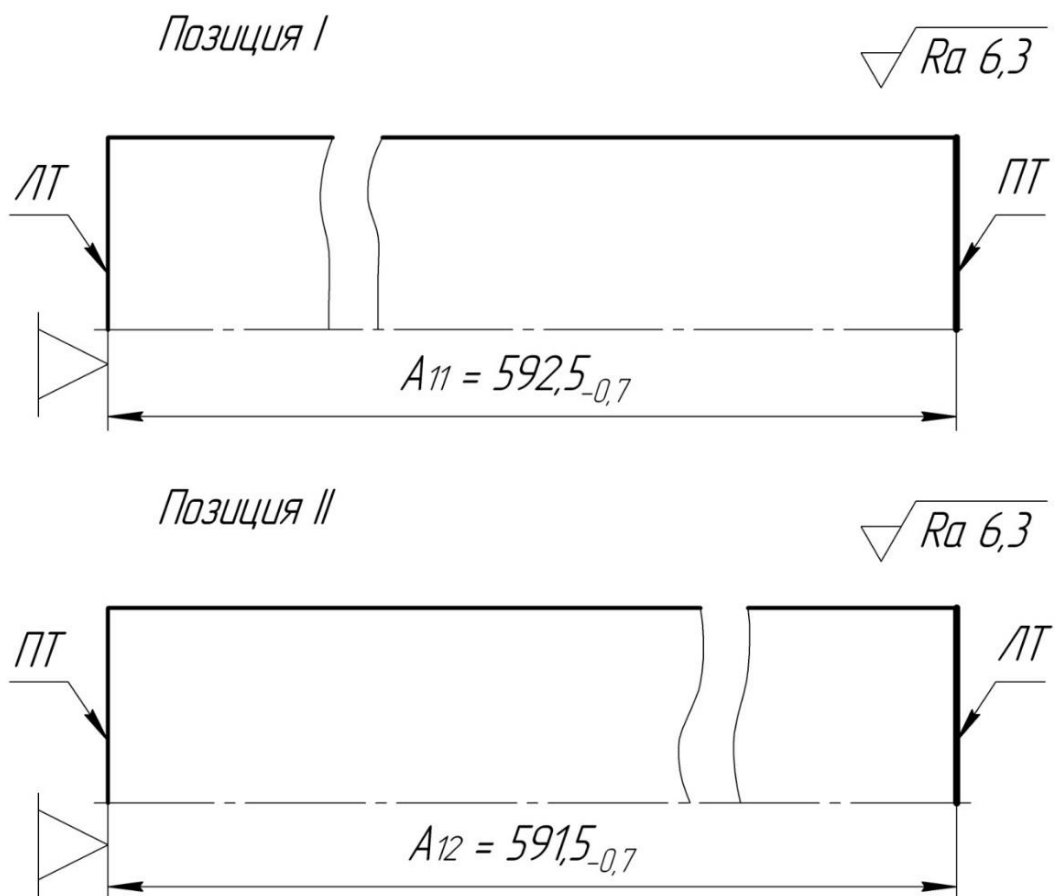


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки на операції 010

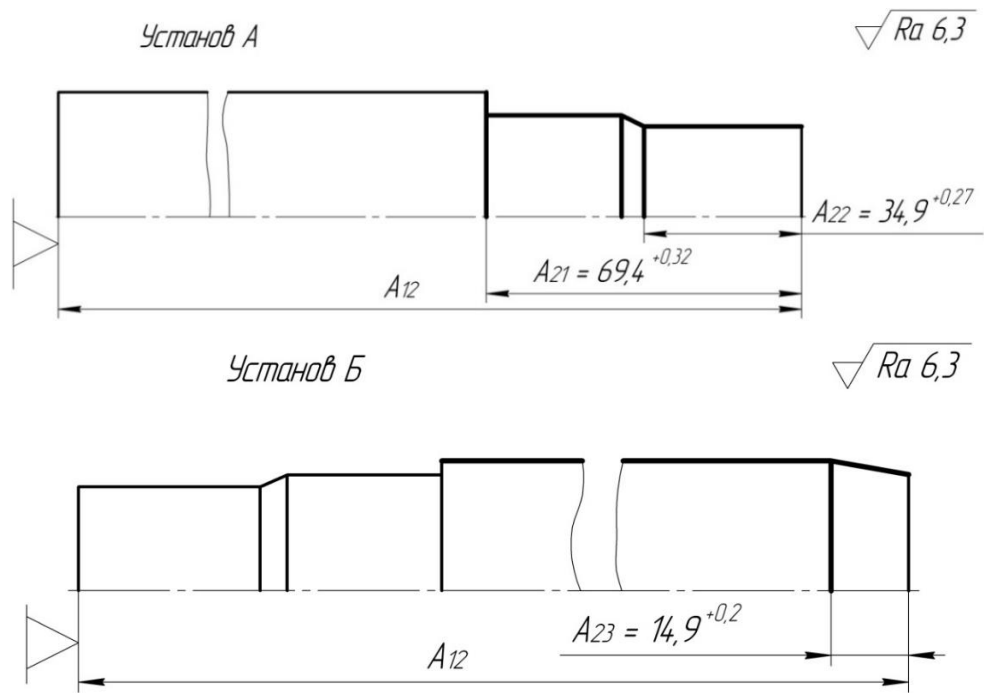


Рисунок 2.4 – Ескізи заготовки на операції 015

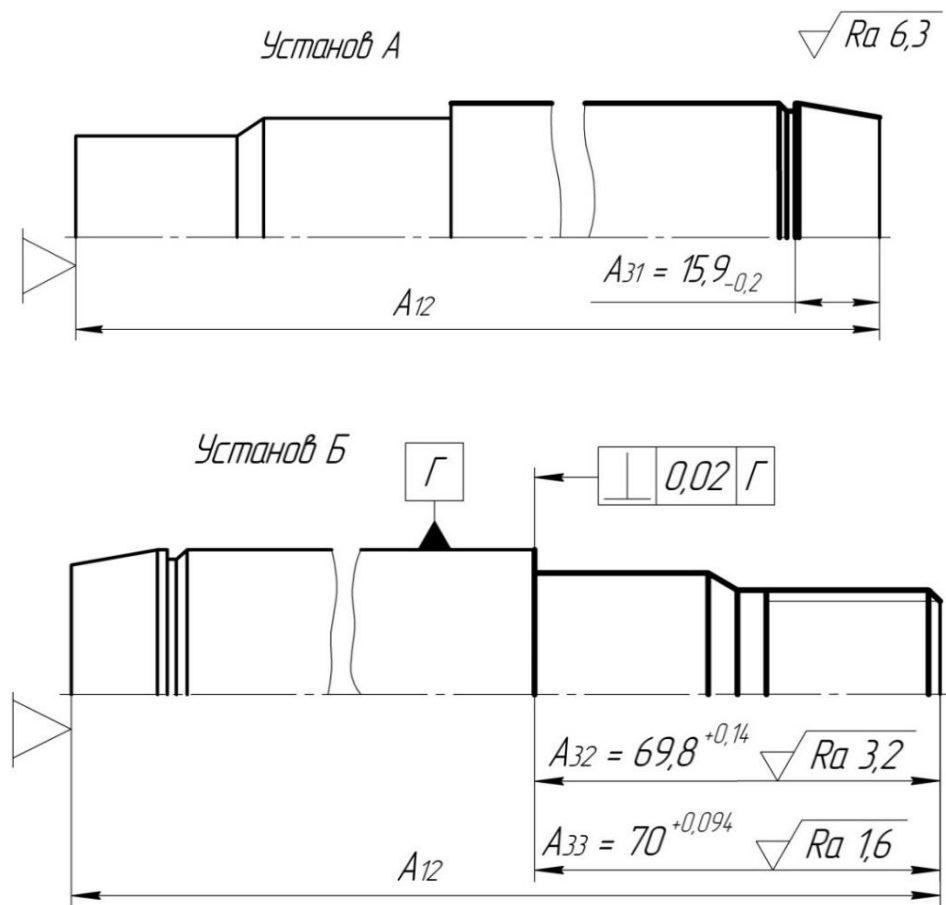


Рисунок 2.5 – Ескізи заготовки на операції 020

За вихідними даними будуюмо схему обробки і граф ТРЛ (див. рис. 2.6 і 2.7).

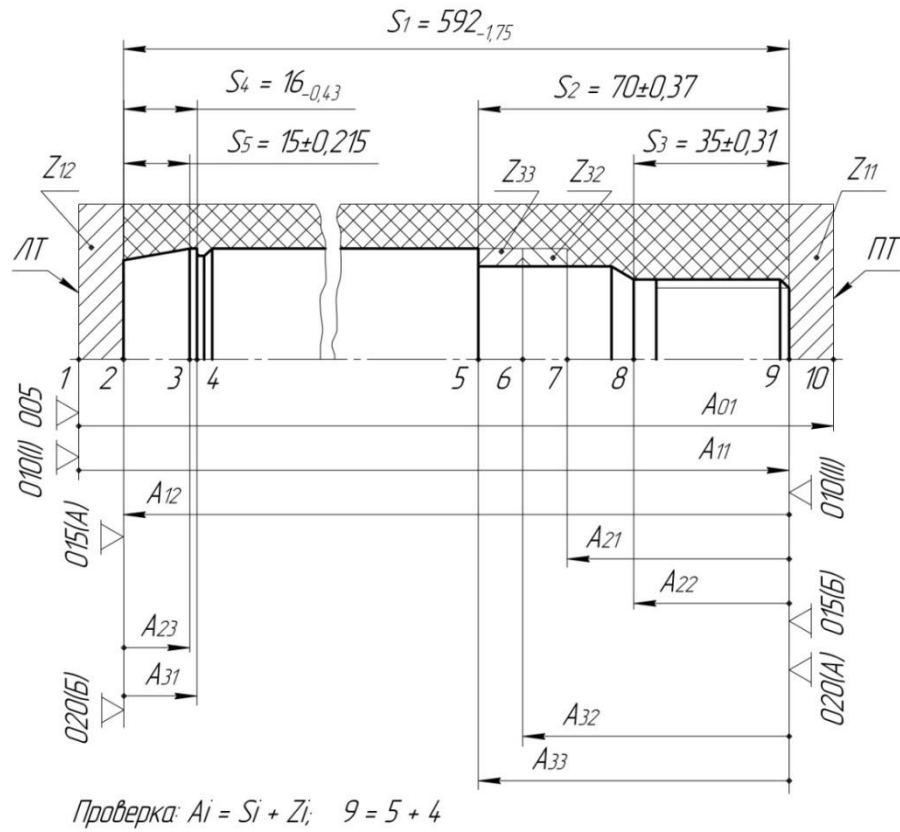


Рисунок 2.6 – Схема обробки

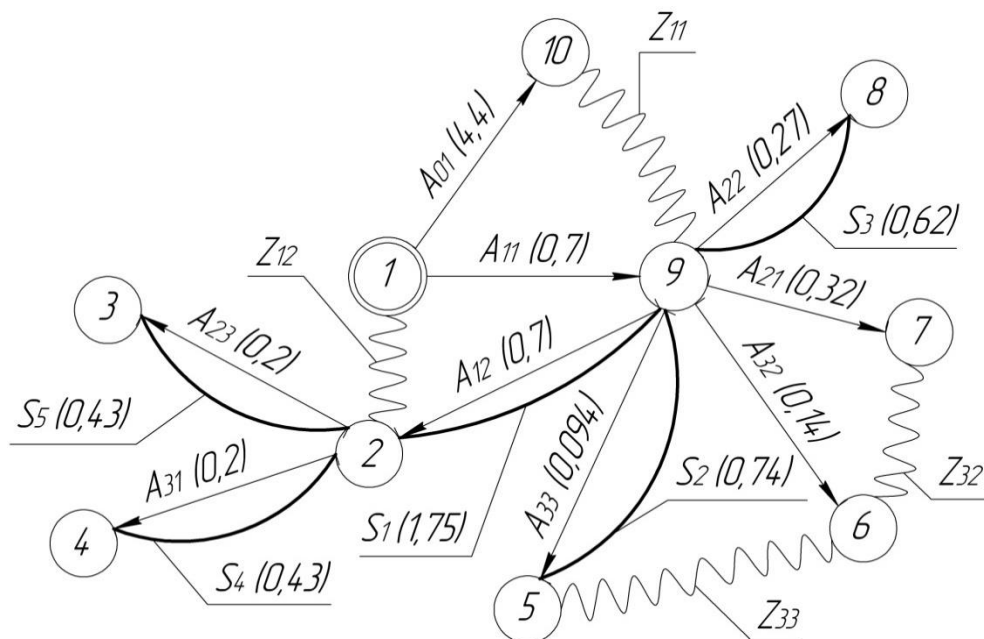


Рисунок 2.7 – Граф ТРЛ

Далі розраховуються допуски і операційні розміри (див. табл. 2.3 і 2.4), виконується перевірка виконаних розрахунків [3].

Таблиця 2.3 – Розрахунок допусків на технологічні розміри

Індекс розміру	Спосіб обробки	Точність розміру заготовки	Шорсткість, R_a (мкм)	Величина розміру, мм	Величина допуску, мм	Домінуюча похибка, мм	Розрахований допуск, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
A _{0.1}	Прокат (Відрізна)	Js16	12,5	Більше 600	4,4 (±2,2)	–	4,4
A _{1.1}	Фрезерування (однократне)	h12	6,3	Більше 592	0,7	–	0,7
A _{1.2}	Фрезерування (однократне)	h12	6,3	Більше 592	0,7	–	0,7
A _{2.1}	Токарна чорнова	H12	6,3	До 70	0,3	*ε ₆ = 0,02	0,32
A _{2.2}	Токарна чорнова	H12	6,3	До 35	0,25	*ε ₆ = 0,02	0,27
A _{2.3}	Токарна чорнова	H12	6,3	До 15	0,18	*ε ₆ = 0,02	0,2
A _{3.1}	Токарна (однократне)	h12	6,3	До 16	0,18	*ε ₆ = 0,02	0,2
A _{3.2}	Токарна п/чистова	H10	3,2	До 70	0,12	*ε ₆ = 0,02	0,14
A _{3.3}	Токарна чистова	H9	1,6	До 70	0,074	*ε ₆ = 0,02	0,094

*ε₆ = 0,02 – похибка налагоджування верстата на виконуємий розмір

Перевірка.

- 1) $S_1^{max} = 592 > A_{12}^{max} = 591,5;$ $S_1^{min} = 590,25 < A_{12}^{min} = 590,8.$
- 2) $S_2^{max} = 70,37 > A_{33}^{max} = 70,094;$ $S_2^{min} = 69,63 < A_{33}^{min} = 70.$
- 3) $S_3^{max} = 35,31 > A_{22}^{max} = 35,17;$ $S_3^{min} = 34,69 < A_{22}^{min} = 34,9.$
- 4) $S_4^{max} = 16 > A_{31}^{max} = 15,9;$ $S_4^{min} = 15,57 < A_{31}^{min} = 15,7.$
- 5) $S_5^{max} = 15,215 > A_{23}^{max} = 15,1;$ $S_5^{min} = 14,785 < A_{23}^{min} = 14,9.$
- 6) $Z_{33} = A_{33} - A_{32} = 70^{+0,094} - 69,8^{+0,14} = 0,2_{-0,14}^{+0,094}.$
- 7) $Z_{32} = A_{32} - A_{21} = 69,8^{+0,14} - 69,4^{+0,32} = 0,4_{-0,32}^{+0,14}.$
- 8) $Z_{12} = A_{11} - A_{12} = 592,5_{-0,7} - 591,5_{-0,7} = 1,0_{-0,7}^{+0,7}.$
- 9) $Z_{11} = A_{01} - A_{11} = 595_{-2}^{+2} - 592,5_{-0,7} = 2,5_{-2,2}^{+2,7}.$

Конструкторські розміри S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 витримуються в заданих межах. Зняття мінімальних припусків $Z_{11}, Z_{12}, Z_{32}, Z_{33}$ забезпечується. Таким чином, операційні розміри $A_{01}, A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{31}, A_{32}, A_{33}$ розраховані правильно.

