

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

« ____ » _____ 2022 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення
вала FSK-0001.00.327 шляхом структурно-параметричної
оптимізації оздоблювальної операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Давід ЮСУПОВ

Керівники

Артем ЄВТУХОВ

Альпер УЙСАЛ

Консультант з питань охорони праці

Віра ФАЛЬКО

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

ЗМІСТ

	Вступ.....	4
1	Аналіз виробничого процесу обробки вала машини моделі «MPV.B».....	7
1.1	Галузь застосування виробів в яких використовуються циліндричні підшипникові поверхні.....	7
1.2	Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі.....	9
1.3	Визначення типу виробництва та форми його організації.....	11
1.4	Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
1.4.1	Оцінювання технологічності за якісними показникам.....	13
1.4.2	Оцінювання технологічності за кількісними показниками.....	15
1.5	Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення вала.....	17
1.6	Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення вала.....	21
2	Удосконалення технологічного процесу виготовлення вала FSK–0001.00.327.....	24
2.1	Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення вала.....	24
2.2	Вибір та обґрунтування способу виготовлення заготовки та розроблення технічних вимог для неї.....	25
2.3	Розрахунок припусків на механічну обробку підшипникових і ущільнювальних шийок вала.....	26
2.4	Розмірний аналіз ТП вала для лінійних розмірів.....	27
2.5	Розроблення структури операції 040 «Круглошліфувальна»...	34
2.5.1	Обґрунтування та вибір схем базування та закріплення заготовки.....	34
2.5.2	Обґрунтування та вибір моделі металорізального верстата.....	37
2.5.3	Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	38
2.5.4	Розрахунок режимів різання.....	38
2.5.5	Технічне нормування операції.....	41
2.6	Проектування контрольно-вимірювального пристрою.....	42
2.6.1	Обґрунтування мети операції контролю.....	42
2.6.2	Обґрунтування та вибір методів вимірювання.....	45
2.6.3	Обґрунтування та вибір засобів вимірювання.....	45
2.6.4	Ескізне проектування КВП.....	48
2.6.5	Опис конструкції та роботи КВП.....	49

2.7	Висновок.....	50
3	Структурно-параметрична оптимізація операції суперфінішування шийок вала.....	51
3.1	Способи обробки циліндричних поверхонь абразивними брусками.....	51
3.2	Продуктивність способів обробки абразивними брусками.....	54
3.3	Умови зниження шорсткості поверхонь.....	56
3.4	Розроблення структури операції для обробки підшипникових шийок абразивними брусками.....	57
3.5	Вибір моделі верстата для обробки абразивними брусками.....	61
3.6	Пристрій для суперфінішування шийок вала.....	64
3.7	Вибір характеристики і розмірів абразивного бруска.....	68
3.8	Розрахунок величини припуску на оздоблювальну операцію...	70
3.9	Розрахунок режимів різання абразивними брусками.....	71
3.10	Техніко-економічне обґрунтування розробленого пристрою для обробки шийок валів.....	75
3.11	Висновок.....	78
	Висновки.....	79
	Перелік джерел посилань.....	81
	Додаток А Креслення деталі «Вал FSK–0001.00.327».....	86
	Додаток Б Креслення заготовки.....	87
	Додаток В Розрахунок припусків на ЕОМ.....	88
	Додаток Г Креслення МТП.....	89
	Додаток Д Налагодження на операцію 045 «Оздоблювальна»...	90
	Додаток Е Специфікація «Пристрій для суперфінішування»...	91
	Додаток Ж Специфікація «Пристрій для контролю радіального биття».....	93
	Додаток К Креслення «Пристрій для суперфінішування».....	95
	Додаток Л Креслення «Пристрій для контролю радіального биття».....	96
	Додаток М «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях».....	97

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна промисловість України випускає значну кількість пляшок шампанського для реалізації їх на ринку держави. Кожна пляшка шампанського закривається пробкою та капсулою виготовленою із алюмінію і алюмінієвого поліамілату. На голівках капсул знаходиться топ-диск із надрукованою термічною печаттю інформацією, яка потрібна покупцю. Капсули виготовляються мільйонами штук за рік, що характеризує цілодобовий випуск цієї продукції як масовий.

Виготовлення капсул і нанесення термічної печаті на головку топ-диску виконується на спеціальних машинах моделі «MPV.B», які працюють в тяжких виробничих умовах. Їх безперервна робота спричиняє підвищений знос як всієї машини, так і окремих її деталей. Зношені деталі машини підлягають відновленню, а також виготовленню нових деталей за технічними вимогами відповідних креслень.

Однією із основних деталей машини є «Вал FSK-0001.00.327», який відтворює одну із важливих робочих функцій машини – передачу крутного моменту з редуктора на стіл де виготовляються капсули. Для безперервної роботи машини треба відновлювати зношені вали, щоб забезпечити її ремонтну спроможність в продовж року по виготовленню продукції. За даними підприємства річний об'єм виготовлення валів повинен становити не менше 2000 штук, щоб забезпечити безперервну роботу машин для виготовлення капсул.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є «Вал FSK-0001.00.327», який застосовується в машині з виготовлення головок капсул моделі «MPV.B».

Предмет дослідження. Предметом дослідження є структура та параметри існуючого технологічного процесу виготовлення вала та зокрема, пропонованої оздоблювальної операції.

Мета дослідження: підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення вала FSK-0001.00.327.

Завдання дослідження:

- 1) виконати аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення «вала»;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення «вала»;
- 3) виконати дослідження операції оздоблювальної, спрямованої на її структурно-параметричну оптимізацію (дослідити кінематичні схеми оброблення шийок вала абразивними брусками, дослідити структуру операції, запропонувати модель верстата, спроектувати пристрій для суперфінішування та оброблення абразивними брусками способом подвійної осциляції підшипникових і ущільнювальних поверхонь вала, розробити рекомендації для вибору оптимальних режимів різання абразивними брусками запропонованих способів оброблення поверхонь абразивними брусками).

Методи дослідження. Теоретичні задачі вирішувалися шляхом математичного моделювання оброблення поверхонь вала абразивними брусками. Практичні рекомендації для вибору режимів різання виконувалися за результатами наукових робіт, в яких досліджувався спосіб подвійної осциляції брусків.

Наукова новизна одержаних результатів. Визначені раціональні структура та параметри оздоблювальної операції для обробки абразивними брусками підшипникових і ущільнювальних поверхонь вала. В запропонованій структурі операції визначені умови для побудови мікрорельєфу шорсткості циліндричних поверхонь. Запропонований інструментальний пристрій для оброблення поверхонь методом врізання та визначені кінематичні умови, які забезпечують потрібну шорсткість поверхонь вала.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована модель верстата для суперфінішування, нова конструкція інструментальної головки для обробки підшипникових та ущільнювальних шийок вала абразивними брусками. Розроблені рекомендації для вибору режимів обробки з метою отримання потрібної шорсткості поверхонь шийок вала.