Таблиця 2.4 – Розрахунок технологічних розмірів

Відомі розміри						Невідомі розміри						
Індекс розміру	Величина розміру і допуск	Очікувана похибка	Середній розрахований розмір	Допустиме коригування	Середній коригований розмір	Індекс розміру	Допуск	Рівняння контуру	Середній розрахований розмір	Номінальний розрахований розмір	Номінальний коригований розмір	Середній коригований розмір
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S ₁	592 ^{-1,75}	0,7	591,125	±0,525	592,2	A ₃₃	+0,094	A ₃₃ -S ₂ =0	70	69,953 ^{+0,094}	70 ^{+0,094}	70,047
S ₂	70±0,37	0,094	70	±0,323	70	A ₃₂	+0,14	Z ₃₃ +A ₃₂ -A ₃₃ =0	69,87	69,8 ^{+0,14}	69,8 ^{+0,14}	69,87
S ₃	35±0,31	0,27	35	±0,175	35	A ₃₁	-0,2	A ₃₁ -S ₄ =0	15,785	15,885 ^{-0,2}	15,9 ^{-0,2}	15,8
S ₄	16 ^{-0,43}	0,2	15,785	±0,115	15,8	A ₂₃	+0,2	A ₂₃ -S ₅ =0	15	14,9 ^{+0,2}	14,9 ^{+0,2}	15
S ₅	15±0,215	0,2	15	±0,115	15	A ₂₂	+0,27	A ₂₂ -S ₃ =0	35	34,865 ^{+0,27}	34,9 ^{+0,27}	35,035
Z ₁₁	0,2	5,1	2,75	+∞	3,0	A ₂₁	+0,32	A ₂₁ -A ₃₂ +Z ₃₂ =0	69,54	69,38 ^{+0,32}	69,4 ^{+0,32}	69,56
Z ₁₂	0,2	1,4	0,9	+∞	1,0	A ₁₂	-0,7	A ₁₂ -S ₁ =0	591,125	591,475 ^{-0,7}	591,5 ^{+0,46}	591,15
Z ₃₁	0,1	0,46	0,33	+∞	0,5	A ₁₁	-0,7	A ₁₁ -A ₁₂ -Z ₁₂ =0	592,05	592,4 ^{-0,7}	592,5 ^{-0,7}	592,15
Z ₃₂	0,06	0,234	0,177	+∞	0,2	A ₀₁	4,4±2,2	A ₀₁ -A ₁₁ -Z ₁₂ =0	594,9	594,9±2,2	595±2,2	595

2.5 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Операція 015 «Токарна з ЧПК». Схема базування і закріплення заготовки за варіантом № 1 наведена на рисунку 2.8.

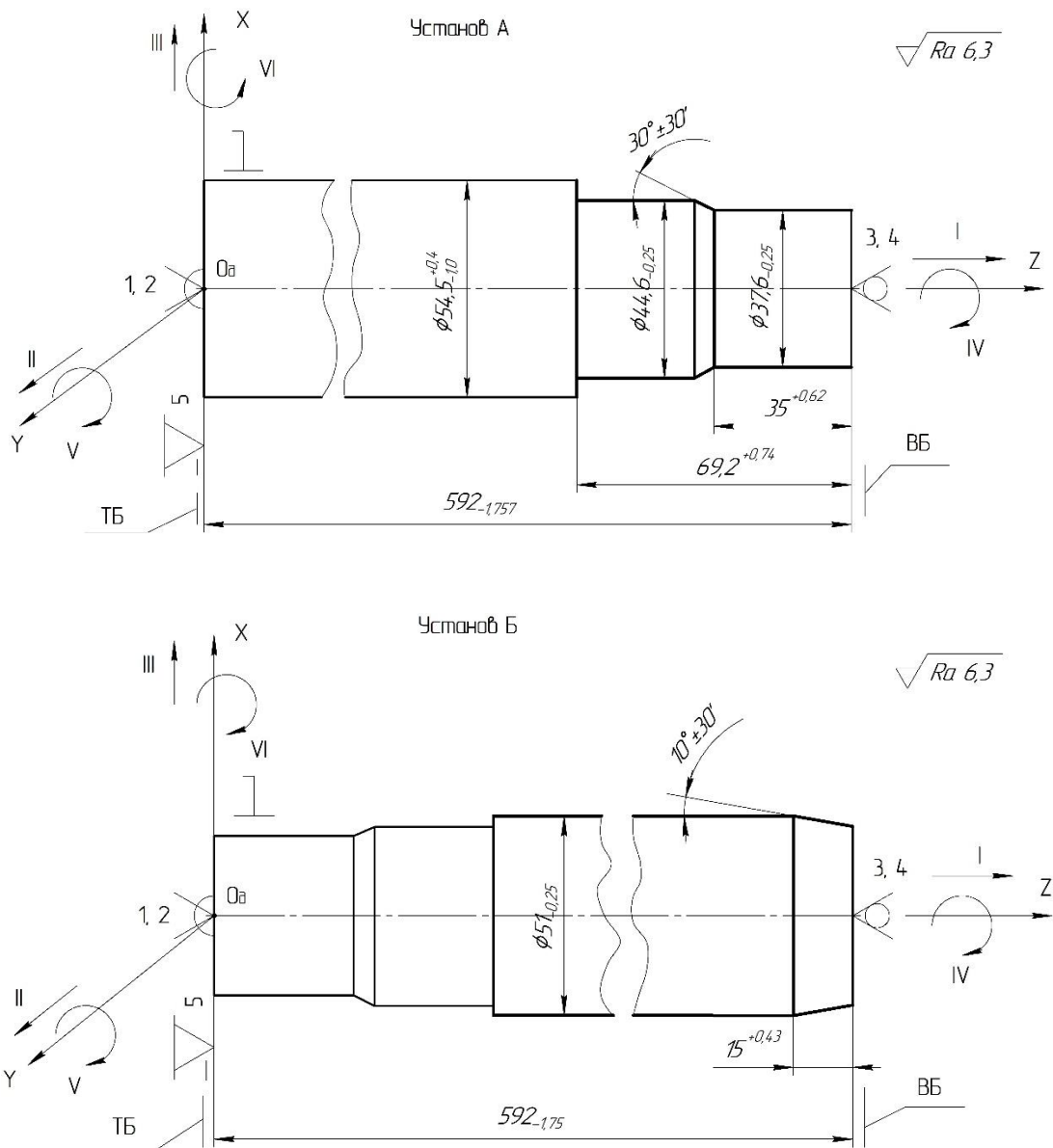


Рисунок 2.8 – Ескізи заготовки на операції 015 (установи А і Б). Схема № 1

На установі А оброблюються $\phi 44,6(0; -0,25)$ мм та $\phi 37,6(0; -0,25)$ мм і витримуються розміри $35(+0,62; 0)$ мм та $69,2(+0,74; 0)$ мм. Потім заготовка

переустановлюється. На установі Б оброблюються конічна поверхонь довжиною $15(+0,43; 0)$ мм та $\varnothing 51(0; -0,25)$ мм.

На обох установках заготовка установлюється центровими отворами на центра верстата. На точність розмірів $\varnothing 37,6(0; -0,25)$ мм, $\varnothing 44,6(0; -0,25)$ мм, $\varnothing 51(0; -0,25)$ мм похибка установлення заготовки в центрах буде відсутня і $\varepsilon_y = \varepsilon_6 = \varepsilon_3 = 0$.

Точність лінійних розмірів $T_{35} = 0,62$ мм, $T_{69,2} = 0,74$ мм, $T_{15} = 0,43$ мм забезпечується точністю налагоджувального розміру інструмента на оброблювальний розмір. За схемою № 1 шток базується у центрах, де передній центр є «плаваючим» і він самостійно установлюється уздовж осі центрального отвору заготовки. Одночасно торець заготовки ($\varnothing 54,5$) сполучується із упором, а крутний момент на заготовку передається від повідкового патрона. Схеми зв'язків відповідності та матриці зв'язків наведені у таблицях 2.5 та 2.6.

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступінь свободи	База
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
6	Вакансія	-

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

1, α / X, Y, Z	X	Y	Z	База
1	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	-
α	0	0	0	
Σ	2	2	1	5-ь зв'язків

За цією схемою ТБ і ВБ з'єднані розміром $592(0; -1,75)$ мм і похибка базування для усіх лінійних розмірів становить $\varepsilon_6 = 1,75$ мм, а це більше ніж

величини допусків $T_{35} = 0,62$ мм, $T_{69,2} = 0,74$ мм, $T_{15} = 0,43$ мм. Таким чином, точність цих розмірів не витримується.

Схема базування і закріплення заготовки за варіантом № 2 наведена на рисунку 2.9.

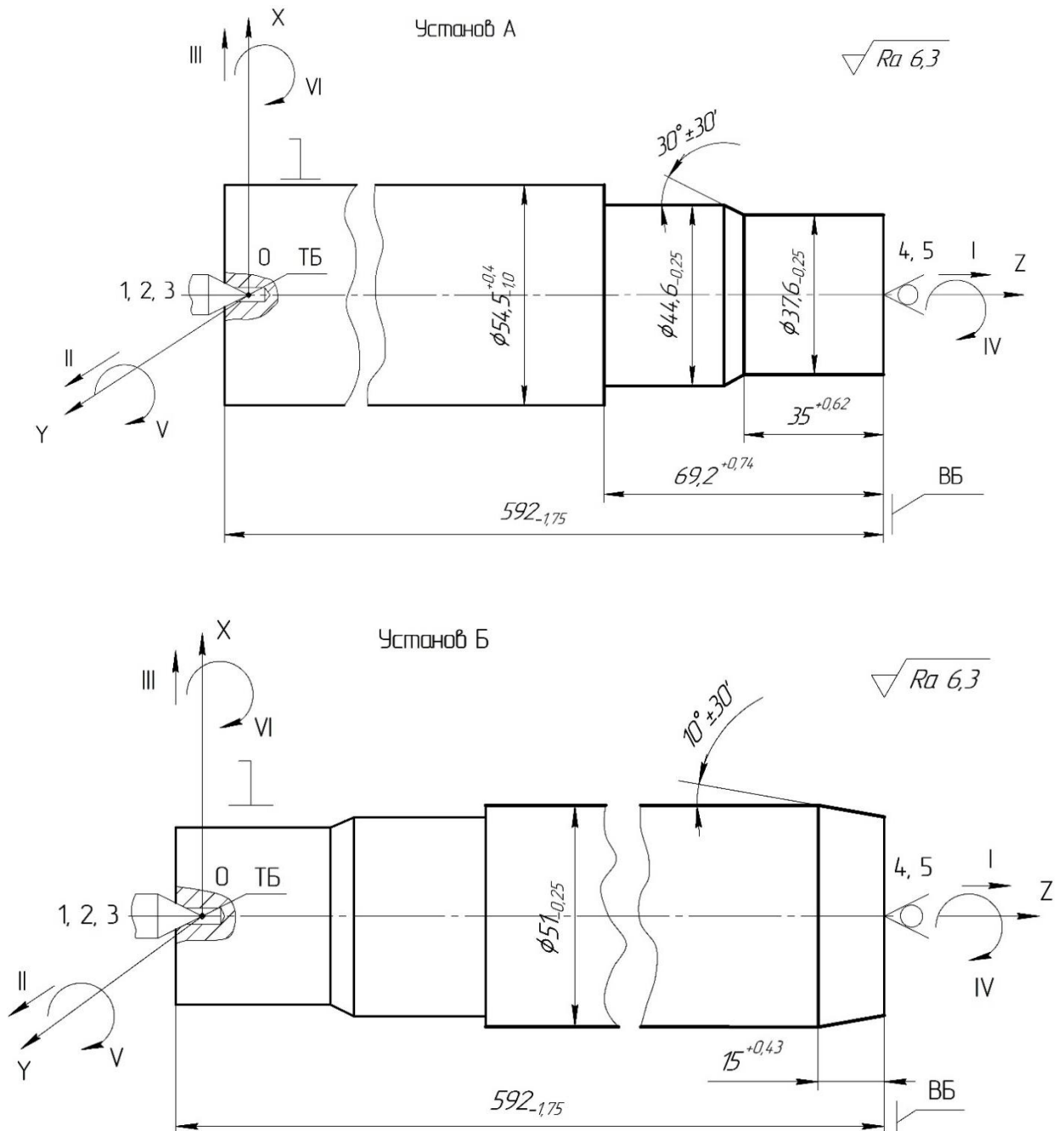


Рисунок 2.9 – Ескізи заготовки на операції 015 (установи А і Б). Схема № 2

За схемою № 2 відсутній упор, що є опорною базою (ОБ) і заготовка базується тільки вдома центрами. Схема базування заготовки за схемою № 2 наведена в таблицях 2.7 і 2.8.

Таблиця 2.7 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступінь свободи	База
1, 2, 3, 4, 5	I, II, III, V, VI	ПНБ+ОБ
6	Вакансія	–

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків

1, α / X, Y, Z	X	Y	Z	База
1	1	1	1	ПНБ+ОБ
α	1	1	0	
1	0	0	0	–
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5 зв'язків

За цією схемою базування заготовка має одну ступінь свободи із шести. Заготовка позбавлена п'яти ступенів вільності: трьох переміщень та двох обертів (подвійно-напрямна та опорна бази). Передній центр не установлюється самостійно на довжині центрального отвору і не компенсує величину допуску на довжину і діаметр конічної частини отвору. Відносно любого лінійного розміру виникає похибка базування, тому що ТБ та ВБ не з'єднані однією поверхнею.

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_{61} + \varepsilon_{62},$$

де $\varepsilon_{61} = \frac{TD_{\text{ц}}}{2 \tan(\frac{\alpha}{2})}$ – похибка «просадки» переднього центру;

$\varepsilon_{62} = T_{592} = 1,75$ мм – допуск розміру, яким з'єднані бази ТБ і ВБ.

$$\varepsilon_{61} = \frac{TD_{\text{ц}}}{2 \tan(\frac{\alpha}{2})} = \frac{0,18}{2 \tan(\frac{60^0}{2})} = 0,16 \text{ мм},$$

де $TD_{\text{ц}} = 0,18$ мм – допуск на діаметр конічної частини центрального отвору;

$\alpha = 60^0$ – кут конічної частини центрального отвору.

Друга складова похибки дорівнює допуску довжини 592 мм, що з'єднує ТБ та ВБ ($\varepsilon_{62} = T_{592} = 1,75$ мм). Таким чином, $\varepsilon_6 = 0,16 + 1,75 = 1,91$ мм і

точність лінійних розмірів не витримується. Але обробка заготовки виконується на верстаті з ЧПК, де налагоджувальний розмір задається від ВБ із аналогією за схемами № 1 та № 2.

Із двох схем базування і закріплення заготовки, вибираємо схему № 1.

Операція 030 «Вертикально-фрезерна». На операції обробляється паз розмірами 35x8x4 мм. Точність розмірів $8(+0,36; 0)$ мм та R4 мм забезпечуються діаметром інструменту (фрезою). Точність довжини паза $35(+0,62; 0)$ мм забезпечується точністю налагоджування інструменту на розмір. Торець заготовки є одночасно технологічною та вимірювальною базою, тоді похибка базування у напрямку витриманого розміру $\varepsilon_{635} = 0$ і точність розміру 35 мм $T_{35} = 0,62$ мм витримується.

Базування і закріплення заготовки за схемою № 1 наведено на рисунку 2.10.

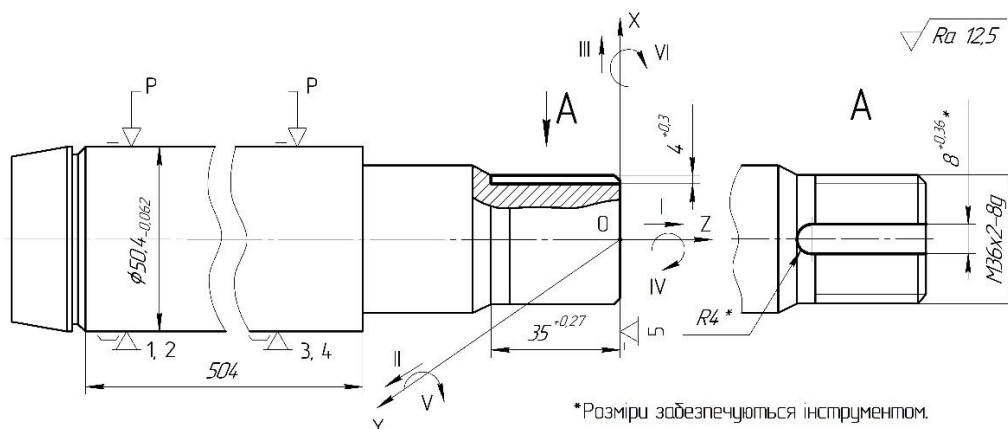


Рисунок 2.10 – Ескіз заготовки на операції 030. Схема № 1

Установлювати заготовку передбачається у пристрій, що має призму і упор. Для базування заготовки застосовуються поверхня $\varnothing 50,4h9(-0,062; 0)$ мм і торець M36x2-8g. Схеми базування і зв'язків наведені в таблицях 2.9 і 2.10.

Таблиця 2.9 – Таблиця відповідності

Зв'язок	Ступінь свободи	База
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	ПНБ
5	I	ОБ
6	Вакансія	—

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків

l, α / X, Y, Z	X	Y	Z	База
1	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
1	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	–
α	0	0	0	
Всього	2	2	1	5 зв'язків

За цією схемою технологічна $\varnothing 50,4f9$ і вимірювальна M36x2-8g бази не співпадають у напрямку обробленого розміру $4(+0,25; 0)$ мм. Похибка базування визначиться за формулою:

$$\varepsilon_{\delta 4}^1 = \frac{TD}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) = \frac{0,062}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{90^\circ}{2}} \right) = 0,075 \text{ мм}, \quad (2.1)$$

де $D = 50,4h9$ мм – діаметр заготовки;

$\alpha = 90^\circ$ – кут призми пристрою;

$TD = 0,062$ мм – допуск розміру D .

Порівняємо $\varepsilon_{\delta 4}^1 = 0,075 < T_4 = 0,25$ мм – точність витримується.

Базування і закріплення заготовки за схемою № 2 наведено на рисунку 2.11.