Особистий внесок магістра. Результати виконаних досліджень отримані студентом самостійно.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати наукової роботи впроваджені у навчальний процес підготовки бакалаврів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Технології машинобудування») в дисципліні «Технологія обробки типових деталей та складання машин».

Публікації. Результати магістерської роботи опубліковані в науково-технічному журналі «Компрессорное и энергетическое машиностроение» [41]. Отриманий патент України на винахід «Пристрій для суперфінішування» [42]. За результатами досліджень зроблена доповідь та опубліковані тези доповідей на Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Сучасні технології у промисловому виробництві» [43, 44].

Структура і об'єм роботи. Магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку джерел посилань із 44 найменувань, 85 сторінок машинописного тексту, 24 рисунків, 15 таблиць, 10 додатків. Загальний обсяг роботи складається із 108 сторінок.

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАЛА

МАШИНИ МОДЕЛІ «MPV.B»

1.1 Галузь застосування виробів в яких використовуються циліндричні підшипникові поверхні

Однією із галузей де застосовуються вироби із підшипниковими циліндричними поверхнями є харчова промисловість України. Представником цієї галузі в місті Суми є підприємство АТ «Технологія» на якому виготовляється продукція масового споживання (див. рисунок 1.1).



а)



б)



в)

Рисунок 1.1 – Вироби АТ «Технологія»: а) – капсула для пляшок шампанського; б) – пакувальні пакети «Bag in Box»; в) – спеціальні пакети для пакування молочної продукції

Виробами підприємства є капсули із алюмінію і алюмінієвого поліамілату для пляшок шампанського, ігристих вин, мюзле, поліамілатні та термоусадочні ковпачки (див. рисунок 1.1, а). Для магазинів і супермаркетів підприємство виробляє пакети «Bag in Box», виробництво яких сертифіковане за найвищим світовим стандартом FSSC 22000, Версія 5 (див. рисунок 1.1, б). Спеціальними пакетами «Bag in Box» упаковуються молочні продукти, вина, соки та інші харчові продукти (див. рисунок 1.1, в).

На підприємстві, де виготовляється зазначена продукція, застосовується багато спеціальних машин в конструкції яких є деталі із циліндричними

підшипниковими та ущільнювальними поверхнями. Наприклад, для виготовлення капсул застосовуються машини моделі «MPV.B» (див. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Машина моделі «MPV.B» для виготовлення капсул

Машина працює в тяжких виробничих умовах, що спричиняє підвищений знос окремих її деталей. Зношені деталі машини необхідно відновлювати або виготовляти нові деталі за технічними вимогами відповідних креслень.

Однією із основних деталей машини є вал «FSK-0001.00.327» (дивись додаток А), який відтворює одну із важливих службових робочих функцій машини – передачу крутного моменту з редуктора на стіл де виготовляються капсули. Вали на підприємстві виготовляються за умовою ремонтного (одиночного) типу виробництва. Для безперервної цілодобової роботи машини зношені вали треба відновлювати, щоб забезпечити її ремонтну спроможність в продовж року по виготовленню продукції. За даними підприємства річний об'єм виготовлення валів повинен становити не менше 2000 штук, що забезпечить безперервну роботу машин для виготовлення капсул.

Деталь за класифікацією відноситься до класу «валів» і встановлюється у корпусі машини двома поверхнями діаметром 60кб (дивись додаток А). Поверхні

мають 6-й квалітет точності розмірів, радіальне биття відносно осі центрів «А» в межах 0,02 мм, шорсткість поверхонь $R_a = 0,8$ мкм і призначені для встановлення на них підшипників кочення.

Вал виготовлений із сталі 45 ГОСТ 1050–88, фізико-механічні властивості якої відповідають його службовому призначенню. Наведені технічні вимоги креслення передбачають забезпечення потрібного з'єднання вала із підшипниками кочення на стадії складання, та якісне виконання свого службового призначення при виготовленні виробів харчової промисловості.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Технічні вимоги на виготовлення деталі наведені на кресленні вала (дивись додаток А). Виходячи із умов експлуатації вала у машині, конструктор призначив матеріалом сталь 45 ГОСТ 1050-88. Хімічний склад сталі 45 та її механічні властивості наведені в таблицях 1.1 та 1.2 [4].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 45 ГОСТ 1050-88, в процентах

C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
					Не більше	
0,40- 0,50	0,17– 0,37	0,50– 0,80	0,30	0,30	0,045	0,045

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 45 ГОСТ 1050-88

σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	a_n , Дж/см ²	НВ (не більше)	
					гарячекатаної	відпаленої
Не менше						
610	360	16	40	50	241	197

За всіма показниками сталь 45 відповідає службовому призначенню вала, а у разі її відсутності, використовується сталь 40 ГОСТ 1050-88.

Однією із основних вимог роботи машини є невеликий поступальний рух вала уздовж осі центрів «А» в межах 0,1–0,2 мм, який передбачає так звану «осьову гру» підшипників кочення [6]. Зазор обумовлений підвищенням

температури робочого середовища машини і компенсує теплове розширення деталей складальної одиниці де розташований вал.

Важливою вимогою креслення є радіальне биття двох підшипникових шийок вала ($\varnothing 60k6$) відносно осі центрів «А» в межах 0,02 мм. Зазначене обмеження дозволяє працювати машині без вібрацій і забезпечувати точність подачі капсул із редуктора на стіл де вони виготовляються. Цією вимогою обмежується радіальне биття інших шийок вала – діаметрів $60g6$; $70,1h$; $48h7$; $30h7$.

Точність розмірів двох діаметрів $60k6$ із шорсткістю поверхонь $R_a = 0,8$ мкм забезпечує потрібне з'єднання вала із підшипниками кочення на стадії складання.

Дві поверхні діаметром $60g6$ з шорсткістю $R_a = 0,8$ мкм передбачені для встановлення на них ущільнювань, які запобігають витіканню змащувальної рідини із місць встановлення підшипників кочення, та не допускають попаданню на них пилу і бруду із зовнішнього середовища. Низька шорсткість поверхонь передбачена для зменшення їх зносу при роботі ущільнювань. Технічні вимоги креслення щодо точності розмірів діаметрів (6-й квалітет) та їх взаємного розташування (радіальне биття в межах 0,02 мм відносно осі «А»), дозволяє збільшити строк експлуатації машини.

Поверхня діаметром $48h7$ з шорсткістю $R_a = 1,6$ мкм та шпонковим пазом шириною $20H9$ передбачена для встановлення на неї зубчастого колеса з якого передається крутний момент на іншу деталь виробу.