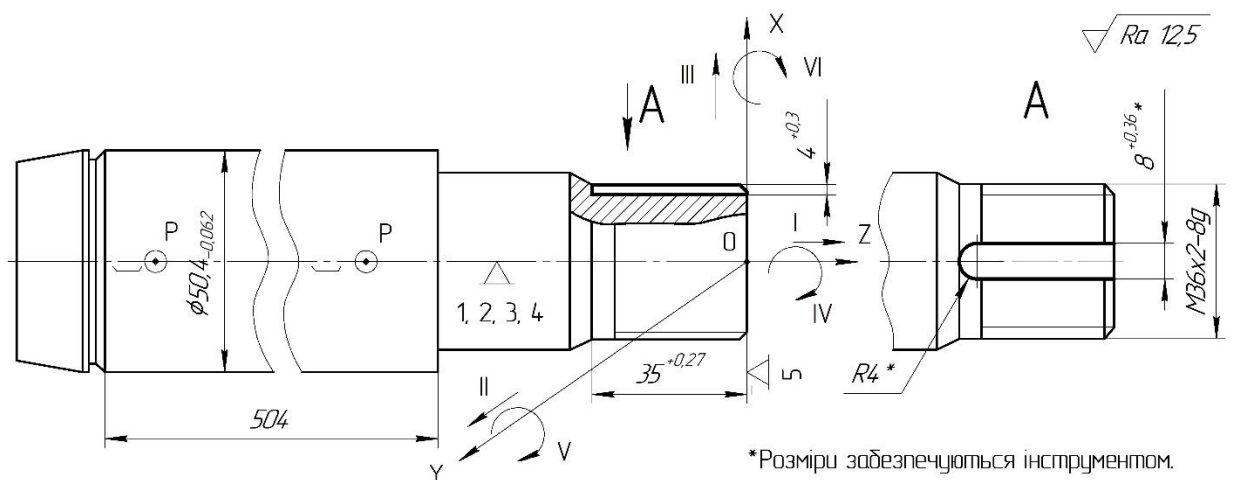


Рисунок 2.11 – Ескіз заготовки на операції 030. Схема №2

Установку заготовки на операції 030 можна виконувати за схемою № 2 (див. рис. 2.11). Заготовка поверхнею $\varnothing 50,4f9$ базується і закріплюється двома збіжними призмами. Це дозволяє сумістити осі заготовки і верстата (призм) із віссю OZ. Додатково заготовка базується торцем M36x20-8g і позбавляє однієї ступені свободи уздовж осі OZ. Базування заготовки за схемою № 2 є аналогічною базуванню заготовки за схемою № 1 (див. табл. 2.10 і 2.11).

Похибка базування визначиться за формулою 2.1:

$$\varepsilon_{\delta 4}^2 = \frac{TD}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{0,062}{2 \sin \frac{90^\circ}{2}} \cong 0,044 \text{ мм.}$$

Якщо $\varepsilon_{\delta 4}^2 = 0,044 \text{ мм} < T_4 = 0,25 \text{ мм}$, то точність розміру $4(+0,3; 0) \text{ мм}$ також забезпечується.

За схемою № 2 точність базування у наведеному пристрої вище, ніж за схемою № 1. Однак складність виготовлення конструкції пристрою за схемою № 2 буде також вище.

За виконаним аналізом двох схем базування, дамо перевагу схемі № 1. Конструкція пристрою, що реалізує запропоновану схему, буде простіше у виготовленні та надійніше в експлуатації.

2.6 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Токарна обробка заготовок виконується на токарно-гвинторізних верстатах моделі Star Chip 520 x 1000 (див. табл. 2.1 1). Для фрезерування паза штока використовується верстат моделі UWF 10 (див. табл. 2.12).

Таблиця 2.11 – Технічна характеристика верстата моделі Star Chip 520 x 1000

Параметри	Чисельні дані
1	2
ЧПК	Siemens 8020
Найбільший діаметр оброблювальної заготовки, мм: над станиною	520
над супортом	340
Найбільша довжина оброблювальної заготовки, мм	905

Продовження таблиці 2.11

1	2
Частота обертання шпинделю, об/хв	8–3500
Крутний момент шпинделя, Нм	368
Хід по осі X, мм	180
Хід по осі Z, мм	960
Прискорений хід по осі X, м/хв	12
Прискорений хід по осі Z, м/хв	15
Кількість позицій інструментального магазину	10
Кількість ступенів подач (безступеневе регулювання)	б/с
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	17
Габарити (Д x Ш x В), мм	3690 x 1540 x 1860
Вага верстата, кг	5100

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика верстата моделі UWF 10

Параметри	Чисельні дані
Модель верстата	UWF 10
Кількість T-шліців	5
Ширина T-шліца, мм	18
Відстань між T-шліцами, мм	80
Переміщення стола у повздовжньому напрямку, мм	900
Переміщення стола у вертикальному напрямку, мм	450
Переміщення фрезерної балки у поперечному напрямку, мм	650
Розміри робочого стола, мм	1235 x 460
Кількість швидкостей шпинделю	27
Частота обертання шпинделю, об/хв	30–2050
Кут обертання головки	360°
Подача стола (безступеневе регулювання), мм/хв: повздовжня і поперечна	10–1000
вертикальна	6–640
Найбільше навантаження на стіл, кг	800
Потужність головного електродвигуна, кВт	5,5
Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В), мм	1940 x 2220 x 2115

2.7 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв різального та вимірювального інструментів

На операції 015 «Токарна з ЧПК», треба застосувати токарний повідковий патрон для передачі крутного моменту заготовки. Токарний повідковий патрон

моделі УГО 124.000000.000 застосовується для базування і закріплення заготовок валів [3]. Конструкція патрона складається із рухомого центру із пружиною А1-2 НП ЧПК ГОСТ 8742–75 та комплекту ексцентрикових кулачків. Діапазон діаметрів, що затискаються комплектом змінних кулачків, становить 17–76 мм. Зовнішній діаметр патрона дорівнює 250 мм.

Різальний інструмент. Для обробки зовнішніх циліндричних, конічних, торцевих поверхонь штока приймається контурний різець MWLNR2020K06 із матеріалом різальної частини Т5К10. Різець спеціально передбачений для робіт на токарних верстатах із ЧПК. Їм оброблюються всі поверхні заготовки на установках А та Б операції.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-160-0,1 ГОСТ 166–89, зразки шорсткості згідно ГОСТ 9378–75.

На операції 030 «Вертикально-фрезерна» для установлення заготовки на столі верстата треба застосувати спеціальний пристрій, який реалізує прийнятну схему базування і закріплення штока. Пристрій треба розробити.

Різальний інструмент: фреза кінцева, Ø8 мм, кількість зубців $Z=4$ мм, матеріал фрези – Р6М5 ГОСТ 19625–73. Умовне позначення інструменту: фреза 2220-0009 Р6М5 ГОСТ 17025–71. Для установлення фрези у шпиндель верстата застосовується патрон 1-50-8-90 ГОСТ 26539–85.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-160-0,1 ГОСТ 166–89, зразки шорсткості ГОСТ 9378–75.

2.8 Визначення режимів різання

Операція 015 «Токарна з ЧПК». Вихідні дані: різець MWLNR2020K06, матеріал Т5К10, обробка поверхні із Ø55 до Ø44,6 довжиною 70 мм, шорсткість поверхні $R_a = 6,3$ мкм.

1 Глибина різання t , мм:

$$t = \frac{55 - 44,6}{2} = 5,2 \text{ мм.}$$

2 Подача $S = 0,4 - 0,8$ мм/об [10, т. 11, с. 266]. Приймаємо $S = 0,5$ мм/об.

3 Швидкість різання V , м/хв:

$$V = \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} = \frac{350 \cdot 0,36}{60^{0,2} \cdot 5,2^{0,15} \cdot 0,5^{0,35}} = 55,6 \text{ м/хв,}$$

де $T = 60$ хв – період стійкості різця [10, с. 268];

$$C_v = 350; \quad x = 0,15; \quad y = 0,35; \quad m = 0,2 \quad [10, \text{т. 17, с. 269-270};$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0,61 \cdot 0,9 \cdot 0,65 = 0,36;$$

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 0,8 \left(\frac{750}{981} \right)^1 = 0,61;$$

$$K_r = 0,8 \quad [10, \text{т. 2, с. 262}]; \quad \sigma_B = 981 \text{ МПа}; \quad n_v = 1,0 \quad [10, \text{т. 2, с. 262}];$$

$$K_{pv} = 0,9 \quad [10, \text{т. 5, с. 262}]; \quad K_{iv} = 0,65 \quad [10, \text{т. 6, с. 263}].$$

4 Визначимо частоту обертання шпинделю n , об/хв:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 55,6}{3,14 \cdot 55} = 322 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата $n_{\pi} = 315$ об/хв, тоді

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\pi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 55 \cdot 315}{1000} = 54,4 \text{ м/хв.}$$

Визначимо хвилину подачу $S_M = S \cdot n_{\pi} = 0,5 \cdot 315 = 157,5$ мм/хв.

5 Визначимо силу різання P_z (Н):

$$\begin{aligned} P_z &= 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^u \cdot K_p = \\ &= 10 \cdot 300 \cdot 5^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 53,4^{-0,15} \cdot 1,09 = 5357 \text{ Н,} \end{aligned}$$

де $C_p = 300$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $u = -0,15$ [7, т.22, с.273-274];

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 1,22 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 = 1,09;$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{981}{750} \right)^{0,75} = 1,22;$$

де $n = 0,75$ [10, т. 9, с. 264]; $K_{\phi p} = 0,89$; $K_{\gamma p} = 1,0$; $K_{\lambda p} = 1,0$; K_{rp} – немає [10, т. 23, с. 275].

6 Потужність різання N , кВт:

$$N = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60} = \frac{5367 \cdot 53,4}{1020 \cdot 60} \cong 4,7 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделю верстата N_e , кВт:

$$N_e = N_c \cdot \eta = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт},$$

де $\eta = 0,8$ – ККД верстата;

$N_c = 10$ кВт – електродвигуна головного руху.

Якщо $N = 4,7$ кВт $< N_e = 8$ кВт, то обробка можлива.

7 Основний час переходу T_{o1} (хв):

$$T_{o1} = \frac{L \cdot i}{S_m} = \frac{71 \cdot 1}{157,5} = 0,45 \text{ хв},$$

де $L = l_o + l_{вр} + l_{пер} = 69,2 + 1,8 + 0 = 71$ мм;

$i = 1$ – кількість рухів інструменту;

$S_m = 157,5$ мм/хв.

На інші технологічні переходи операції 015 режими різання та основний час визначимо табличним методом (див. табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Режими різання на операції 015

Оброблена поверхня	Різальний інструмент	t, мм	i	S, мм/хв	V, м/хв	n, об/хв	T _o , хв
Ø37,6 x 35	Контурний різець MWLNP 2020K06, T5K10	3,5	1	200	56	400	0,18
Фаска 30°		-	1	200	$\frac{56}{47,2}$	400	0,09
Ø51 x 522		2,0	1	200	69	400	2,62
Конус 10° x 15 (Ø51 max)		-	1	200	$\frac{64}{57,8}$	400	0,1
Всього							3,0

Операція 030 «Вертикально-фрезерна».

1 Глибина різання $t = 8$ мм; ширина фрезерування $B = 4$ мм.

2 Подача на зуб $S_z = 0,02$ мм/зуб [10, карта 161, с. 293].

3 Період стійкості $T = 80$ хв [10, т. 40, с.290].

4 Швидкість різання V визначається за формулою [10, с. 282]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} = \frac{46,7 \cdot 8^{0,45} \cdot 0,56}{80^{0,33} \cdot 8^{0,5} \cdot 0,02^{0,5} \cdot 4^{0,1} \cdot 4^{0,1}} \approx 30 \text{ м/хв},$$

де $q = 0,45$; $x = 0,5$; $y = 0,5$ $u = 0,1$; $p = 0,1$; $m = 0,33$ [7, т. 39, с. 287];

$K_v = 0,56$ – поправочний коефіцієнт для швидкості різання залежно від обробленого матеріалу [10, т. 1, с. 262].

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} = 0,8 \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{1,35} \cdot 1 \cdot 1 = 0,56.$$

5 Частота обертання фрези, n , об/хв.:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 8} = 1194,3 \text{ об/хв.}$$

Корегуємо оберти фрези за паспортними даними верстата і приймаємо $n_{\pi} = 1000$ об/хв. Тоді фактична швидкість різання визначиться:

$$V_{\phi} = \frac{\pi D n_{\pi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 1000}{1000} = 25,1 \text{ м/хв.}$$

6 Визначимо хвилину подачу стола верстата:

$$S_M = S_z \cdot n \cdot z = 0,02 \cdot 4 \cdot 1000 = 80 \text{ мм/хв.}$$

Корегуємо подачу за паспортом верстату і приймаємо $S_M = 80$ мм/хв.

7 Сила різання P_z визначається за формулою [10, с. 282]:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z \cdot K_{mp}}{D^q \cdot n^w} =$$

$$= \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 8^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1,08}{8^{0,86} \cdot 1000^0} = 707 \text{ (Н)},$$

де $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $n = 1,0$; $q = 0,86$; $w = 0$ [10, т. 41, с.291].

Коефіцієнт K_{mp} визначається за формулою [10, т. 9, с.264]:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{981}{750}\right)^{0,3} = 1,08.$$

Визначаємо складові сили різання P_z :

$$P_h = P_z(0,3 - 0,4) = 0,4 \cdot 707 = 283 \text{ Н};$$

$$P_v = P_z(0,85 - 0,95) = 0,95 \cdot 707 = 672 \text{ Н};$$

$$P_y = P_z(0,3 - 0,4) = 0,4 \cdot 707 = 283 \text{ Н};$$

$$P_x = P_z(0,5 - 0,55) = 0,55 \cdot 707 = 389 \text{ Н.}$$

8 Потужність різання визначається за формулою [10, с. 290]:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60} = \frac{707 \cdot 25,1}{1020 \cdot 60} = 0,3 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделі верстата $N_{\text{шп}}$ визначиться за формулою:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 7,5 \cdot 0,8 = 6 \text{ кВт},$$

де $\eta = 0,8$ – ККД верстата;

$N_{\text{дв}} = 7,5$ кВт – потужність двигуна верстата.

Якщо $N_{\text{різ}} < N_{\text{шп}}$ ($0,3 \text{ кВт} < 6 \text{ кВт}$), то обробка можлива.

9 Основний час операції визначиться за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{S_m} = \frac{39 \cdot 1}{80} = 0,49 \text{ хв},$$

де L – довжина обробки, мм; $L = l + l_{\text{вр}} + l_{\text{пер}} = 35 + 4 + 0 = 39$ мм;

$l = 35$ мм – довжина обробленої поверхні за кресленням;

$l_{\text{вр}} = 4$ мм – величина врізання інструменту; $l_{\text{пер}} = 0$ – величина перебігу

інструменту; $i = 1$ – кількість рухів інструменту.

2.9 Технічне нормування операцій

Операція 015 «Токарна з ЧПК».

Визначимо склад підготовчо-завершального $T_{\text{п-з}}$ часу:

- на організаційну підготовку – 13 хв [4, карта 21, лист 1, поз. 2, 3, 4];
- на налагодження верстату, пристроїв, інструменту, засобів програмування – 13 хв [4, карта 21, листи 1, 2, поз. 7, 8, 13, 25, 31, 33];
- на пробну обробку деталі – 5,5 хв [4, карта 28, лист 1, поз. 1, 2].

$$T_{\text{п-з}} = 13 + 13 + 5,5 = 31,5 \text{ хв}.$$

Допоміжний час T_d на операцію:

- установлення і зняття деталі – 0,28 хв [4, карта 7, лист 1, поз. 8];
- керування верстатом – 0,5 хв [4, карта 14, лист 2, поз. 1, 4, 6];
- вимірювання заготовки – 0,4 хв [4, карта 25, лист 6, поз. 164].

$$T_d = 0,28 + 0,5 + 0,4 = 1,18 \text{ хв}.$$

Час обслуговування робочого місця разом із відпочинком та індивідуальними потребами працюючого $T_{обс} + T_{від}$ складає 7% від оперативного часу $T_{оп} = T_o + T_d$ [4, карта 16].

$T_{оп} = 3,0 + 1,18 = 4,18$ хв, тоді

$$T_{обс} + T_{від} = 7\% \cdot T_{оп} = 0,07 \cdot 4,18 = 0,29 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний $T_{ш-к}$ час визначиться:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п-з}}{N_{п}} + T_o + T_d + T_{обс} + T_{від} = \frac{31,5}{95} + 3,0 + 1,18 + 0,29 \cong 4,8 \text{ хв,}$$

де $N_{п} = 95$ шт – партія запуску деталей у виробництво.

Операція 030 «Вертикально-фрезерна».

Норма штучно-калькуляційного часу $T_{ш-к}$ операції визначається за формулою:

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

де $T_{п-з} = 25$ хв – підготовчо-завершальний час. Час складається із установаження заготовки в спеціальному пристрої – 16 хв; установаження фрези – 2 хв; одержання інструментів і пристроїв до початку роботи та їх віддання після обробки партії заготовок – 7 хв;

$$T_{п-з} = 16 + 2 + 7 = 25 \text{ хв;}$$

$N_{п} = 95$ шт – партія запуску заготовок у виробництво;

$T_d = 0,85$ хв – допоміжний час. Час складається із установаження, зняття, закріплення і відкріплення заготовки – 0,1 хв; керування верстатом (увімкнути – вимкнути верстат, підведення інструменту до заготовки, перемістити стіл) – 0,24 хв; вимірювання однієї заготовки – 0,12 хв; поправочного коефіцієнту для допоміжного часу у дрібносерійному виробництві – 1,85.

$$T_d = 1,85(0,1 + 0,24 + 0,12) = 0,85 \text{ хв.}$$

$T_{обс} + T_{від}$ – час обслуговування робочого місця і відпочинку. Цей час визначається як 7% від оперативного часу

$$T_{оп} = T_o + T_d = 0,49 + 0,85 = 1,34 \text{ хв.}$$

Тоді

$$T_{об} + T_{від} = 1,34 \cdot 0,07 = 0,1 \text{ хв.}$$

$$T_{ш-к} = \frac{25}{95} + 0,49 + 0,85 + 0,1 = 1,7 \text{ хв.}$$

2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

2.10.1 Обґрунтування мети операції контролю.

Контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) проектується для контролю радіального биття поверхні діаметром $\varnothing 42h9$ відносно поверхні діаметром $\varnothing 50f9$, яке не повинно перевищувати 0,02 мм, а також контролю перпендикулярності торця $50f9/42h9$ відносно поверхні діаметром $\varnothing 50f9$ в межах 0,02 мм.

Вибір категорії контролю.

Атестація якості контролю зазначена за даними джерела [19, т. 1.4-1.6]:

- продукція I-ої категорії якості і за своїми техніко-економічними показниками відповідають сучасним вимогам діючих ГОСТ, ОСТ, ТУ;
- категорія контролю - перша;
- режим контролю – нормальний.

Показники операції контролю [19, с. 36-37]: по об'єму – суцільний; за часом – безперервний; по структурі – однократний.

Контроль радіального биття і допуску перпендикулярності виконується після суперфінішної операції – останньої технологічної операції обробки штока. Наведений технологічний процес виготовлення штока спроектований для дрібносерійного типу виробництва і тому контролю підлягають 100% виготовлених деталей.

Аналіз точності контролюємих параметрів.

Контролю підлягає точність розташування поверхні $\varnothing 42h9$ відносно поверхні $\varnothing 50f9$ і точність розташування торця $\varnothing 50f9/\varnothing 42h9$ відносно поверхні $\varnothing 50f9$ [8].

Точність розміру поверхні $\varnothing 42h9$ відповідно до ГОСТ 25346-82: верхнє відхилення $es = 0$; нижнє відхилення $ei = -62$ мкм; допуск $T_{\varnothing 42} = 62$ мкм. Точність розміру $\varnothing 50f9$: верхнє відхилення $es = -25$ мкм; нижнє відхилення $ei = -87$ мкм; допуск $T_{\varnothing 50} = 62$ мкм.

Точність форми поверхонь $\varnothing 42h9$ і $\varnothing 50f9$ технічними вимогами креслення не обумовлена. Для цих поверхонь під точністю форми розуміють допуски круглості та циліндричності і їх приймають рівними 0,3 допуску на відповідний розмір. Допуск круглості для цих поверхонь приймається 0,02 мм.

Шорсткість поверхонь $\varnothing 42h9$ і торця $\varnothing 50f9/\varnothing 42h9$ за вимогами креслення становить $R_a = 1,6$ мкм і відповідає мінімальним вимогам до шорсткості поверхонь згідно даних джерела [2, т. 6.9, с. 139]. Шорсткість хромованої поверхні діаметром $\varnothing 50f9$ становить $R_a = 0,4$ мкм.

Вибір схеми базування і контролю.

Базовими поверхнями на операції контролю приймається поверхня діаметром $\varnothing 50f9$ і центровий отвір А4, який розташований на торцевій поверхні штока. Вибір цих поверхонь базовими обумовлений тим, що поверхня діаметром $\varnothing 50f9$ є вимірювальною базою для контролю радіального биття $\varnothing 42h9$ і допуску перпендикулярності торця $\varnothing 50f9/\varnothing 42h9$. Торець М36х2-8g пов'язаний із торцем $\varnothing 50f9/\varnothing 42h9$ розміром 70 мм і їх взаємне розташування технічними вимогами креслення не обумовлено. Таким чином, на контрольній операції виконується принцип суміщення баз. Схеми базування і вимірювання наведені на рисунку 2.12.

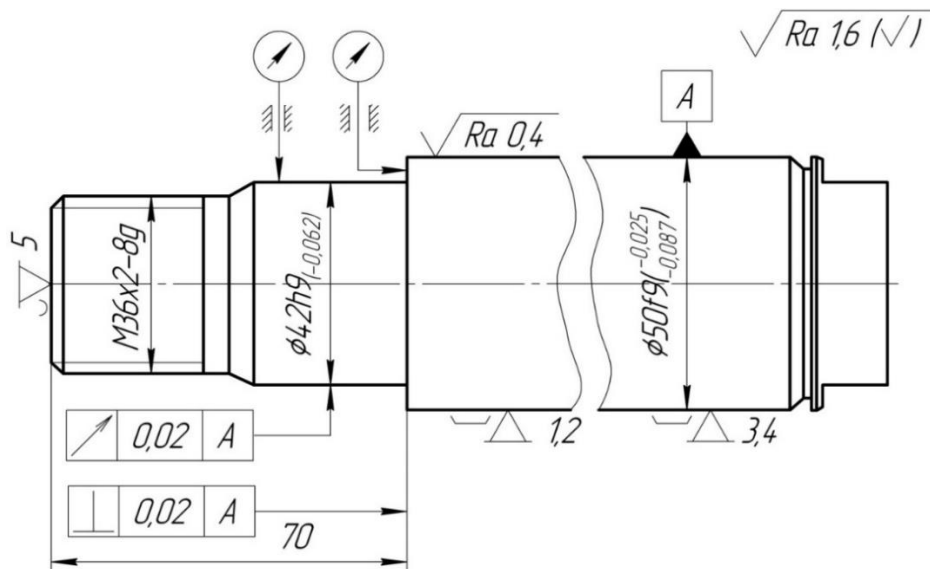


Рисунок 2.12 – Схеми базування і вимірювання деталі

Шток поверхнею діаметром $50f_9$ установлюється на дві призматичні опори, а в центровий отвір А4 ГОСТ 14034-75 вводиться центр, який установлений в корпусі упору і має можливість регулювання по висоті лінії центрів призм. Деталь підтискається центром і це дає змогу реалізувати співвісність осі штока з віссю призм. В наведеній схемі базування відсутні фактори, які б впливали на точність вимірювання радіального і торцевого биття поверхонь деталі.

Запропонована схема базування позбавляє шток п'яти ступенів свободи (реалізуються подвійно напрямна і опорна бази). Шоста ступінь свободи деталі залишається вакантною (обертання штока навколо своєї осі). Вимірювання допусків радіального биття і перпендикулярності торця відбувається обертанням деталі навколо своєї осі. Похибка базування, при установленні деталі за наведеною схемою базування дорівнює нулю ($\epsilon_6 = 0$).

В наведеній схемі базування закріплювати деталь не треба, тому що шток притискається до призматичних опор під дією своєї ваги, а вимірювальні зусилля наконечників двох індикаторів, не спроможні змінити досягнуте розташування деталі в контрольно-вимірювальному пристрої. Таким чином, похибка закріплення деталі дорівнює нулю ($\epsilon_3 = 0$).

Вибір метода вимірювання.

Контроль радіального биття і допуску перпендикулярності зручніше виконувати прямим методом вимірювання, який є найбільш простим і відразу призводить до результату [18]. Вимірювання виконується контактним методом, тому що характеристика міцності деталі дозволяє сприймати вимірювальні зусилля без деформацій. Процес вимірювання виконується динамічним методом (деталь при вимірюванні обертається навколо своєї осі). Для отримання більш точних показників вимірювання, приймається відносний метод вимірювання, який дозволяє установити відхилення контролюємого параметра відносно нульової точки відліку.

Для забезпечення точкового контакту засобу вимірювання із поверхнями деталі, вибираються наконечники сферичної форми. Конструкція наконечників для вимірювання радіального биття і допуску перпендикулярності торця наведена на рисунку 2.13 [19, 21].

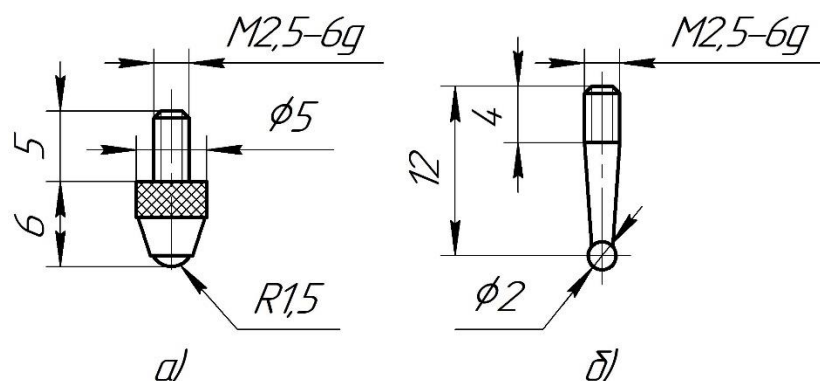


Рисунок 2.13 – Конструкції наконечників:

а – для вимірювання радіального биття – стандартна сталеві вставка № 35.10001 (TN); б – для вимірювання допуску перпендикулярності – вимірювальний щуп 18.60202 із сферою з твердого сплаву

Вибір засобу вимірювання.

Засоби вимірювання вибираються за рекомендаціями джерела [19]. Враховуючи те, що квалітет точності розмірів двох поверхонь відповідає IT9 і

вони мають однаковий допуск 0,02 мм, то розрахунок параметрів виконується одночасно для двох засобів вимірювання.

Допустима сумарна похибка вимірювання

$$|\Delta_{\text{вим}}| = K \cdot IT = 0,25 \cdot 0,02 = 0,005 \text{ мм},$$

де $IT = 0,02$ мм – допуск параметра що вимірюється;

$K = 0,25$ – коефіцієнт точності.

Допустима похибка вимірювання

$$|\Delta_{\text{вим}}| = 0,7 \cdot |\Delta_{\text{вим}}| = 0,7 \cdot 0,005 = 0,0035 \text{ мм}.$$

Ціна поділки розраховується залежно від величини інструментальної похибки $|C| = |\Delta_{\text{вим}}| = 0,0035$ мм.

Інтервал поділки шкали $|a|$ приймається в межах 1 мм, тому що менше значення може утруднити зчитування показань.

Границя вимірювань за шкалою $|A|$ повинна перевищувати допуск вимірювального параметра $|A| = 4 \cdot |\delta| = 4 \cdot 0,02 = 0,08$ мм.

Діапазон вимірювань $|B| = 1,2 \cdot |A| = 1,2 \cdot 0,08 = 0,096$ мм.

Вимірювальне зусилля приймається $|P_{\text{зус}}| = 2 \text{ Н} = 200 \text{ сН}$.

Допустиме коливання вимірювального зусилля $|\Delta P_{\text{зус}}|$ приймається

$$|\Delta P_{\text{зус}}| = \frac{|P_{\text{зус}}|}{3} = \frac{200}{3} \approx 0,7 \text{ Н} = 70 \text{ сН}.$$

Засіб вимірювання вибирається залежно від розрахованої характеристики і є припустимим, якщо виконується вимога:

$$\Delta_{\text{вим}} \leq |\Delta_{\text{вим}}|; \quad C \leq |C|; \quad B \geq |B|;$$

$$\Delta P_{\text{зус}} \leq |\Delta P_{\text{зус}}|; \quad a \geq |a|; \quad A \geq |A|; \quad P_{\text{зус}} \leq |P_{\text{зус}}|.$$

Виходячи із наведених умов вибираємо наступні засоби вимірювання [21].

Для контролю радіального биття – стрілочний індикатор ТЕЗА, модель (номінальний діаметр циферблата) Ø80; ціна поділки шкали 0,001 мм, №14.10801 із цифрами на шкалі в двох напрямках (стандартне виконання). Індикатор виконаний із стопором для циферблата та вбудованим механізмом піднімання вимірювальної вставки [21] (див. рис. 2.14) і має наступну

характеристику: $\Delta_{\text{вим}} = 0,0035 \text{ мм}$; $C = 0,001 \text{ мм}$; $a = 1 \text{ мм}$; $B = 1 \text{ мм}$; $P_{\text{зус}} = 200 \text{ сН}$; $\Delta P_{\text{зус}} = 70 \text{ сН}$.

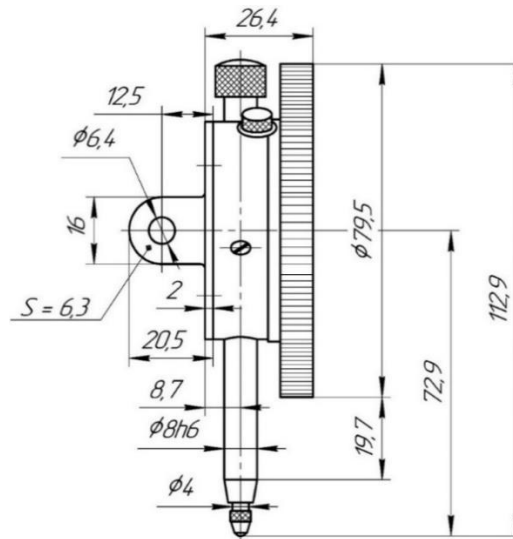


Рисунок 2.14 – Мікроіндикатор ТЕЗА № 10801, модель Ø80

Для контролю допуску перпендикулярності – індикатор бокової дії [21], відчутно-важільний прибор ТЕЗА ТАСТ (див. рис. 2.15), виконання «Латераль», № 18.10013 DIN2270, який має наступну характеристику:

$\Delta_{\text{вим}} = 0,0035 \text{ мм}$; $C = 0,002 \text{ мм}$; $a = 1,3 \text{ мм}$;
 $B = 0,2 \text{ мм}$; $P_{\text{зус}} = 100 \text{ сН}$; $\Delta P_{\text{зус}} = 20 \text{ сН}$.

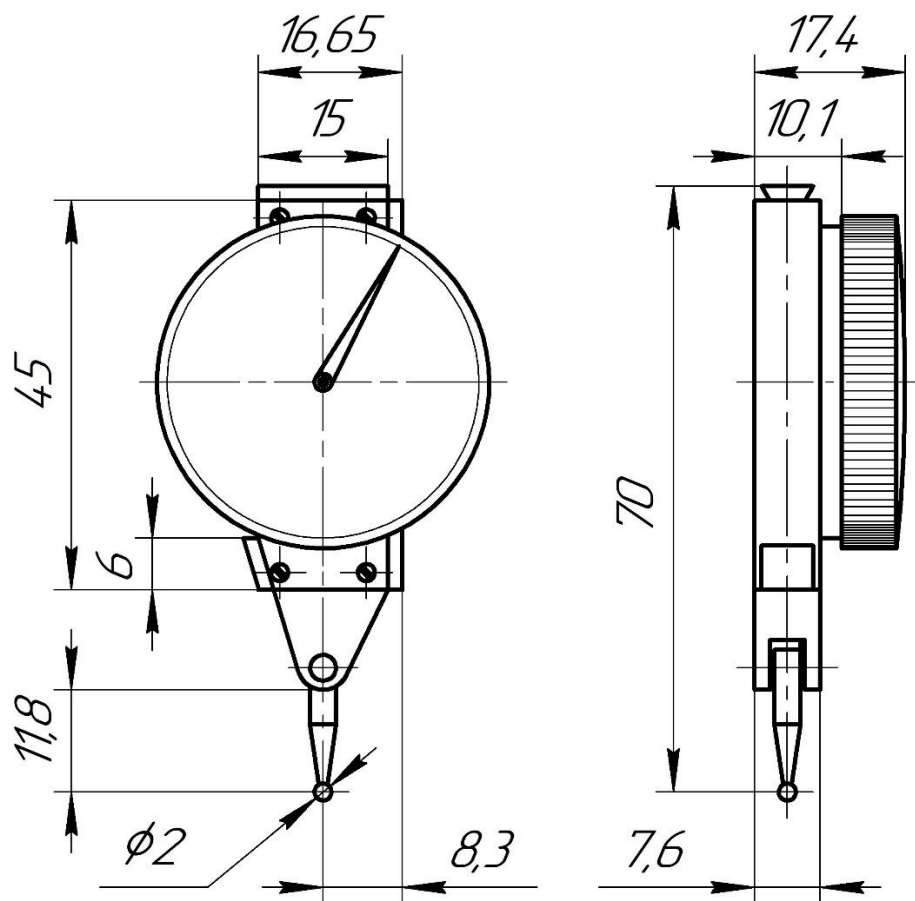


Рисунок 2.15 – Відчутно-важільний прибор ТЕЗА ТАСТ, виконання «Латераль», № 18.10013 DIN2270

2.10.2 Розрахунок похибки вимірювання.