Поверхня діаметром $30h7$ з шорсткістю $R_a = 1,6$ мкм передбачена для встановлення на неї деталі «ручний редуктор».

Дві поверхні $M70 \times 2-8g$ виконані із метричною різьбою і призначені для встановлення на них гайок, які потрібні для постійної фіксації шківів при його встановленні на поверхню діаметром $70,1h7(0; -0,019)$ мм. Для запобігання викручування гайок під час роботи машини, на двох різьбових поверхнях $M70 \times 2-8g$ зроблені шліцьові пази шириною 8 мм під стопорні шайби.

Лінійні розміри на кресленні деталі проставлені трьома методами: ланцюговим, координатним, змішаним. Розміри 170 мм, 213 мм, 617 мм проставлені координатним методом від торцевої поверхні діаметром $30h7$. Розміри 213 мм, 56,5 мм, 105 мм проставлені ланцюговим методом, а розміри 45 мм, 30 мм, 43 мм – змішаним методом.

Конструкція вала має два різні за розмірами центрові отвори з різьбою: «Отв. центр. $F M10$ ГОСТ 14034–74» та «Отв. центр. $F M16$ ГОСТ 14034–74». Різьба в центрових отворах виконана згідно ГОСТ 24705-2004 і потрібна для вертикального розташування вала на операції транспортування. У зібраному виробі різьба застосовується для закріплення деталей «ручного редуктора» та зубчастого колеса на сходах діаметрів $30h7$ і $48h7$ боковими кришками. Запропоновані конструкції центрових отворів збільшують трудомісткість виготовлення деталі, тому що збільшується кількість технологічних переходів, інструментів, основний (машинний) час технологічної операції.

Для підвищення зносостійкості поверхонь вала конструктором передбачена операція гартування, яка забезпечує твердість HRC 42...45 робочих поверхонь вала, що збільшує строк експлуатації деталі.

Всі поверхні вала на етапі механічної обробки виготовляються із застосуванням відомих технологічних методів і не потребують додаткових уточнень або змінювань. Наведених технічних вимог достатньо для забезпечення нормальної експлуатації вала у виробі.

1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації

При проектуванні оптимального технологічного процесу механічної обробки деталі треба враховувати тип виробництва виробів. Згідно ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій, який визначається поділкою всіх різноманітних операцій, що виконуються підрозділом за місяць, до кількості робочих місць.

На перших етапах проектування тип виробництва можна визначити із достатньою точністю табличним методом, а потім уточнити за коефіцієнтом закріплення операцій [4].

Тип виробництва залежить від річної програми випуску виробів $N = 2000$ штук та їх трудомісткості. Спочатку визначимо місячний випуск виробів N_m :

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

де 12 – кількість місяців в році.

Трудомісткість виготовлення деталі та складання виробу за даними виробництва складає 22 години. За даними джерела [1, рисунок 15.9, с. 461] це

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

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

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

254 дні – кількість робочих днів у році.

У середньосерійному виробництві основною формою організації виробництва згідно ГОСТ 14.004-83 [5] є групова форма. Робочі місця на підприємствах певною мірою спеціалізовані – закріплені за кожним із декількох операцій для виготовлення деталей, обробка яких ведеться партіями.

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

інструменту – універсальний і спеціальний. Вимірювальний інструмент – калібри, спеціальний вимірювальний інструмент.

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

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

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

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

1.4.1 Оцінювання технологічності конструкції деталі за якісними показниками.

Конструкція деталі складена із циліндричних, площинних і різьбових поверхонь, що дозволяє застосувати відомі методи обробки (точіння, свердління, шліфування, нарізання різьби) та реалізувати прості схеми базування і закріплення [5].

Східчасті поверхні вала на токарних операціях оброблюються різцями і тому конструкція деталі повинна мати достатню жорсткість, яка б компенсувала деформації її поверхонь від сил різання при обробки. Східчасті поверхні номінальних діаметрів від 30 мм до 70,1 мм розташовані на довжині 617 мм (див. додаток А). Визначимо відношення довжини заготовки L до її середнього діаметру D_{cp} [2] за формулою

$$D_{cp} = \frac{D_1 \cdot l_1 + D_2 \cdot l_2 + D_3 \cdot l_3 + D_4 \cdot l_4 + D_5 \cdot l_5}{L} =$$

$$= \frac{30 \cdot 170 + 60 \cdot 43 + 70,1 \cdot 219 + 60 \cdot 34 + 48 \cdot 142}{617} = 52,6 \text{ мм,}$$

де $D_1 = 30$ мм; $D_2 = D_4 = 60$ мм; $D_3 = 70,1$ мм; $D_5 = 48$ мм; $L = 617$ мм;
 $l_1 = 170$ мм; $l_2 = l_4 = 43$ мм; $l_3 = 219$ мм; $l_5 = 142$ мм.

Відношення $L/D_{cp} = 617/52,6 \cong 11,7$ і знаходиться в межах 10–12, що визначає недостатню жорсткість вала. За рекомендаціями робіт [3, 5, 12] вали із зниженою жорсткістю конструкції в середньосерійному виробництві раціонально оброблювати на токарних верстатах з ЧПК. На цих верстатах вигідно виконувати чистове точіння шийок валів із точністю обточування в межах $\pm(0,01-0,02)$ мм, різцями із твердого сплаву при швидкості різання в межах 100–200 м/хв. Обробку сходинок вала доцільно виконувати одним контурним токарним різцем, а прорізання канавок – спеціальними різцями.

Обробка діаметрів $30h7$; $48h7$; $60g6$; $60k6$; $70,1h7$; різьби $M70 \times 2-8g$; передбачає єдність технологічних баз при їх виготовленні (вісь деталі «А»). На токарних та шліфувальних операціях базами для наведених діаметрів будуть два центрові отвори $HM10-7H$ та $HM16-7H$. Для фрезерування шпонкових пазів $20H9$, $14H9$, та двох пазів 8 мм базами доцільно використати дві циліндричні поверхні діаметром $60k6$.

Радіальне биття наведених діаметрів відносно осі «А» в межах 0,02 мм треба витримати на шліфувальній операції. Діаметри $60k6$ та $60g6$ необхідно обробити на одному установі шліфувальної операції, що не ускладнить досягнення потрібних вимог креслення. Конструкцію зазначених поверхонь деталі можна вважати технологічною.

Конструкція «глухої» різьби в центрових отворах $FM10$ і $FM16$ є нетехнологічною, тому що можлива поломка різального інструменту (свердла або мітчика) при обробки цих отворів. Також два різних за розмірами центрові

отвори збільшують використання різального інструменту та режимів різання при їх обробки.