Фактична сумарна похибка вимірювання визначається за формулою:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{\Delta_{зв}^2 + \varepsilon_y^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{вз}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{п}^2},$$

де $\Delta_{зв}$ – похибка засобу вимірювання; для контролю радіального биття $\Delta_{зв} = 0,0035$ мм; для контролю допуску перпендикулярності $\Delta_{зв} = 0,002$ мм;

$\varepsilon_y = 0$ – похибка установки. У нашому випадку $\varepsilon_6 = 0$; $\varepsilon_3 = 0$; $\varepsilon_{пр} = 0$, тому точність КВП не впливає на параметри, що контролюються;

$\Delta_e = 0$ – похибка еталона (налагоджування виконується без еталона);

$\Delta_{вз}$ – похибка вимірюваного зусилля, яка визначається по формулою Герца

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\text{вз}}^2}{r}},$$

де K – коефіцієнт, який залежить від матеріалу наконечника (для наконечників із твердого сплаву $K = 0,81$);

$P_{\text{вз}}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус наконечника, мм.

Для радіального биття

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{2^2}{5}} = 0,32 \text{ мкм.}$$

Для допуску перпендикулярності

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1^2}{2}} = 0,28 \text{ мкм.}$$

$\Delta_t = 0$ – температурна похибка (вимірювання розмірів деталі не впливає на параметри що контролюються);

$\Delta_{\text{п}} = 0$ – похибка передавальних механізмів (в контрольно-вимірювальному пристрої вони відсутні).

Тоді

- для контролю допуску радіального биття

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{3,5^2 + 0^2 + 0^2 + 0,32^2 + 0^2 + 0^2} = 3,52 \text{ мкм};$$

- для контролю допуску перпендикулярності

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{2^2 + 0^2 + 0^2 + 0,28^2 + 0^2 + 0^2} = 2,02 \text{ мкм.}$$

Фактична сумарна похибка вимірювання Δ_{ϕ} менше допустимої сумарної похибки вимірювання $|\Delta_{\text{вим}}| = 0,005$ мм, тому потрібна умова точності пристрою виконується.

2.10.3 Принцип роботи КВП.

Для вимірювання (дивись додаток Е) шток установлюється на дві призми 3 і упирається в центр 5, який розташований уздовж осі деталі. Співвісність деталі

і центру забезпечується тим, що центр регулюється по висоті осі призм. Це дає змогу компенсувати похибку базування штока в призмах.

Спочатку вимірюється радіальне биття поверхні діаметром $\varnothing 24h9$ відносно діаметра $\varnothing 50f9$. Стояк з магнітом 1 встановлюється на плиту 2 біля вимірювальної поверхні і фіксується магнітними силами. Мікроіндикатор 18 вводить в контакт з поверхнею деталі і встановлюється у вихідне положення стрілкою індикатора на «0». Потім деталь рукою обертають навколо її осі (виконують один або два оберти), а на циферблаті візуально фіксують мінімальне та максимальне відхилення стрілки індикатора. Отримане значення індикатора порівнюють із значенням креслення і роблять висновок о придатності деталі за цією технічною вимогою.

Далі вимірюється допуск перпендикулярності торця $\varnothing 24h9/\varnothing 50f9$ відносно діаметра $\varnothing 50f9$. Затискач 9 розкріплює оправку 8 з індикаторами 18 та 19 і їх разом підіймають на 10-12 мм уздовж стояка 1. Далі їх обертають навколо своєї осі на кут 180° і встановлюють наконечник індикатора 19 на торцеву поверхню $\varnothing 24h9/\varnothing 50f9$. Потім деталь обертають на один або два оберти навколо своєї осі і виконують вимірювання допуску перпендикулярності. Після закінчення всіх вимірювань стояк з магнітом 1 розкріплюють (видаляють магнітне силове поле), переміщують від деталі у вільне місце на плиті 2, а вимірювальна деталь знімається із пристрою.

2.11 Висновок

1) Складений раціональний маршрут технологічного процесу виготовлення штока із удосконаленням окремих операцій.

2) За результатом техніко-економічного обґрунтування запропонованих способів виготовлення вихідної заготовки вибраний круглий прокат.

3) Із використанням розробленої програми «*rgip. ver. 7*» на ЕОМ розраховані припуски і операційні розміри заготовки для обробки діаметрального розміру $50f9$ мм.

4) Для лінійних розмірів штока виконаний аналіз і розраховані припуски і допуски із використанням методики «Теорія графів».

5) Для операції 015 «Токарна з ЧПК» та операції 030 «Вертикально-фрезерна» визначені оптимальні схеми базування і закріплення заготовок, запропоновані сучасні моделі верстатів, технологічне оснащення, різальний і вимірювальний інструменти.

6) Для наведених операцій розрахунково-аналітичним методом розраховані режими різання і технічні норми часу.

7) Для вимірювання допуску перпендикулярності та радіального биття поверхонь штока в межах 0,02 мм розроблений спеціальний контрольно-вимірювальний пристрій.

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЇ ЗОВНІШНЬОГО ХОНІНГУВАННЯ ХРОМОВАНОЇ ПОВЕРХНІ

3.1 Схема процесу зовнішнього хонінгування

Особливістю схеми зовнішнього хонінгування є рівномірний розподіл брусків хонінгувальної головки за довжиною кола, що дозволяє врівноважити тиск брусків на поверхню заготовки [1, 17, 18, 19, 20, 21]. Радіальні сили взаємно врівноважуються і не викликають вигин оброблювальної заготовки. За такою схемою можна видаляти підвищений припуск і виправляти вихідну похибку форми поверхні у поперечному перетині (овальність, огранювання) та у повздовжньому перетині (конусоподібність, хвилястість). Схема рухів хонінгувальної головки і штока наведена на рисунку 3.1.

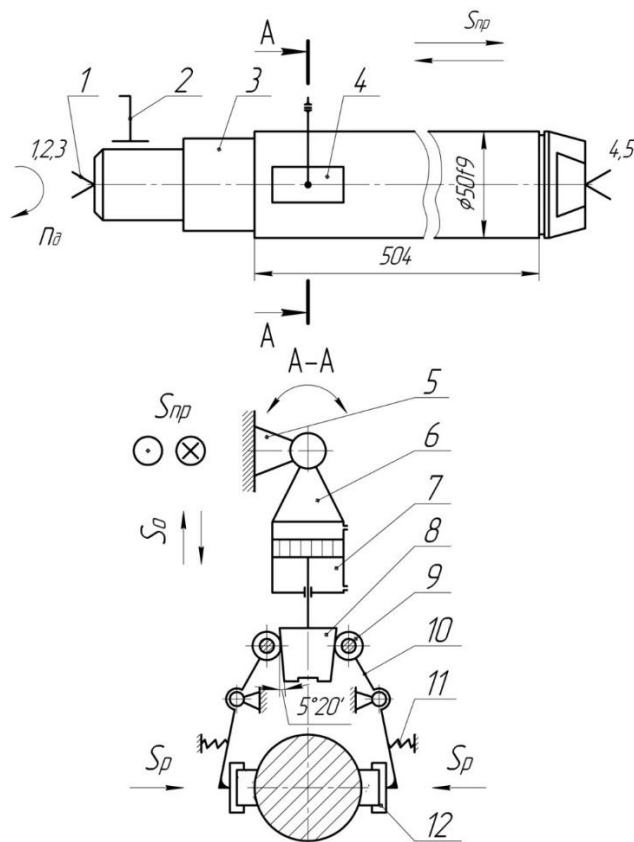


Рисунок 3.1 – Схема зовнішнього хонінгування

Хонінгувальна головка з'єднана з кареткою суперфінішного верстата кронштейном 5 і виконує зворотно-поступальний рух $S_{пр}$ уздовж осі обертання деталі 3 [37]. Одночасно бруски 4, які розташовані у держаках 12 на нижніх кінцівках важелів 10 зсуваються, що забезпечує постійне знімання припуску. Зсув брусків (радіальна подача S_p) забезпечується спеціальним механізмом, розташованим в корпусі хонінгувальної головки. Механізм радіальної подачі складається із корпусу 6 і розташованого у ньому гідравлічного циліндра 7. Рухомий шток-поршень циліндра жорстко з'єднаний з клином 8. Конструкція клину має вигляд зрізаного конуса із кутом $\alpha=5^{\circ}20'$, на якому розташовуються обертальні ролики 9 з'єднаних із верхніми кінцівками важелів 10. Каретка суперфінішного верстата має зворотно-поступальний рух вертикальної подачі S_o , а шарнірне з'єднання хонінгувальної головки із кронштейном дозволяє вільно встановлюватися брускам на поверхні заготовки.

Кінематика рухів хонінгувальної головки і деталі оставляють сітку слідів (рисок) у вигляді гвинтових ліній, що перетинаються [30, 31]. На рисунку 3.2 наведена розгорнута сітка слідів, що розташована на поверхні деталі.

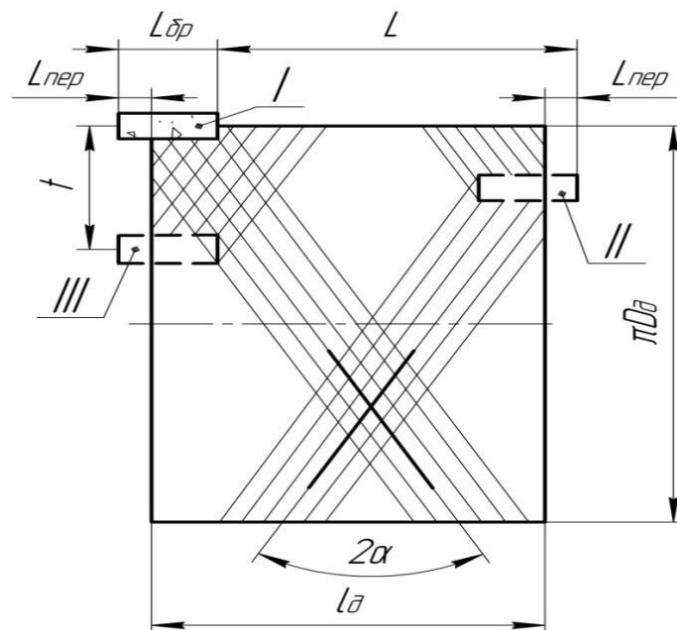


Рисунок 3.2 – Сітка слідів обробки на поверхні деталі (розгортка):

2α – кут перетинання слідів обробки

Цифрами I, II, III зазначені місця знаходження бруска за один подвійний рух хонінгувальної головки: рух зліва на право і наліво у кінці першого подвійного руху. Якщо кількість обертів не є кратним кількості подвійних рухів головки, то брусок зміщується за колом деталі у кінці кожного подвійного руху на величину t відносно його розташування на початку руху [30]. Наведений рух дозволяє різальним зернам брусків не повторювати шлях який призводить до зниженню шорсткості обробленої поверхні. Змінювання напрямку руху брусків змінює напрямок зусиль різання, що діють на різальні зерна і поліпшують процес встановлення різальної спроможності брусків.

3.2 Механізм явищ, які виникають у зоні контакту хонінгувальних брусків та оброблювальної поверхні деталі

На вибір характеристик абразивних і алмазних брусків, режиму обробки, складу ЗОР суттєво впливає циклічний характер змінювання різальної спроможності хонінгувального інструмента. Дослідженнями наведеними у джерелах [19, 20, 23] встановлено, що обробка кожної деталі супроводжується різною величиною зносу брусків і видаленням шару метала. Розглянемо механізм явищ, який виникає при обробки поверхонь хонінгувальними брусками [21, 22].

В циклі хонінгування можна умовно виділити три етапи.

На першому етапі циклу діють великі локальні тиски, що призводить до прориванню значної частини різальних алмазних зерен «вихідного мономолекулярного шару» змащення, який розташований на поверхні металу. Це призводить до миттєвим контактам ювенільної поверхні металу і зернин бруска, збільшує тангенціальну складову сили хонінгування. Коефіцієнт тертя при контакті ювенільних поверхонь у кілька разів вищий, ніж при їх контакті через буферний шар змащування [18]. Через значний тиск на окремому зерні, що перевищує межу пластичності матеріалу, з'являються мостики зварювання, які збільшують тангенціальну складову сили хонінгування [19]. За такими

умовами відбувається найбільш інтенсивне зношування брусків. Додатково зношування збільшується безпосередньо механічним зчіплюванням частиною виступаючих зерен бруска із вершинами шорсткості поверхні деталі.

На другому етапі циклу процес хонінгування стабілізується. Після 15–30 с обробки шорсткість і похибка форми суттєво зменшуються. В обробки знаходиться значна більшість алмазних зерен бруска, а кількість зерен, які контактують із ювенільною поверхнею металу, значно зменшилось [17, 21, 22]. Це призводить до зниженню тиску на зерна та тангенціальну складову силу хонінгування, що у порівнянні із першим циклом, зменшує знімання металу і знос брусків.

На останньому, третьому етапі, шорсткість поверхні незначно зменшується. Знімання металу мінімальне і його інтенсивність практично не змінюється у часі. На цьому етапі знижується шорсткість поверхні за рахунок пластичних деформацій і незначних хіміко-механічних та адгезійних явищ [18, 21]. В зоні обробки граничний шар перешкоджає безпосередньому контакту зерен із металом. Підтвердження характеру процесів, які відбуваються у зоні контакту, наведено в джерелах [18, 19, 22].

На знімання металу хонінгуванням значно впливає застосування ЗОР [25, 26]. Видалення металу при обробки заготовок із застосуванням охолодженого гасу у три рази більше, ніж без охолодження, а знос зерен інструмента збільшився у два рази. Це пояснюється підвищеним контактом ювенільних поверхонь і «адгезійним схоплюванням» [15, 16].

Установлено [17, 25], що ЗОР при алмазному і абразивному хонінгуванні спричиняє перерозподіл витрат енергії. За подачею ЗОР на основі гасу значна частина енергії витрачається на знімання металу, але кількість зерен, що знаходяться у контакті із ювенільною поверхнею, дуже мала і різання виконується через буферний шар змащення.

Хонінгування без охолодження значно підвищує долю енергії, яка витрачається на руйнування брусків, пластичне деформування металу і роздроблювання зерен, що викришилися і знаходяться між брусками і деталлю.

В цьому випадку виникає контакт ювенільних поверхонь, що спричиняє адгезію схоплювання алмазних і абразивних зерен із металом. Міцний адгезійний зв'язок і великий коефіцієнт тертя разом із тангенціальним рухом брусків, призводить до крихкого руйнування зерен абразиву, тоді як крихка міцність абразивних і алмазних зерен невелика [18, 20, 21].

Визначальний вплив на перерозподіл витрат енергії спричиняє адсорбційне зниження міцності поверхні, яка знаходиться під дією поверхнево-активних речовин (ПАР) ЗОР [1, 12, 13, 14]. виявлений ефект складається із зменшенням витрат вільної енергії та витрат енергії на утворення нових поверхонь у разі присутності ПАР. Ефект був сформульований П. А. Ребіндером ще у 1928 році.

Основним видом ЗОР, що застосовується для хонінгування і суперфінішування, є гас, якому важко знайти заміну. Відомо [1, 22], що гас має парафінові вуглеводні від $C_{11}H_{24}$ до $C_{15}H_{32}$. Дуже важливо, що гас має від 0,2 до 3% нафтових кислот із кількістю вуглеводних атомів 13–15 і більше. Нафтові кислоти мають до 7,5% жирних кислот, до яких входить і олеїнова кислота. Наведені кислоти є ефективними ПАР і вони суттєво впливають на процес різання [11, 12].

Друга причина великої ефективності гасу є механічна деструкція вуглеводних ланок із утворенням радикалів, які активно взаємодіють із ювенільною поверхнею металу.

За останній час значна увага приділяється хемосорбційній взаємодії ювенільної поверхні металу і органічних ПАР. В роботі [14] доведено, що хемосорбція може бути однією із причин ефективної дії олеїнової кислоти.

Дослідження впливу в'язки хонінгувального бруска на його різальну спроможність наведено в джерелах [18, 19, 20]. Установлено, що тільки на початку хонінгування в'язка контактує із металом деталі. Цей контакт відбувається в окремих крапках, де зустрічається висока шорсткість поверхні і в'язка хонінгувального бруска. Із зменшенням шорсткості поверхні безпосередній контакт в'язки і металу стає неможливим. Зношення в'язки

відбувається за її контактом із шламом, який має металеву стружку і уламки зерен (див. рис. 3.3).

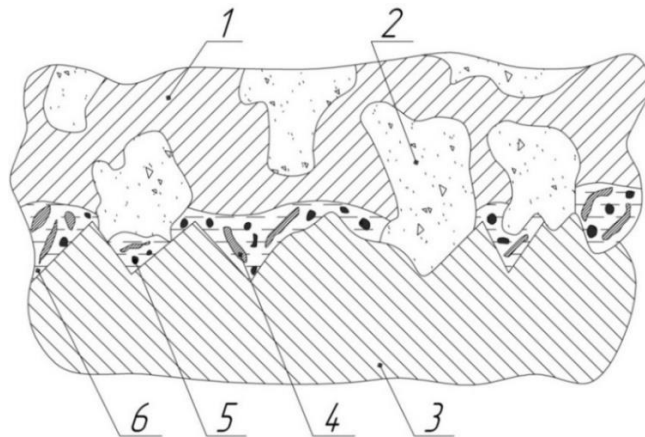


Рисунок 3.3 – Схема зносу в'язки хонінгувального бруска:

1 – в'язка хонінгувального бруска, 2 – алмазні зерна, 3 – оброблювальна деталь,
4 – металева стружка, 5 – уламки алмазних зерен, 6 – ЗОР

Металева стружка і уламки алмазу мають твердість у декілька разів більше, ніж в'язка. Їх дія при обробки хонінгуванням подібна дії вільного абразиву при притиранні. Не видалений із зони різання шлам зменшує різальну спроможність брусків, тому що енергія витрачається на дробіння часток шламу і зношення алмазу хонінгувальних брусків [1, 11, 18].