Відсутність напрямних фасок на діаметрах 60g6; 30h7; 48h7 мм є нетехнологічним рішенням конструкції вала і ускладнює збірку окремих деталей у складальні одиниці виробу.

Обробка поверхонь вала в умовах середньосерійного виробництва виконується із великим відхиленням розташування двох пазів 20H9 x 105 мм та 14H9 x 133 мм відносно запропонованих технологічних баз. Пропонується доповнити конструкції шпонкових пазів вимогами їх симетричного та паралельного розташування відносно базових поверхонь деталі. Відповідне рішення наведено на кресленні деталі (дивись додаток А), яке не дозволить ускладнити з'єднання вала, шпонки та приєднаних деталей при складанні.

Згідно рекомендацій робіт [3, 6] шорсткість поверхонь діаметрів 60k6 та 60g6 становить $R_a = 0,8$ мкм. За вимогами креслення складальної одиниці передбачене з'єднання підшипників із шийками вала пресовою посадкою.

Таким чином, за якісними показниками деталь є технологічною, допускає застосування відомих методів обробки і роботу на верстатах із високопродуктивними режимами різання.

1.4.2 Оцінювання технологічності конструкції деталі за кількісними показниками.

Технологічність конструкції деталі оцінювалася наступними кількісними показниками: масою деталі, коефіцієнтами використання металу, уніфікації конструктивних елементів, точності обробки, шорсткості поверхонь, рівнем використання металу та технологічною собівартістю.

1. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів K_y . Деталь має 41 конструктивний елемент: канавкових поверхонь – 2, фасок – 8, різьби – 4, циліндричних зовнішніх поверхонь – 7, циліндричних внутрішніх поверхонь – 4; конічних поверхонь – 2, торцевих поверхонь – 6, поверхонь шпонкових пазів – 4, галтелей – 4. Із цих поверхонь 37 – уніфіковані, а 4 поверхні – оригінальні (дві

галтелі радіусом 0,3 мм і дві галтелі радіусом 0,5 мм). Коефіцієнт уніфікації становить

$$K_y = 37/41 = 0,9.$$

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

2. Коефіцієнт точності K_T діаметральних і основних лінійних розмірів деталі (див. таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт точності K_T

Квалітет точності T_i	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Кількість квалітетів n_i	4	4	-	2	-	2	-	-	22
$T_i \cdot n_i$	24	28	-	18	-	22	-	-	308

$$\Sigma n_i = 32; \quad \Sigma(T_i \cdot n_i) = 400.$$

$$T_{cp} = \frac{\Sigma(T_i \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{400}{32} = 12,5.$$

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} = 1 - \frac{1}{12,5} = 0,92.$$

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

3 Коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$ діаметральних і торцевих поверхонь деталі (див. таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$

Шорсткість поверхонь $Ш_i(R_a, \text{мкм})$	0,8	1,25	1,6	3,2	6,3
Кількість поверхонь n_i	4	2	2	6	18
$Ш_i \cdot n_i$	3,2	2,5	3,2	19,2	113,4

$$\Sigma n_i = 32; \quad \Sigma(Ш_i \cdot n_i) = 141,5.$$

$$Ш_{\text{ср}} = \frac{\Sigma(Ш_i \cdot n_i)}{\Sigma n_i} = \frac{141,5}{32} = 4,42.$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{Ш_{\text{ср}}} = \frac{1}{4,42} = 0,23.$$

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

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

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

На підприємстві АТ «Технологія» технологічний процес виготовлення вала розроблений для умов одиничного виробництва. Для виготовлення партії деталей за рік об'ємом 2000 штук (середньосерійний тип виробництва) треба виконати аналіз існуючого на підприємстві технологічного процесу виготовлення вала і надати пропозиції для його удосконалення.

Операція 005 «Заготівельна». Для виготовлення штучних заготовок використовується пруток із круглого прокату діаметром $80(+0,4; -1,0)$ мм і довжиною 8000 мм (групова заготовка), який потім розрізається на окремі (штучні) заготовки діаметром $80(+0,4; -1,0)$ мм і довжиною $625 \pm 2,2$ мм.

Операція 010 «Токарна на оброблювальних центрах з ЧПК». На операції точаться два зовнішніх торця заготовки і свердляться два центрові отвори. Зазначені поверхні є базами, які будуть використані у наступних операціях технологічного процесу виготовлення вала. Обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК моделі DOOSAN Lynx (див. рисунок 1.3).

Заготовка установлюється (базується і закріплюється) по зовнішній поверхні діаметром $100(+0,4; -1,0)$ мм. Обробка виконується на двох установках операції: спочатку оброблюється лівий торець і центровий отвір, а потім правий торець і центровий отвір.

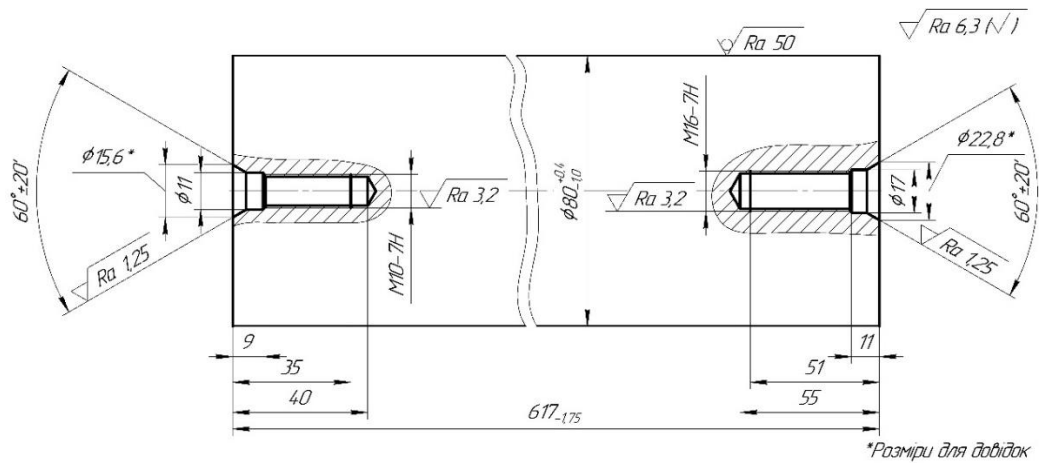


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки на операції 010
«Токарна на оброблювальних центрах з ЧПК»

Операція 015 «Токарна на оброблювальних центрах з ЧПК». Обробка виконується на верстаті моделі DOOSAN Lynx. На операції оброблюються східчасті діаметральні та торцеві поверхні вала (див. рисунок 1.4).

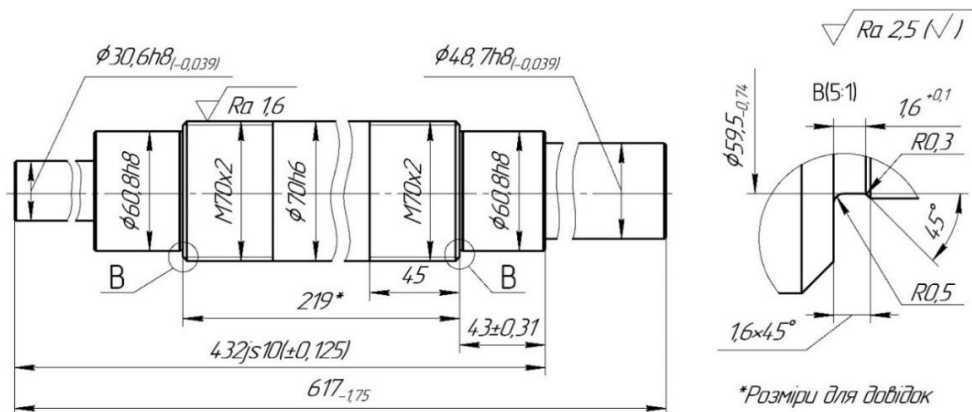


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки на операції 020
«Токарна на оброблювальних центрах з ЧПК»

Вал установлюється на передній центр – «плаваючий» та задній – обертовий. Обробка виконується на двох установах операції. Крутний момент заготовки передається від повідкового токарного патрона. При обробки витримуються точність розмірів в межах 6–12 квалітетів і шорсткість поверхонь $R_a = 2,5\text{--}6,3$ мкм (див. рисунок 1.4).

На операції застосований принцип концентрації технологічних операцій (переходів), за яким сходишки вала оброблюються остаточно, або зоставляється припуск під оздоблювальний етап їх обробки.

Операція 020 «Фрезерна з ЧПК». Операція виконується на верстаті моделі DOOSAN DNM 500. На операції оброблюються чотири пази (див. рисунок 1.5).

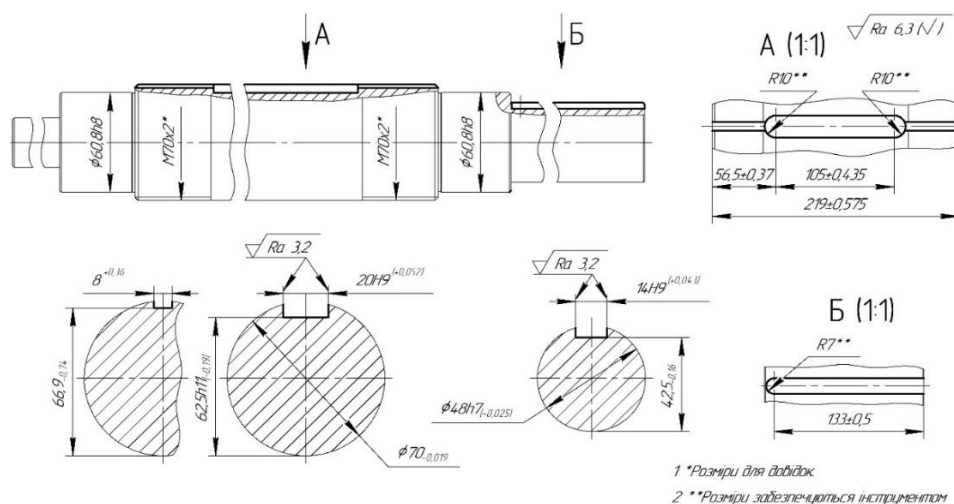


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки на операції 025 «Фрезерна з ЧПК»

Заготовка установлюється в пристрій, складений із двох призм, плити, двох затискачів і закріплюється ручним способом. Налаштування на обробку паза виконується методом пробних ходів і вимірювань. Точність розмірів ширини пазів витримуються точністю «мірного» інструменту – фрезами.

Операція 025 «Термічна обробка». Операція передбачає гартування заготовки з метою забезпечення її твердості HRC 42...45. Гартування заготовки відбувається в печі з наступним охолодженням маслом. Після гартування виконується відпуск для отримання високої твердості, зносостійкості та механічних властивостей матеріалу деталі.

Операція 035 «Круглошліфувальна». Операція виконується на круглошліфувальному верстаті моделі 3У131В. На операції шліфуються східчасті поверхні вала (див. рисунок 1.6). Вал установлюється на два жорстких центри, крутний момент заготовки передається хомутиком від коробки швидкостей верстата.

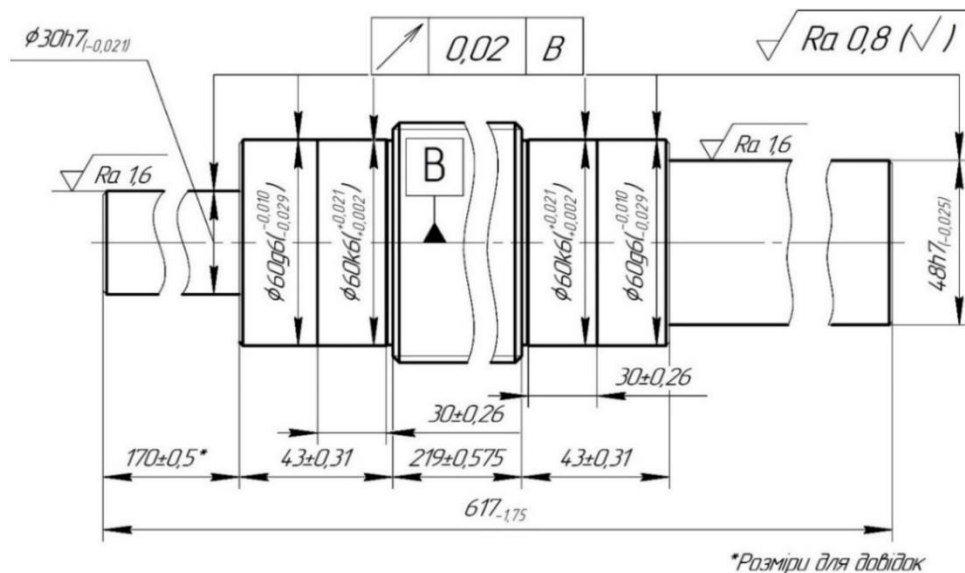


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки на операції 035 «Круглошліфувальна»

Шліфуванням забезпечуються точність діаметральних розмірів заготовки в межах 6–7 квалітетів точності, шорсткість поверхонь $R_a = 1,6 - 0,8$ мкм та їх взаємне розташування за вимогами креслення (радіальне биття 0,02 мм відносно осі «А» деталі).