Таким чином, збільшення швидкості прокачування ЗОР поліпшує умови хонінгування, тому що очищується зона контакту бруска і деталі від шламу. Стає зрозумілим підвищення швидкості знімання металу у разі накладання додаткових вібрацій (особливо радіальних) на хонінгувальні бруски.

3.3 Вплив робочих циклів радіальної подачі брусків на точність та продуктивність

Відомо, що питомий тиск визначається відношенням радіальної сили притиснення брусків до оброблювальної поверхні до площини робочої частини бруска [28, 30]. Із підвищенням питомого тиску різальні зерна брусків глибше укорінюються в метал, що збільшує знімання металу. Одночасно підвищується

самозаточування і знос брусків, погіршується шорсткість оброблювальної поверхні. Якщо знос брусків більший, ніж знімання металу, то питома працездатність процесу хонінгування зменшується і вона стає не економічною. Крім того, потрібно враховувати, що укорінювання різальних зерен в оброблювальну поверхню обмежується висотою виступів зерен над в'язкою і вільним простором між зернами для розташування стружки.

Таким чином, питомий тиск безпосередньо впливає на працездатність процесу, шорсткість, точність розмірів і форми оброблювальної поверхні. Змінювання питомого тиску за час хонінгування деталі реалізується циклом роботи радіальної подачі брусків. Робочий цикл радіальної подачі брусків складається із етапів: підведення брусків до оброблювальної поверхні, врізання, хонінгування із зниженим тиском, хонінгування із робочим тиском, хонінгування із зниженим тиском (виходжування) і відведення (розтиснення) брусків [30]. Змінювання радіального тиску брусків на оброблювальну поверхню за час обробки деталі зображується у вигляді графіка робочого циклу системи радіальної подачі.

За рекомендаціями літературних джерел [30-33] для обробки не загартованої сталі 40ХН визначений найбільш раціональний тип робочого циклу системи радіальної подачі брусків. На рисунку 3.4 наведений графік робочого циклу – радіальна подача брусків за тиском із «виходжуванням» в кінці хонінгування.

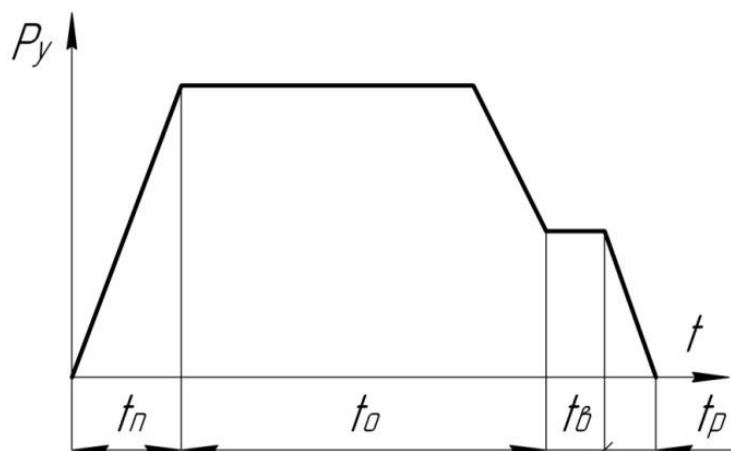


Рисунок 3.4 – Графік робочого циклу: t_n – час підведення брусків; t_o – час основного хонінгування; t_b – час «виходжування»; t_p – час розтиснення брусків

Наведений робочий цикл рекомендується для одноразового хонінгування не жорстких чавунних і сталевих деталей, незагартованих сталей, алюмінієвих сплавів і в'язких матеріалів із вихідною похибкою форми в поперечному перетині 0,07–0,08 мм. Цей робочий цикл застосовують для жорстких деталей із вихідною похибкою форми 0,04–0,05 мм і шорсткістю $R_a = 3,2$ мкм. Для хонінгування незагартованих сталей шорсткість становить $R_a = 1,25–0,63$ мкм.

Таким чином, для обробки штока на операції 045 «Хонінгувальна» доцільно застосувати робочий цикл (див. рис. 3.4), який дозволить забезпечити потрібне радіальне зусилля брусків на оброблювальну поверхню і зменшити похибку форми, шорсткість поверхні при виконанні операції, а також забезпечити потрібну якість поверхні для виконання наступної операції 050 «Отримання покриттів».

3.4 Вибір оптимальних режимів обробки деталей зовнішнім хонінгуванням

Вибір режиму обробки і його коригування є однією із основних завдань розроблення і налагодження операції хонінгування. До основних параметрів режиму хонінгування відносять колову швидкість деталі V_d , швидкість зворотно-поступального руху головки $V_{вп}$, співвідношення між названими швидкостями, радіальна подача брусків S_p і ЗОР [30, 31].

Швидкості обертання деталі і рух хонінгувальної головки визначаються за формулами:

$$V_d = \frac{\pi D_d n_d}{1000}; \quad (3.1)$$

$$V_{вп} = \frac{2Ln_{\Gamma}}{1000}, \quad (3.2)$$

де D_d – діаметр хонінгувальної поверхні, мм;

n_d – частота обертання деталі, об/хв;

L – довжина робочого руху хонінгувальної головки, мм;

n_r – кількість подвійних ходів хонінгувальної головки, подв. ход/хв.

Довжина робочого руху хонінгувальної головки визначиться за формулою:

$$L = l_d + 2l_{\text{пер}} - l_b, \quad (3.3)$$

де l_d – довжина хонінгуємої поверхні, мм;

$l_{\text{пер}}$ – перебіг бруска за межі хонінгуємої поверхні, мм;

l_b – довжина бруска, мм.

Співвідношення між швидкостями V_d і $V_{\text{вп}}$ визначає кут схрещення траєкторій руху різальних зерен на оброблювальній поверхні і є безрозмірною величиною

$$\lambda = \frac{V_d}{V_{\text{вп}}}. \quad (3.4)$$

Радіальна подача брусків визначається радіальним питомим тиском p_0 (МПа), який виникає затисненням брусків до обробленої поверхні під дією сили, яка здійснюється гідро-механічною системою інструментальної головки або радіальним переміщенням брусків S_p (мкм за подвійний рух) жорсткої системи радіальної подачі.

Оптимальним є режим, який забезпечує потрібну точність розміру, шорсткості поверхні, ефективно виправлення похибок форми поверхні деталі.

Хонінгування поверхні діаметром 50f9 та довжиною 504 мм виконується на однієї операції і складається із двох переходів. Перший перехід передбачає знімання припуску і забезпечення потрібної точності розміру та форми поверхні. На другому переході призначають припуск із розрахунку, щоб знімання металу виконувалася в межах мікронерівності, яка залишилась після першого переходу. Після виконання операції повинна бути забезпечена потрібна шорсткість поверхні (див. табл. 3.1).

Швидкість за колом і швидкість зворотно-поступального руху хонінгувальної головки потрібно вибирати залежно від потрібної продуктивності, якості і економічності обробки.

Виходячи із впливу колової швидкості на основні показники процесу хонінгування, обробку виконують із підвищеною коловою швидкістю на передчасному і остаточному переходах. Максимальна швидкість обмежується підвищеним зносом і «засалюванням» брусків, нагріванням деталі та кінематичними можливостями верстата.

Таблиця 3.1 – Рекомендований припуск для хонінгування [5, 6]

Рекомендована побудова операції хонінгування	Квалітет точності	Шорсткість поверхні, R_a , мкм	Знімання припуску на діаметр, мм	Поділлка загального припуску за переходами, %
передчасне	6-7	1,25-0,63	0,05-0,08	70-80
остаточне	5-6	0,32-0,08	-	20-30

На вибір швидкості зворотно-поступального руху хонінгувальної головки впливає співвідношення швидкостей λ [26, 27, 29]. Збільшення кута λ погіршують відведення стружки, що призводить до «засалювання» брусків. Найкращі умови дроблення і відведення стружки із зони різання досягаються при $\lambda=1$. Але із урахуванням плавної роботи верстата швидкість зворотно-поступального руху обмежується і співвідношення швидкостей приймають $\lambda>1$.

Рекомендовані швидкості V_d і $V_{вп}$ для абразивного і алмазного хонінгування наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Швидкості для абразивного і алмазного хонінгування [6]

Абразивне хонінгування					
Оброблювальний матеріал	V_d , м/хв	Передчасне хонінгування		Остаточне хонінгування	
		$V_{вп}$, м/хв	λ	$V_{вп}$, м/хв	λ
Сталь незагартована	45-60	15-20	1,5-2,5	9-12	2,5-4
Алмазне хонінгування					
Оброблювальний матеріал	Передчасне хонінгування		Остаточне хонінгування		
	V_d , м/хв	$V_{вп}$, м/хв	V_d , м/хв	$V_{вп}$, м/хв	
Сталь незагартована	30-40	8-12	25-40	5-8	

Питомий тиск визначається відношенням радіальної сили притискання брусків до оброблювальної поверхні та площини робочої частини брусків. Із

збільшенням питомого тиску різальні зерна брусків глибше упроваджуються в метал і збільшують його видалення. Одночасно посилюється самозаточування і знос брусків, погіршується шорсткість поверхні. Якщо знос брусків здійснюється швидше ніж видалення металу, то питома продуктивність процесу хонінгування зменшується. Такий режим хонінгування перестає бути економічним.

Для швидкого видалення похибки форми поверхні треба зменшити відношення твердості брусків до питомого тиску. Одночасно потрібно підтримувати підвищену різальну спроможність абразивних брусків. Знижений питомий тиск рекомендується застосовувати у разі великих вихідних похибок форми, наприклад, для хонінгування поверхонь великої довжини.

Рекомендації для вибору питомих тисків брусків абразивного і алмазного хонінгування наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Питомі тиски абразивного і алмазного хонінгування [6]

Оброблювальний матеріал – сталь незагартована	Питомий тиск (абразивними брусками), кг/см ²	
	Передчасне хонінгування	Остаточне хонінгування
	5–8	2–5
	Питомий тиск (алмазними брусками), кг/см ²	
	Передчасне хонінгування	Остаточне хонінгування
	4–8	2–5

При використуванні даних таблиці 3.3 треба враховувати вид в'язки брусків. Бруски, які мають керамічну в'язку, питомий тиск не повинен перевищувати 8 кгс/см². Бруски на бакелітовій в'язці допускають роботу із тисками 12–15 кгс/см² [26, 27].

Процес хонінгування здійснюється за великою подачею ЗОР. Для обробки матеріалу штоку передчасним і остаточним хонінгуванням застосовують гас із добавленням 10–20% мастила «Індустріальне 12».

3.5 Розробка схеми обробки абразивними брусками для виправлення похибки геометричної форми циліндричної поверхні.

Розглянемо спроможність виправлення похибки геометричної форми поверхні при різних схемах обробки абразивними брусками [38]. Уявимо, що повздовжній перетин циліндричної поверхні є реалізацією випадкової функції, яка складається із різних гармонік із випадковими амплітудами і фазами. Поточний радіус $r(\varphi)$ обробленої поверхні можна уявити у вигляді часткової суми тригонометричного ряду Фур'є:

$$r(\varphi) = r_o + \sum_{k=1}^{C_H} A_k \cdot \cos(k\varphi + \psi_k), \quad (3.5)$$

де r_o – середній радіус обробленої поверхні;

A_k – випадкова амплітуда нерівності k – ї гармоніки;

C_H – мінімальна частота гармоніки у повздовжньому перетині обробленої поверхні разом із мікронерівностями.

Вираження (3.5) є стаціонарною випадковою функцією, що реалізує випадковий перетин обробленої поверхні. У джерелі [38] кореляційна функція і дисперсія функції (3.5) має вигляд:

$$K(\varphi_1 \varphi_2) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{C_H} (A_{ok}^2 + \sigma_{ok}^2) \cos k(\varphi_2 - \varphi_1);$$
$$\sigma^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{C_H} (A_{ok}^2 + \sigma_{ok}^2), \quad (3.6)$$

де A_{ok}^2, σ_{ok}^2 – відповідно математичне очікування і дисперсія амплітуд нерівностей k – ї гармоніки.

Звичайно, похибки геометричної форми поверхні (овальність, ексцентриситет) відповідають одно параметричному закону Релея, а розподіл випадкових фаз φ_k гармонік підпадає до закону рівної імовірності [38, 40]. Тоді дисперсія (3.6) випадкової функції (3.5) буде дорівнювати:

$$\sigma^2 = 0,64 \sum_{k=1}^{C_H} A_{ok}^2. \quad (3.7)$$

При обробки брусок має контакт із виробом діаметром $D_{\text{в}}$ і довжиною L . Характер виправлення похибок геометричної форми залежить від кроку нерівності, який складає ці похибки. Нерівності, які утворюють гармоніки із кроком

$$l_k = \frac{\pi D_{\text{в}}}{k} \leq L, \quad (3.8)$$

мають контакт із робочою поверхнею бруска тільки своїми вершинами. Тому, ці нерівності будуть усуватися незалежно від того, чи притискується брусок до поверхні із постійною силою або переміщується із постійною швидкістю. Якщо брусок притискується із постійною силою, то нерівності, що утворені гармоніками і відповідають нерівності (3.8), будуть рівномірно видалятися із всієї поверхні. Розподіл нерівностей із кроком меншим довжині бруска відповідає нормальному закону розподілу із дисперсією

$$\sigma_{(l_k < L)}^2 = 0,64 \sum_{k=\pi D_{\text{в}}/L}^{C_H} A_{ok}^2. \quad (3.9)$$

У такому випадку, опорна поверхня профілю, яка складається цими нерівностями, буде дорівнювати:

$$\eta = \frac{1}{\sigma_{(l_k \leq L)} \sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{r-r_0}{2\sigma(l \leq L)}} dr, \quad (3.10)$$

де x – відстань від середньої лінії профілю мікронерівностей, які утворені гармоніками із кроком $l_k \leq L$.

При обробки із постійною силою притиснення бруска до виробу через пружні кінематичні ланки, гармоніки нерівності із кроком

$$l_k = \frac{\pi D_{\text{в}}}{k} > L \quad (3.11)$$

не видаляються, тому що тиск бруска на виступах і у западинах нерівності відбувається постійно.

Усунення вихідної нерівності геометричної форми виробу із кроком більшим довжини контакту бруска із виробом (3.11) є можливим, якщо брусок діє на оброблювальну поверхню із постійною силою через жорсткі, самостійно гальмуючими кінематичними ланками. Останній варіант є кращим, за рахунок зменшення часу на підведення інструменту до виробу. Тому, розглянемо цю схему обробки.

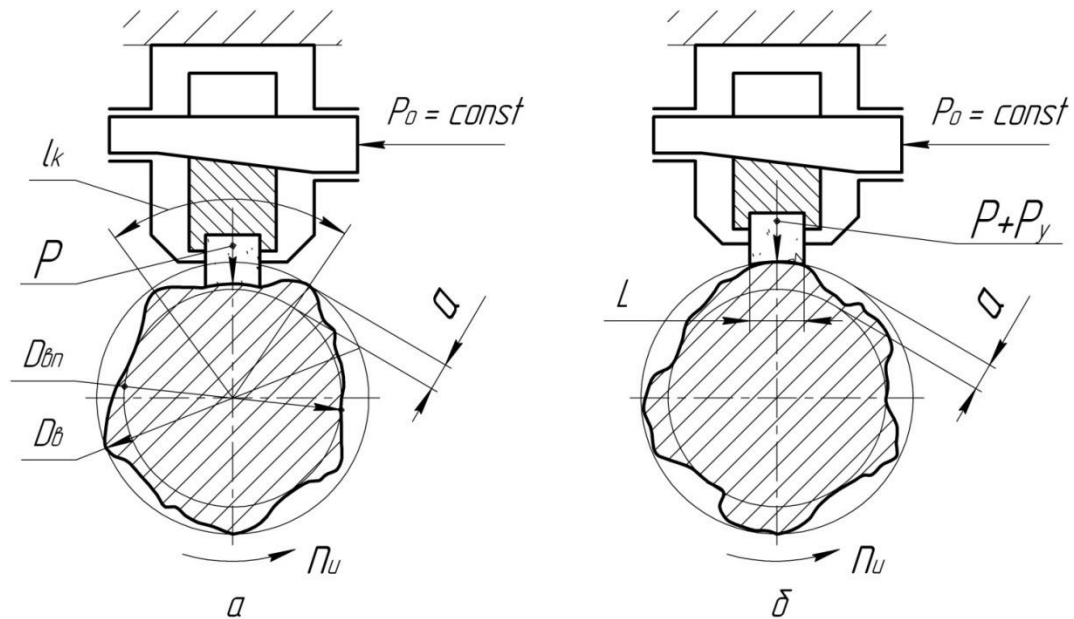


Рисунок 3.5 – Схема обробки абразивними брусками, які притиснуті до виробу жорсткими самостійно гальмуючими кінематичними ланками

Коли брусок знаходиться в западинах нерівності (див. рис. 3.5, а), на нього діє сила P , яка передається від жорстких самостійно гальмуючими кінематичними ланками, наприклад, клинових. Якщо брусок знаходиться на виступах нерівності із амплітудою a (див. рис. 3.5, б), то на нього, окрім сили P , діє сила пружності P_y . Таким чином, результуюча сила P_p дорівнює:

$$P_p = P + P_y, \quad (3.12)$$

Пружна деформація технологічної системи (ТС) під дією сили P_y

$$y = \frac{P_p}{I_c}, \quad (3.13)$$

де I_c – жорсткість ТС

Позначимо

$$I_{Pj} = \frac{P_p}{g_i}, \quad (3.14)$$

де g_i – величина знімання металу на j -му оберті виробу. В джерелах [1, 4] величину I_{Pj} іноді називають жорсткістю різання. Прийmemo цей термін.