Операція 040 «Слюсарна». Задирки із заготовки видаляються шліфуванням на заточувальному верстаті. Оброблення виконується ручним способом і виникає вірогідність появи браку. Це пов'язано із суб'єктивним фактором працюючого. Операція потребує виключення ручного способу оброблення заготовок.

На підприємстві очищення заготовок від металевого шламу, бруду, залишків ЗОР відбувається після закінчення окремих операцій технологічного процесу обробки вала. Технічний контроль точності розмірів поверхонь деталі, їх взаємного розташування, шорсткості, твердості поверхонь після гартування виконується безпосередньо працюючим на відповідній технологічній операції.

Перелічені види работ не виділені в окремі операції технологічного процесу виготовлення вала. В умовах середньосерійного виробництва очищення та остаточний контроль деталі треба виконувати на окремих операціях.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

1) Існуючий на підприємстві технологічний процес обробки вала відбувається в умовах одиничного типу виробництва. На підприємстві використовується технологічні верстати багатофункціонального призначення, де заготовки оброблюються різними методами з використанням чорнових та чистових режимів обробки. Структура операцій складається із переходів, на яких використовуються різні режими різання і різальний інструмент, застосовується універсальна (спрощена) технологічна оснастка. Структура технологічного процесу виконана за принципом концентрації операцій і передбачає значний штучно-калькуляційний час та велику кількість допоміжних переходів при обробленні заготовок.

Виходячи із умов середньосерійного виробництва існуюча структура технологічного процесу обробки вала не є раціональною.

2) В базовому технологічному процесі виготовлення вала не витримується однакова тривалість часу операцій, їх кратність такту випуску виробів із технологічної лінії, яка притаманна середньосерійному типу виробництва.

3) На технологічних операціях не застосовуються пристрої з пневматичними (гідравлічними) приводами для спрощеного устанавлення (базування і закріплення) заготовки. Відсутність наведених пристроїв не дає можливість скоротити допоміжний час в межах штучно-калькуляційного часу окремої операції, що призводить до збільшення її трудомісткості.

4) Використання в межах однієї операції чорнових і чистових режимів обробки заготовок призводить до збільшеного зносу верстатів, зменшення їх жорсткості та точності обробки.

5) Використання на операціях технологічного процесу виготовлення вала оброблювальних центрів з ЧПК, які мають значну потужність головного приводу, велику кількість методів обробки і різальних інструментів, робить їх використання не завжди економічно доцільним. На собівартість виробу

впливає велика ціна верстата, що в ринкових умовах робить продукцію мало рентабельною.

6) На круглошліфувальній операції використовується застаріле обладнання. Для умов середньосерійного виробництва операцію треба оснастити сучасним продуктивним і більш точним верстатом. На верстаті треба застосувати пристрій для активного контролю точності розмірів шийок деталі, що забезпечить точність розмірів деталі в автоматичному режимі і виключить її похибку.

7) В технологічний процес обробки вала треба ввести оздоблювальну операцію, яка потрібна для забезпечення стабільної шорсткості двох базових (підшипникових) та двох ущільнювальних поверхонь деталі. Відомо [25, 26, 28], що операція шліфування не забезпечує потрібну шорсткість поверхні за критерієм $R_a = 0,8$ мкм. Шліфування заготовки супроводжується високою температурою (вище 750 °C), що призводить до вигорання вуглецю з поверхневого шару заготовки. На обробленій поверхні виникає аморфний шар металу, який впливає на твердість і розміри поверхні. Пропонується підшипникові поверхні обробляти абразивними брусками одним із відомих методів – суперфінішуванням або його удосконаленим аналогом – способом подвійної осциляції брусків. В цих способах обробки виключається вплив температурного фактору (менше 60 °C) та виправляється геометрична форма поверхні в поперечному перерізі – овальність та огранювання. Останній фактор суттєво впливає на якість з'єднання «підшипник кочення – шийка підшипника», а саме, забезпечує його довготривалість за час роботи виробу та зменшує знос роботи резинового ущільнювання.

8) На операції «Слюсарна» необхідно виключити ручну працю при зачищенні задирок деталі. Задирки пропонується видаляти термічним методом, а саме, спалювати у збагаченій киснем суміші водню і кисню. Зачищення відбувається у камері, де температура становить близько 3000 °C. Час горіння не перевищує $0,2$ секунди, заготовка не встигає нагрітися, а задирки, які є на всіх кромках пересічних поверхонь, оплавляються.

Операція виконується на установці зі столом періодичного обертання. Заготовки розміщуються у замкнутій камері, корпус якої оточений охолодною оболонкою. Потім у камеру подається суміш залежно від матеріалу заготовки під тиском у межах 0,4–7 МПа. Продуктивність методу становить чотири деталі за одну хвилину і не потребує значних витрат. Одночасно вирішується проблема із скороченням ручної праці робітників.

9) В існуючому на підприємстві технологічному процесі обробки вала не передбачена операція «Промивання», яка потрібна для видалення металевого і абразивного шламу (бруду) з поверхонь деталі. На шліфувальній операції поверхні вала мають багато включень абразивного шламу. Вимірювання поверхонь деталі контактними контрольно-вимірювальними інструментами (індикаторами) завдає підвищений знос поверхонь контрольних приладів.

Деталі пропонується промивати у ванні бензином марки «Калоша», а поверхні вичищати щіткою КП-40 ГОСТ 10597-87. Деталі після промивання висушуються, з їх поверхонь видаляються останки вологи, залишених після промивання. Сушіння деталі запобігає корозії поверхонь вала.

10) З метою контролю технічних вимог креслення деталі в технологічному процесу її виготовлення треба застосувати операцію «Технічний контроль». На операції необхідно виконати контроль всіх точних розмірів деталі, шорсткості поверхонь $R_a = 0,8-1,6$ мкм, точність взаємного розташування діаметрів шийок (радіальне биття відносно осі «А» в межах 0,02 мм) вала. Контрольний стіл треба укомплектувати потрібними засобами контролю, а для вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь деталі треба розробити спеціальний контрольно-вимірювальний пристрій.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА FSK–0001.00.327

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення вала

Конструкція вала містить циліндричні, площинні, конічні, різьбові поверхні та їх сполучання. Для оброблення наведених поверхонь із різними квалітетами точності, формами, шорсткістю, їх взаємного розташування, застосовуються методи точіння, свердління, зенкування, фрезерування, нарізання різьби, шліфування, суперфінішування. В таблиці 2.1 порівнюються технологічний процес виготовлення вала на підприємстві із запропонованим.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця технологічних процесів оброблення вала

Номер операції	Технологічний процес на підприємстві	Верстат	Запропонований технологічний процес	Верстат
005	Заготівельна	–	Обробка тиском	КГШП
010	Токарна на оброблювальних центрах з ЧПК	DOOSAN Lynx	Термічна обробка	Піч
015			Горизонтально-розточувальна	2M615
020	Фрезерна з ЧПК	DOOSAN DNM 500	Токарна з ЧПК	Star Chip 520x1000
025	Термічна обробка	Піч		
030	Круглошліфувальна	3У131В	Вертикально-фрезерна	UWF 10
035	Слюсарна	Верстак	Термічна обробка	Піч
040	–	–	Круглошліфувальна	RSM 750
045	–	–	Оздоблювальна	SM 667
050	–	–	Слюсарна	Стіл
055	–	–	Промивання	Ванна
060	–	–	Технічний контроль	Стіл ВТК

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

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення заготовки та розроблення технічних вимог для неї

Вихідні дані для виготовлення заготовки: тип виробництва – середньосерійний; матеріал деталі – сталь 45 ГОСТ 1050-88.

На підприємстві заготовка вала виготовляється із круглого прокату діаметром 80(+0,4; -1,0) мм і довжиною 8000 мм, яка потім розрізається на штучні заготовки довжиною $625 \pm 2,2$ мм. В середньосерійному виробництві економічно вигідно виготовляти заготовку формою максимально наближену до форми готової деталі. Пропонується заготовку виготовляти штампуванням на КГШП (заготовки нагріваються індукційним способом).

При порівнянні собівартості заготовки виготовленої із круглого прокату з заготовкою штампованої на КГШП встановлено, що економічно вигідно виготовляти заготовку штампуванням на КГШП.

Призначення табличних значень припусків та допусків на поверхні заготовки, яка одержана способом штампування, згідно ГОСТ 26645–85.

1. Обладнання – КГШП, клас точності Т4 [7, т. 19]; маса штампованої заготовки 17,4 кг [7, т. 20]; клас точності Т4 [7, т. 19]; група сталі М2 [7, т. 1]; ступінь складності поковки С1 [7, додаток 2]; конфігурація поверхні рознімання штампа П (площинна) [7, т. 1].

2. За даними пункту 1 визначається вихідний індекс – 14 [7, т. 2].

3. Визначаються основні і додаткові припуски на механічну обробку (на сторону), напуски, розміри та допуски поковки [7, т. 3, 4, 5, 7, 9, 10, 13, 17, 18] (див. таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Розрахунок розмірів заготовки, в міліметрах

Розмір на кресленні деталі	Шорсткість, Ra мкм	Припуск основний і додатковий (на сторону)	Допуск	Розмір на кресленні заготовки
1	2	3	4	5
Ø70,1h7(0; -0,03)	1,6	2,0+0,4+0,8=3,2	2,8	Ø77(+1,8; -1,0)
Ø60k6(+0,021; +0,002)	0,8	2,2+0,4+0,8=3,4	2,8	Ø67(+1,8; -1,0)
Ø60g6(-0,01; -0,029)	0,8	2,2+0,4+0,8=3,4	2,8	Ø67(+1,8; -1,0)
Ø48h7(0; -0,025)	1,6	2,0+0,4+0,8=3,2	2,8	Ø55(+1,8; -1,0)
Ø30h7(0; -0,021)	1,6	2,0+0,4+0,8=3,2	2,5	Ø36(+1,6; -0,9)
617h14(0; -1,75)	6,3/6,3	3,0+0,4+0,8=4,2	4,5	Ø625(+3,0; -1,5)
219h14(0; -1,15)	6,3/6,3	2,5+0,4+0,8=3,4	3,6	Ø226(+2,4; -1,2)
213js14(±0,575)	6,3/6,3	1,3+0,3+0,6=3,4	3,6	Ø213,5(+2,4; -1,2)
170js14(±0,5)	6,3/6,3	1,7+0,3+0,6=3,4	3,6	Ø170,5(+2,4; -1,2)
43js14(±0,31)	6,3/6,3	1,9+0,3+0,6=3,4	2,8	Ø43(+1,8; -1,0)

За розрахованими розмірами розроблено креслення вихідної заготовки вала та технічні вимоги на її виготовлення (дивись додаток Е).

2.3 Розрахунок припусків на оброблення поверхні обертання

Припуски та проміжні граничні розміри розраховуються для двох поверхонь діаметром 60k6(+0,021; +0,002) мм і довжиною 43 мм. Розміри наведених поверхонь формуються на операціях: 005 «Обробка тиском», 020 та 025 «Токарна з ЧПК», 040 «Круглошліфувальна», 045 «Оздоблювальна».

За методикою та даними джерела [3] визначені вихідні значення елементів припуску (див. таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для визначення припуску на діаметр 60k6

Найменування переходу або операції	Квалітет точності	Елементи припуску, мкм		
		Rz_{i-1}	H_{i-1}	ρ_{i-1}
Штамповка на КГШП	T4	150	250	1780
Токарна з ЧПК (чорнове точіння)	h12	50	50	107
Токарна з ЧПК (чистове точіння)	h8	30	30	71
Круглошліфувальна	h7	10	20	36
Оздоблювальна	k6	5	15	–

Припуски і операційні розміри діаметра 60k6 розраховувалися за програмою «ргір» ver. 7.1 (дивись додаток В). Схема полів припусків і допусків наведена на кресленні «FSK–0001.00.327. Вал. Штамповка» (дивись додаток Е).

2.4 Розмірний аналіз ТП для лінійних розмірів

Лінійні розміри сходинок вала забезпечуються на токарних операціях технологічного процесу обробки деталі. Вихідні дані для розрахунку: $S_1 = 617(0; -1,75)$ мм; $S_2 = 170 \pm 0,5$ мм; $S_3 = 213 \pm 0,575$ мм; $S_4 = 219(0; -1,15)$ мм; $S_5 = 43 \pm 0,31$ мм»; креслення вала (див. рисунок 2.1).