Із рівнянь (3.13), (3.14) знаходимо:

$$g_j = y_j \frac{I_c}{I_{Pj}}. \quad (3.15)$$

Позначимо діаметр обробленої поверхні за лінією виступів на $(j - 1)$ – му оберті виробу $D_{B(j-1)}$, а на j – му оберті D_{Bj} , діаметр обробленої поверхні за лінією западин на $(j - 1)$ – му оберті виробу $D_{BP(j-1)}$, а на j – му оберті відповідно D_{BPj} (див. рис. 3.5). Тоді

$$\begin{aligned} D_{Bj} &= D_{B(j-1)} - 2g_{Bj}; \\ D_{BPj} &= D_{BP(j-1)} - 2g_{BPj}, \end{aligned} \quad (3.16)$$

де g_{Bj} , g_{BPj} – величина знімання металу одним бруском на j – му оберті виробу відповідно на виступах і западинах нерівностей.

Враховуючи вирази (3.15) і (3.16) та після перетворень, одержимо

$$D_{Bj} - D_{BPj} = \frac{D_{B(j-1)} - D_{BP(j-1)}}{1 + \frac{I_c}{I_{Pj}}}. \quad (3.17)$$

Якщо

$$a_j = \frac{1}{2}(D_{Bj} - D_{BPj}); \quad a_{j-1} = \frac{1}{2}(D_{B(j-1)} - D_{BP(j-1)}),$$

то із виразу (3.17) випливає

$$a_j = a_{(j-1)} / \left(1 + \frac{I_c}{I_{Pj}}\right),$$

де a_j , a_{j-1} – амплітуди нерівностей обробленої поверхні відповідно на j – му і $j - 1$ – обертах виробу.

В кінці обробки після t обертів виробу, амплітуда нерівностей буде дорівнювати:

$$a_m = a_{\text{и}} \prod_{j=1}^m \left(\frac{1}{1 + \frac{I_c}{I_{P_j}}} \right), \quad (3.18)$$

де $a_{\text{и}}$ – вихідна амплітуда нерівностей.

Із виразу (3.18) випливає, що виправлення вихідної похибки геометричної форми обробленої поверхні виробу буде більш інтенсивною, якщо вище жорсткість ТС і нижче жорсткість різання. Для практичного використання виразу (3.18), його треба логарифмувати:

$$\ln a_m = \ln a_{\text{и}} - \sum_{j=1}^m \ln \left(1 + \frac{I_c}{I_{P_j}} \right). \quad (3.19)$$

Із джерела [4] можна прийняти залежність жорсткості різання від порядкового номеру оберту виробу j :

$$I_{P_j} = E j^c, \quad (3.20)$$

де E – коефіцієнт, прямо пропорційний жорсткості різання;

$$c \approx 2/3.$$

Враховуючи рівняння (3.20), перетворимо вираз (3.19):

$$\ln a_m = \ln a_{\text{и}} - \sum_{j=1}^m \ln \left(1 + \frac{I_c}{E j^c} \right). \quad (3.21)$$

При обробки бруском жорсткість різання на порядок перевищують жорсткість ТС. Тому, можна розкласти в ступеневий ряд логарифм у виразі (3.21) і обмежитись одним членом цього ряду:

$$\ln a_m = \ln a_{\text{и}} - \frac{I_c}{E} \sum_{j=1}^m j^{-c}. \quad (3.22)$$

При $m > 2,5$ із похибкою менше 10% від підсумовування в правій частині виразу (3.22) можна перейти до інтегрування:

$$\sum_{j=1}^m j^{-c} = 3(m^{1-c} - 1). \quad (3.23)$$

Підставимо вираз (3.23) у рівняння (3.22) і після перетворень при $c = 2/3$ будемо мати:

$$a_m = e^{-3(m^{1/3}-1)\frac{I_c}{E}}. \quad (3.24)$$

Величину амплітуди $a_{ин}$ вихідної нерівності обробленої поверхні виробу можна прийняти $a_{ин} = 6\sigma_{l_{k>L}}$, тоді із виразу (3.7)

$$a_{ин} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_{ин}/L} A_{ок}^2}. \quad (3.25)$$

Аналізом виразу (3.24) встановлено, що похибки форми при обробки зменшуються швидше, якщо більше жорсткість ТС і менше жорсткість різання, що обумовлено підвищеними різальними властивостями інструменту.

Жорсткість ТС залежить від жорсткості закріплення бруска $I_б$ і жорсткості держака $I_д$:

$$\frac{1}{I_c} = \frac{1}{I_{ин}} + \frac{1}{I_б} + \frac{1}{I_д}. \quad (3.26)$$

Таким чином, підвищити виправлення спроможності процесу абразивної обробки бруском можна або збільшенням жорсткості кінематичних ланок, або зменшенням їх кількості. Для зменшення кількості кінематичних ланок, що впливають на жорсткість ТС, можна використовувати схему із жорсткими кінематичними зв'язками брусків. Наприклад, якщо обробка виконується двома симетрично розташованими брусками, що зв'язані між собою жорсткими кінематичними ланками, то при обробки не парних гармонік нерівності (див. рис. 3.6, а) жорсткість ТС визначається виразом (3.26) і виправлення процесом цих гармонік збільшується пропорційне збільшенню кількості брусків:

$$a_m = a_{ин} e^{-\frac{6I_c}{E}(m^{1/3}-1)},$$

$$\text{де } a_{ин} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_{ин}/L} A_{0(2k-1)}^2}.$$

Для парних гармонік (див. рис. 3.6, б) жорсткість держака і закріплення виробу не впливають на пружні рухи ТС, тому

$$I_c = I_б,$$

а амплітуда цих гармонік після m обертів виробу буде дорівнювати:

$$a_m = a_{\text{ин}} e^{-\frac{6I_6}{E}(m^{1/3}-1)},$$

$$\text{де } a_{\text{ин}} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_n/L} A_{02k}^2}.$$

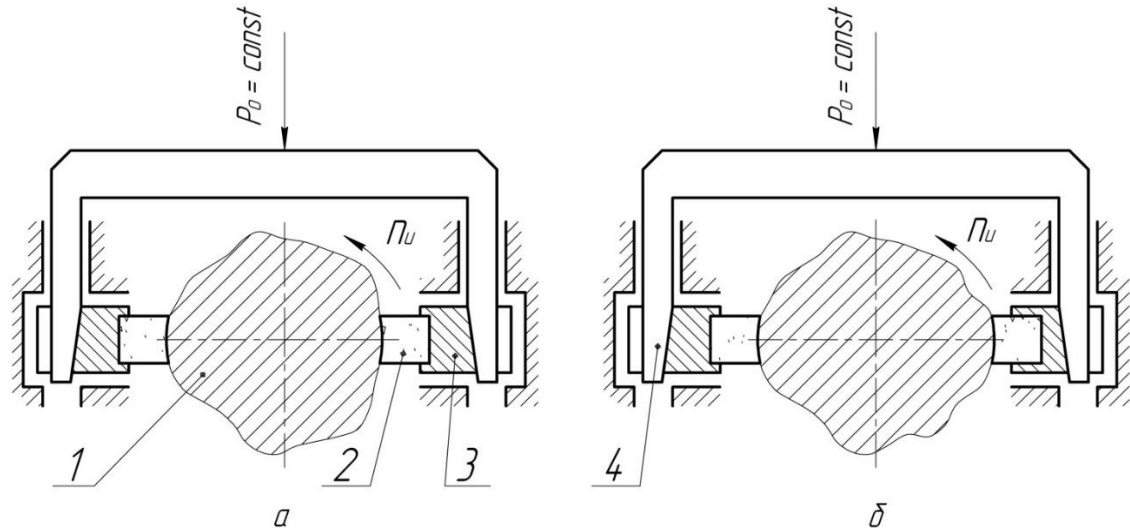


Рисунок 3.6 – Схема обробки брусками не парних (а) і парних (б) гармонік нерівності виробу: 1 – виріб; 2 – брусок; 3 – держак; 4 – механізм подачі

Самовільна кількість z_6 жорстко зв'язаних брусків, що використовуються при обробці навколо осі обертання виробу, інтенсивне видаляє гармоніки із частотою кратною найменшому загальному дільнику кількості брусків і номерів гармонік. Наприклад, для трьох брусків

$$a_m = a_{\text{изк}} e^{-\frac{9I_6}{E}(m^{1/3}-1)}, \quad (3.27)$$

$$\text{де } a_{\text{изк}} = 4,8 \sqrt{\sum_{k=1}^{\pi D_n/L} A_{03k}^2}.$$

Для гармонік не кратних трьом

$$a_m = a_{\text{н}} e^{-\frac{9I_6}{E}(m^{1/3}-1)}. \quad (3.28)$$

Подібно до того можна розрахувати похибки форми виробу після їх обробки будь-якою кількістю брусків.

За результатами виконаних досліджень найбільш раціональною схемою процесу обробки бруском є схема із жорстким кінематичним зв'язком між брусками та додатковим тиском брусків на виріб із заданою силою самостійно

гальмуючих ланок. Додатково треба використати можливість самостійного очищення брусків від стружки і шламу для забезпечення низької жорсткості різання. У цьому випадку досягається висока працездатність обробки і забезпечується висока точність форми поверхні.

3.6 Інструментальна головка для зовнішнього хонінгування

Інструментальна головка (див. рис. 3.7) складається із гідравлічного циліндра 8, на штоку якого закріплений клин 10 [39]. Шток 7 і поршень 6 виконані окремо, що забезпечує вільний рух штока 7 і не потребує виконання строгої співвісності між циліндром 8 і кришкою 9. Інструментальна головка з'єднана із кареткою механізму повздовжньої подачі шарніром (палець 11 вставлений у отвір щоки 13 і каретки).

У штокову порожнину циліндра через отвір 5 постійно поступає мастило. Виникає зусилля зворотного тиску, що тримає конус у стані, за яким абразивні бруски знаходяться відведеними від поверхні деталі (у не стисненому стані).

Коли мастило поступає у отвір 3, то золотник 2 підіймається до верху, відкривається (опускається) зворотний клапан 4 і через отвори, що розташовані на поверхні конусу, мастило поступає до торця поршня 6. Останній рухає конус 10 до низу і притискує бруски 15 до поверхні деталі. Тиск у без штокової порожнині циліндру постійний і за такою умовою місце знаходження клину не змінюється. Бруски постійно притиснуті до деталі і відбувається рівномірне знімання припуску.

Якщо шток має похибки форми поверхні (овальність або огранювання), то деталь своїми виступами нерівності віджимає бруски. Ролики 14, що знаходяться на важелях 12, будуть рухати конус до верху. Відбувається закриття зворотного клапана 4 і тиск мастила на поршень 6, клин 10 та абразивні бруски збільшується. Це призводить до збільшення знімання металу і виправленню геометричної похибки форми циліндричної поверхні.

Щоб розтиснути важелі 12 із брусками 15, треба підняти клин 10 до верху, а для цього перекрити отвір 3 і мастило подавати у отвір 1. У цьому випадку золотник 2 рухається до низу, натискає на зворотний клапан 4 і відчиняє його. Відбувається виливання мастила із без штокової порожнини циліндра у отвір 3. Поршень під дією зворотного тиску рухається до верху і одночасно переміщуються шток 7 та клин 10.

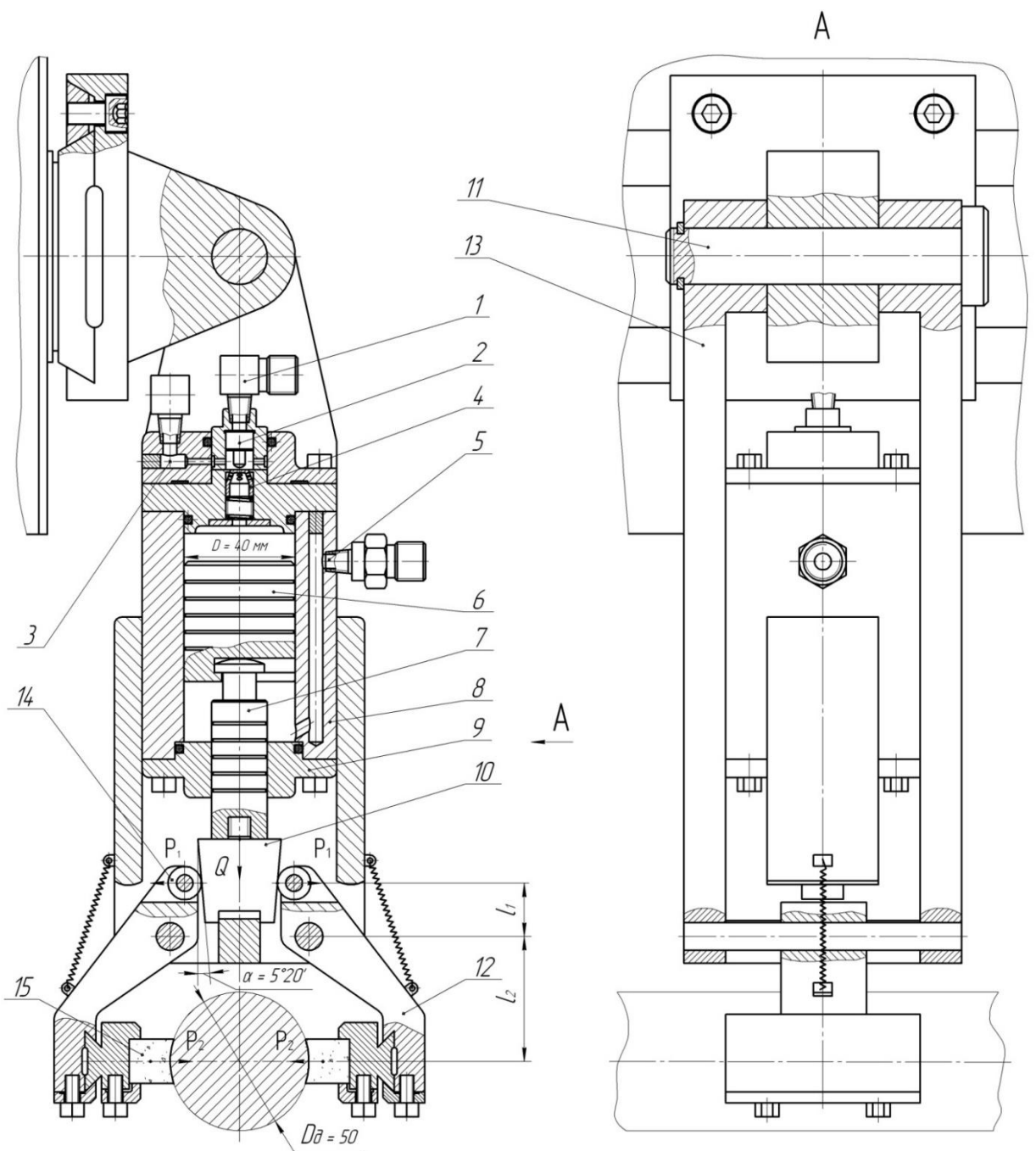


Рисунок 3.7 – Інструментальна головка для зовнішнього хонінгування

Обробка поверхні штока $\varnothing 50f9$ довжиною 504 мм виконується на верстаті для суперфінішування моделі 3Д871Б [37]. Каретка верстата має поверхню у вигляді ластівчиного хвоста, за якою відбувається швидке встановлення та настроювання інструментальної головки для зовнішнього хонінгування для обробки заготовки. Також верстат використовується для оздоблювальної обробки поверхні $\varnothing 50f9$ на операції суперфінішування, де остаточно формується шорсткість поверхні за критерієм $R_a = 0,4$ мкм. Каретка повздовжньої подачі верстата має діапазон швидкості в межах 0,008-0,05 м/с і її регулювання відбувається без східчасто.

Точність шпинделю верстата впливає на точність форми і розмірів поверхонь заготовок. Для цього шпиндель, який розташований із переду бабки верстата, встановлений на підшипники кочення високої точності [37]. На передній опорі шпинделю встановлений комплект із двох радіально-упорних шарикопідшипників. Наведена конструкція передньої бабки верстата забезпечує радіальне биття заготовок в межах 0,5 – 0,8 мкм. На передньої частини шпинделю закріплена планшайба із поводком, який передає крутний момент до заготовки.

Обертання шпинделю передньої бабки із виробом відбувається тиристорним електроприводом через коробку швидкості і дві клиноремінні передачі, що виключає передавання вібрацій від приводу до заготовки. Коробка швидкості має два діапазони швидкості шпинделю виробу: 25-500 хв^{-1} та 50-1000 хв^{-1} . Частота обертання заготовок регулюється безступеневе [37].

Наведена характеристика верстата для суперфінішування моделі 3Д871Б дозволяє використовувати його на операції хонінгування і забезпечити технічні вимоги креслення до поверхні $\varnothing 50f9$.

Виконаємо розрахунок інструментальної головки для зовнішнього хонінгування [37, 39].

1) Визначимо силу Q (Н), яка діє на поршень, за формулою:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot p_o \cdot \eta_o = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cong 452,2 \text{ Н},$$

де $D = 40$ мм – діаметр поршня;

$p_o = 0,4$ МПа – тиск у системі інструментальної головки;

$\eta_o = 0,93 - 0,9$ – ККД у механізмі «циліндр-поршень», приймаємо $\eta_o = 0,9$.

2) Визначимо силу P_1 за якою клин діє на ролик

$$P_1 = Q \cdot i_c = 452,2 \cdot 7 = 3165,4 \text{ Н},$$

де $i_c = 7$ – передавальне відношення сил у схемі механізму із «двома плунжерами та роликами на площинах із нахилом» [13].

Приймаємо кут клину $\alpha = 5^\circ 20'$ і враховуємо його самогальмування.

3) Визначаємо силу P_2 , із якою абразивний брусок діє на поверхню деталі. За даними креслення інструментальної головки приймаємо величини пліч важелів $l_1 = 20$ мм, $l_2 = 45$ мм.

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot l_1}{l_2 \cdot \eta} = \frac{3165,4 \cdot 20}{45 \cdot 0,9} \cong 1563,2 \text{ Н},$$

де $\eta = 0,85 - 0,95$ – ККД у механізмі «важіль – вісь», приймаємо $\eta = 0,9$.

4) Визначаємо питомий тиск абразивного бруска на поверхню деталі

$$p_6 = \frac{P_2}{F_6} = \frac{1563,2}{0,00175} = 0,89 \text{ МПа},$$

де $F_6 = \alpha \cdot b = 0,025 \cdot 0,07 = 0,00175 \text{ м}^2$ – площа бруска;

$\alpha = 0,025$ мм – ширина бруска; $b = 0,07$ мм – довжина бруска.

5) Визначаємо силу притиснення брусків $P_{пр}$ до поверхні деталі

$$P_{пр} = p_{6р} \cdot F_6 \cdot K \cdot Z = 0,89 \cdot 0,00175 \cdot 2 \cdot 1 \cong 3115 \text{ Н},$$

де $K = 2$ – кількість брусків у інструментальної головки;

$Z = 1$ – кількість інструментальних головок.

6) Визначаємо силу різання P_p , яка діє при хонінгуванні

$$P_p = P_{пр} \cdot f = 3115 \cdot 0,35 = 1090,3 \text{ Н},$$

де $f = 0,35$ – коефіцієнт різання при обробки абразивними брусками [37].

7) Визначаємо обертальний момент M , який діє при обробки заготовки на центрах

$$M = \frac{P_p \cdot D}{2} = \frac{1090,3 \cdot 0,05}{2} \approx 27,3 \text{ Нм},$$

де $D = 0,05$ м – діаметр обробленої поверхні штока.

8) Визначаємо потужність N_e , яка витрачається на різання при хонінгуванні

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{27,3 \cdot 190}{9750} \cong 0,54 \text{ кВт},$$

де $n = 190$ об/хв – частота обертання деталі, що відповідає рекомендованій швидкості деталі $V_d = 30$ м/хв при обробки не загартованих сталей абразивними брусками.

Таким чином, $N_c = 4,06 \cdot 0,8 = 3,25$ кВт $>$ $N_e = 0,54$ кВт, і обробка заготовок виконується.

3.7 Рекомендації для вибору режиму обробки поверхні штоків зовнішнім хонінгуванням

Абразивні (алмазні) бруски для обробки вибиралися за рекомендаціями роботи [6]. Вибір брусків не зв'язувався із великою довжиною поверхні ($L_d/D_d > 504/50 = 10,1$). У цьому випадку потрібно забезпечити надійне «плавання» інструментальної головки по поверхні заготовки. Якщо це не зробити, то можливо утворення похибки форми поверхні у вигляді корсетності [30]. Таким чином, виходячи із конструктивних особливостей довжина бруска приймається $L_6 = 70$ мм.

Сумарна ширина бруска H_6 приймається від 0,15 до 0,35 довжини кола поверхні діаметром $\varnothing 50f9$ [33, 36]. Потрібно використовувати бруски можливо більшої ширини, тому що це збільшує інтенсивність знімання металу і усуває вихідну похибку форми деталі.

$$H_6 = (0,15 - 0,35) \cdot C = (0,15 - 0,35) \cdot 157 = 23,55 - 55 \text{ мм},$$

де $C = \pi D_\delta = 3,14 \cdot 50 = 157$ мм – довжина кола;

$D_\delta = 50$ мм – діаметр обробленої поверхні.

Приймаємо ширину бруска 25 мм. На операції обробка виконується двома брусками і їх сумарна ширина дорівнює 50 мм, що задовольняє рекомендованому діапазону.

Промислові дослідження [35, 36] подібних хонінгувальних головок дозволили рекомендувати раціональні режими різання для обробки поверхні $\varnothing 50/f_9$ на операції 045 «Хонінгувальна» (див. табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Режими різання для хонінгування поверхні $\varnothing 50/f_9$ [6, 35]

Характеристика бруска	Режими різання			Час обробки, хв	Досяжна точність форми, мкм	Досяжна шорсткість, R_a , мкм
	V_0 , м/хв	V_{np} , м/хв	p_0 , МПа			
АСР 63/50 – АСР 80/63	25-35	15-18	0,5-0,8	0,8-1,5	10-12	0,63-0,32
24М40СТ1КЛ	45-60	9-12	0,2-0,5	1,2-1,9	9-12	0,63-0,16

3.8 Висновок

- 1) Запропонована схема процесу зовнішнього хонінгування для оброблення циліндричних поверхонь штоків.
- 2) Показаний механізм явищ, що існують в контакті хонінгувальних брусків із оброблювальною поверхнею деталі.
- 3) Виконаний аналіз впливу робочого циклу радіальної подачі брусків на точність і продуктивність зовнішнього хонінгування.
- 4) Обґрунтований вибір оптимальних режимів обробки деталей зовнішнім хонінгуванням.
- 5) Розроблена схема абразивної обробки брусками для виправлення похибки геометричної форми циліндричної поверхні штока.
- 6) Розроблена конструкція головки для хонінгування зовнішньої поверхні штока $\varnothing 50/f_9$.
- 7) Надані рекомендації для вибору режимів різання при хонінгування зовнішньої поверхні штока.

ВИСНОВКИ

1. Виконаний аналіз службового призначення шарового крана, штока, перевірена повнота і правильність технічних вимог креслення деталі.
2. Розрахований тип виробництва – дрібносерійний, вибрана форма його організації – групова, виконаний аналіз технологічності конструкції штока за якісними і кількісними показниками.
3. Зроблений аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення штока. Визначені окремі технологічні операції, які треба удосконалити. Визначені задачі для розроблення нової схеми оздоблювальної операції – зовнішнє хонінгування поверхні штока під наступне хромування.
4. Запропонований удосконалений варіант технологічного процесу виготовлення штока для умов дрібносерійного виробництва.
5. За технічними вимогами креслення та об'єму випуску виробів виконано техніко-економічне обґрунтування методу виготовлення вихідної заготовки – круглий прокат і розроблене робоче креслення заготовки.
6. Розрахунково-аналітичним методом за програмою розробленою на ЕВМ, визначені припуски і граничні розміри на поверхню діаметром 50f9 мм.
7. Вибрані і обґрунтовані оптимальні схеми базування та закріплення заготовки для операцій 015 «Токарна з ЧПК» та 030 «Вертикально-фрезерна». Для наведених операцій запропоновані металорізальні верстати, технологічне оснащення, різальний та вимірювальний інструмент, виконаний розрахунок режимів різання та норм часу.
8. Для контролю допуску перпендикулярності та радіального биття шийки штока в межах 0,02 мм відносно осі вала розроблений спеціальний контрольно-вимірювальний пристрій.
9. Виконаний аналіз оздоблювальних операцій, згідно якого запропонована операція зовнішнього хонінгування замість операції круглого шліфування.

10. Запропонована кінематична схема зовнішнього хонінгування, яка за рахунок самостійного гальмування клинами різального інструменту забезпечує умови підвищення точності форми поверхні у поперечному перерізі деталі.

11. Одержана аналітична залежність, яка установлює взаємний зв'язок кінематичних параметрів зовнішнього хонінгування із точністю форми обробленої поверхні у поперечному перерізі.

12. Запропонована структура оптимального робочого циклу зовнішнього хонінгування, яка дозволила за різними відношеннями швидкостей λ ефективно використовувати різальні можливості абразивних і алмазних брусків.

13. Запропонована структура операції із двох переходів. На першому переході видаляється вихідний припуск і усувається похибка форми поверхні в поперечному перерізі. На другому переході формується потрібна шорсткість поверхні $R_a = 0,8-1,6$ мкм, яка передбачена для наступної операції хромування.

14. Розроблена конструкція хонінгувальної головки із самостійними гальмовими клинами.

15. Для хонінгування зовнішньої поверхні штока вибраний верстат для суперфінішування моделі ЗД871Б. Кінематичні та динамічні можливості верстата дозволяють використовувати його для операції зовнішнього хонінгування і наступної операції суперфінішування.

16. Запропоновані оптимальні режими різання абразивними і алмазними брусками для обробки поверхні штоку на хонінгувальній операції.

17. 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 верстатника.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

- 1 **Гусев, А. А.** Технология машиностроения (специальная часть): учебник для вузов Текст / А. А. Гусев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Колесов и др. – Москва: Машиностроение, 1986. – 480 с.
- 2 **Маталин, А. А.** Технология машиностроения: учеб. для машиностроит. вузов Текст / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 496 с.
- 3 **Рахштадт, А. Г.** Справочник металлиста Текст: в 5-и т. / А. Г. Рахштадт, В. А. Брострем. – Москва: Машиностроение, 1976. – Т.2. – 720 с.
- 4 **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения Текст: 5-е изд. / В. А. Шкред, А. Ф. Горбацевич. – Москва: ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
- 5 Современные технологии в машиностроении Текст: [Сб. науч. ст.] / Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т", под общ. ред.: А. И. Грабченко Т.1: 2006. – 439 с.
- 6 Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник Текст / А. Н. Резников и др. – Москва: Машиностроение, 1977. – 391 с.
- 7 **ГОСТ 25347–82.** Поля допусков и рекомендуемые посадки.
- 8 **ГОСТ 24643–81.** Допуски формы и взаимное размещение.
- 9 **ГОСТ 14.301–73.** Общие правила разработки технологических процессов и выбора средств технологического оснащения.
- 10 **ГОСТ 14.204–73.** Правила обеспечения технологичности конструкции деталей.
- 11 **ГОСТ 14.201–73.** Общие правила отработки конструкции на технологичность.
- 12 Справочник технолога-машиностроителя Текст: В 2 т. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4^е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – 656 с.

13 Справочник технолога-машиностроителя Текст: В 2 т. Т.2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4^е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1986. – 496 с.

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

15 **Матвеев, В. В.** Размерный анализ технологических процессов Текст / В. В. Матвеев и др. – Москва: Машиностроение, 1982. – 264 с.

16 **Кузнецов, Ю. И.** Оснастка для станков с ЧПУ Текст: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков. – Москва: Машиностроение, 1983. – 359 с.

17 **Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках, часть 3. Протяжные, шлифовальные, доводочные станки** Текст / Изд. 3-е. – Москва: ЦБНТ, 1978. – 360 с.

18 **Городецкий, Ю. Г.** Конструкция, расчет и эксплуатация измерительных инструментов и приборов Текст / Ю. А. Городецкий. – Москва: Машиностроение, 1971. – 367 с.

19 **Точность и производственный контроль в машиностроении: справочник** Текст / Под ред. А. К. Кутая, В. М. Сорочкина. – Ленинград: Машиностроение, 1983. – 368 с.

20 **Дунаев, И. М.** Организация проектирования системы технического контроля Текст / И. М. Дунаев, Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – Москва: Машиностроение, 1981. – 191 с.

21 **Приборы и системы для обеспечения качества** Текст. ТЕЗА / АО, Бюньон 38, 1020 – Ренанс: Швейцария, 1987, док. №103.019.8705.

22 **Бишутин, С. Г.** Технологическое обеспечение состояния поверхностей деталей машин при шлифовании Текст / С. Г. Бишутин // – Вестн. Харьк. политех. ин-та: науч.-техн. сб. (серия «Машиностроение»). – Харьков: Вища школа, 2005. – №3. – Вып. 8 – С. 9 – 14.

- 23 **Корчак, С. Н.** Производительность процесса шлифования стальных деталей Текст / С. Н. Корчак. – Москва: Машиностроение, 1974. – 280 с.
- 24 **Ящерицын, П. И.** Шлифование металлов Текст: / П. И. Ящерицын, Е. А. Жалнерович. – изд. 2-е, доп. и перераб. – Минск: Беларусь, 1970. – 463 с.
- 25 **Худобин, Л. В.** Смазочно-охлаждающие жидкости при абразивно-алмазной обработке Текст / Л. В. Худобин. – Москва: Машиностроение, 1977. – 55 с.
- 26 **Крагельский, И. В.** Узлы трения машин: справочник Текст / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – Москва : Машиностроение, 1984. – 280 с.
- 27 **Крагельский, И. В.** Трение, изнашивание и смазка: справочник Текст / И. В. Крагельский, Алисин В. И. – Москва : Машиностроение, 1979. – 358 с.
- 28 **Суслов, А. Г.** Качество поверхностного слоя деталей машин Текст / А. Г. Суслов. – Москва: Машиностроение, 2000. – 320 с.
- 29 **Руденко, П. А.** Отделочные операции в машиностроении Текст / П. А. Руденко, М. П. Шуба, В. А. Огнивец – изд. 2-е, перераб. и доп. – Киев: Техника, 1990. – 150 с.
- 30 **Медведев, В. В.** Отделочное хонингование Текст / В. В. Медведев. – Киев: Техніка, 1973. – 56 с.
- 31 **Чеповецкий, И. Х.** Алмазное хонингование термообработанных сталей Текст / И. Х. Чеповецкий, И. Д. Кизиков, Ю. Э. Рыжов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 136 с.
- 32 **Кремень, З. И.** Хонингование и суперфиниширование деталей Текст / З. И. Кремень, И. Х. Стратиевский. – Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1988. – 137 с.
- 33 **Куликов, С. И.** Прогрессивные методы хонингования Текст / С. И. Куликов, Ф. Ф. Ризванов, В. А. Романчук и др. – Москва: Машиностроение, 1983. – 135 с.
- 34 **Фрагин, И. Е.** Научные основы повышения точности и производительности хонингования: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.02.08 / Исаак Ефимович Фрагин. – Москва, 1975. – 49 с.

- 35 **Фрагин, И. Е.** Новое в хонинговании Текст / И. Е. Фрагин. – Москва: Машиностроение, 1980. – 96 с.
- 36 **Куликов, С. И.** Хонингование. Справочное пособие. Текст / С. И. Куликов, В. А. Романчук, Ф. Ф. Ризванов и др. – Москва: Машиностроение. – 1973. – 168 с.
- 37 **Мазальский, В. Н.** Суперфинишные станки Текст / В. Н. Мазальский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 127 с.
- 38 **Савчук, В. И.** Технологические особенности обработки цилиндрических поверхностей штоков хонингованием Текст / В. И. Савчук, Е. Н. Бакус // Суми: Видавництво СумДУ, Вісник СумДУ, серія «Технічні науки», №2, 2012. – С. 86 – 94.
- 39 **Патент №106671 Україна, МПК В24В 33/00.** Пристрій для зовнішнього хонінгування Текст / В. І. Савчук, Д. В. Цимбал (Україна). – №а201301445; заявл. 07.02.2013; опубл. 25.09.2014, Бюл. № 18.
- 40 **Савчук, В. И.** Технологические особенности обработки подшипниковых шеек валов суперфинишированием Текст / В. И. Савчук, А. В. Евтухов // Сумы: Международный институт компрессорного и энергетического машиностроения, научно-технический и производственный журнал «Компрессорное и энергетическое машиностроение», №1(39), 2015 – С. 52 – 55.
- 41 **ОНТП 24–86.** Общесоюзные нормы технологического проектирования. Определение категорий помещений по взрывной и пожарной опасности.
- 42 **СНиП 2.04.05–91.** Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
- 43 **ДБН В.2.5-28–2006.** Природне і штучне освітлення.
- 44 **ДБН Д.2.6-3–2000.** Збірник 3. Системи вентиляції і кондиціонування повітря.
- 45 **ДБН В.2.5–56:2010.** Системи протипожежного захисту.