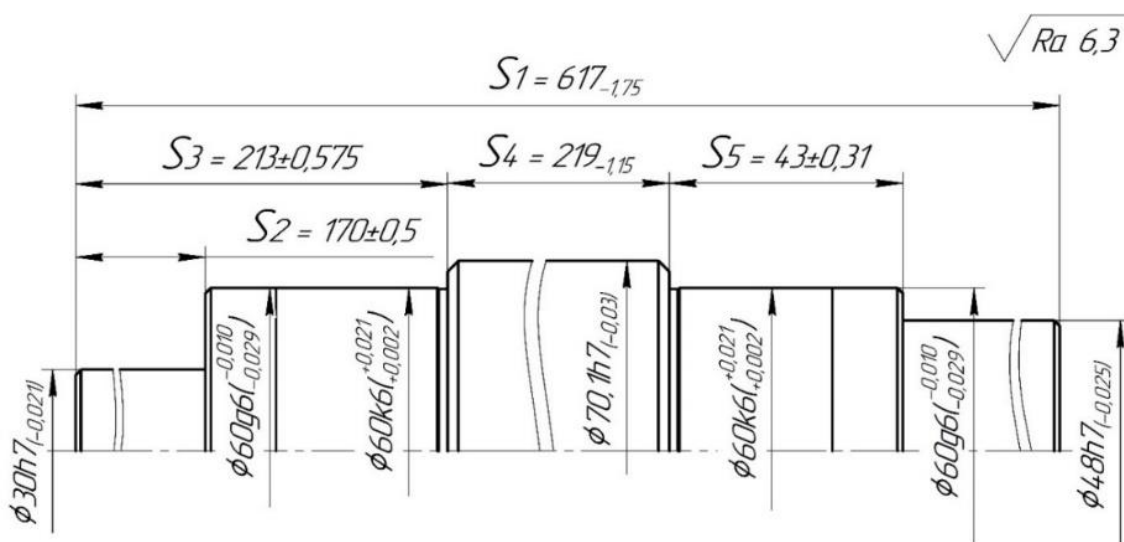


Рисунок 2.1 – Креслення вала

Технологічні операції (переходи) на яких формуються зазначені конструкторські лінійні розміри деталі (див. рисунок 2.2 – 2.5).

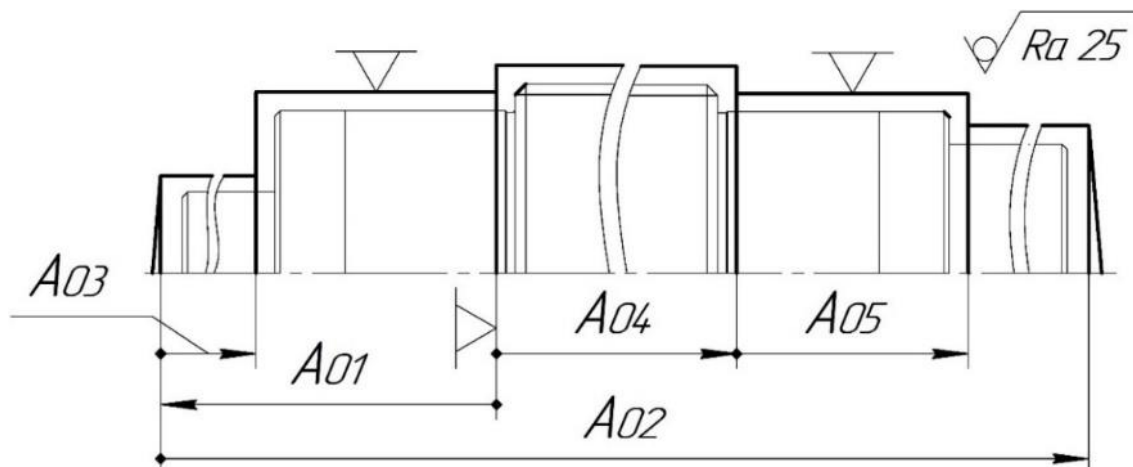


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки на операції 005 «Обробка тиском»

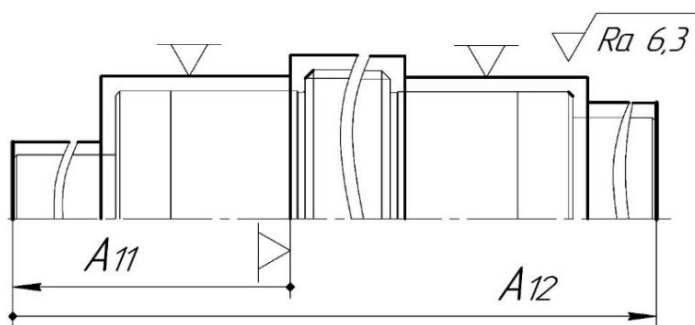


Рисунок 2.3 – Ескіз заготовки на операції 015 «Горизонтально-розточувальна»

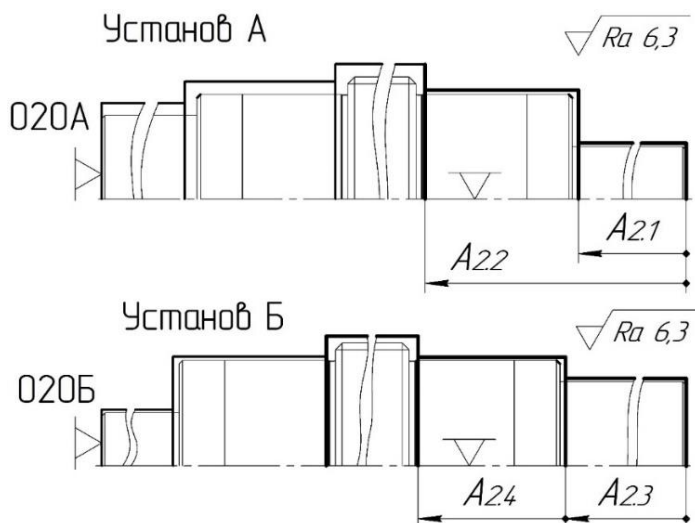


Рисунок 2.4 – Ескіз заготовки на операції 020 «Токарна з ЧПК»

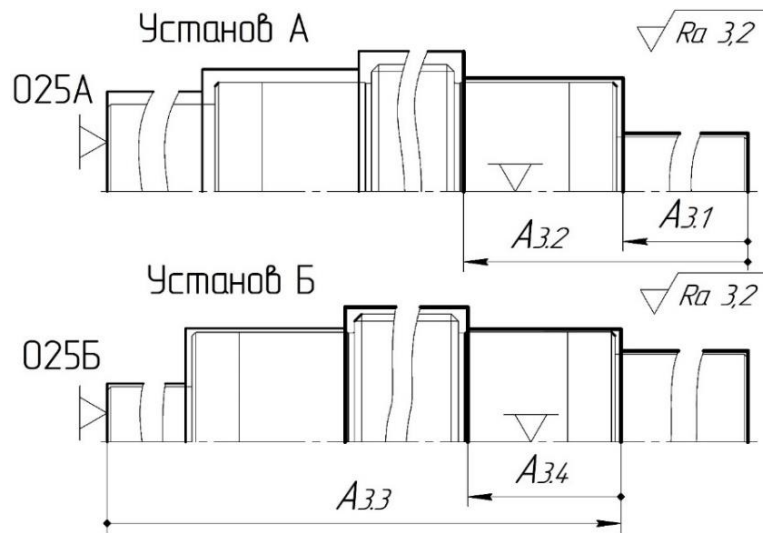


Рисунок 2.5 – Ескіз заготовки на операції 025 «Токарна з ЧПК»

Для наведених операцій будемо схему обробки торцевих поверхонь заготовки (див. рисунок 2.6).

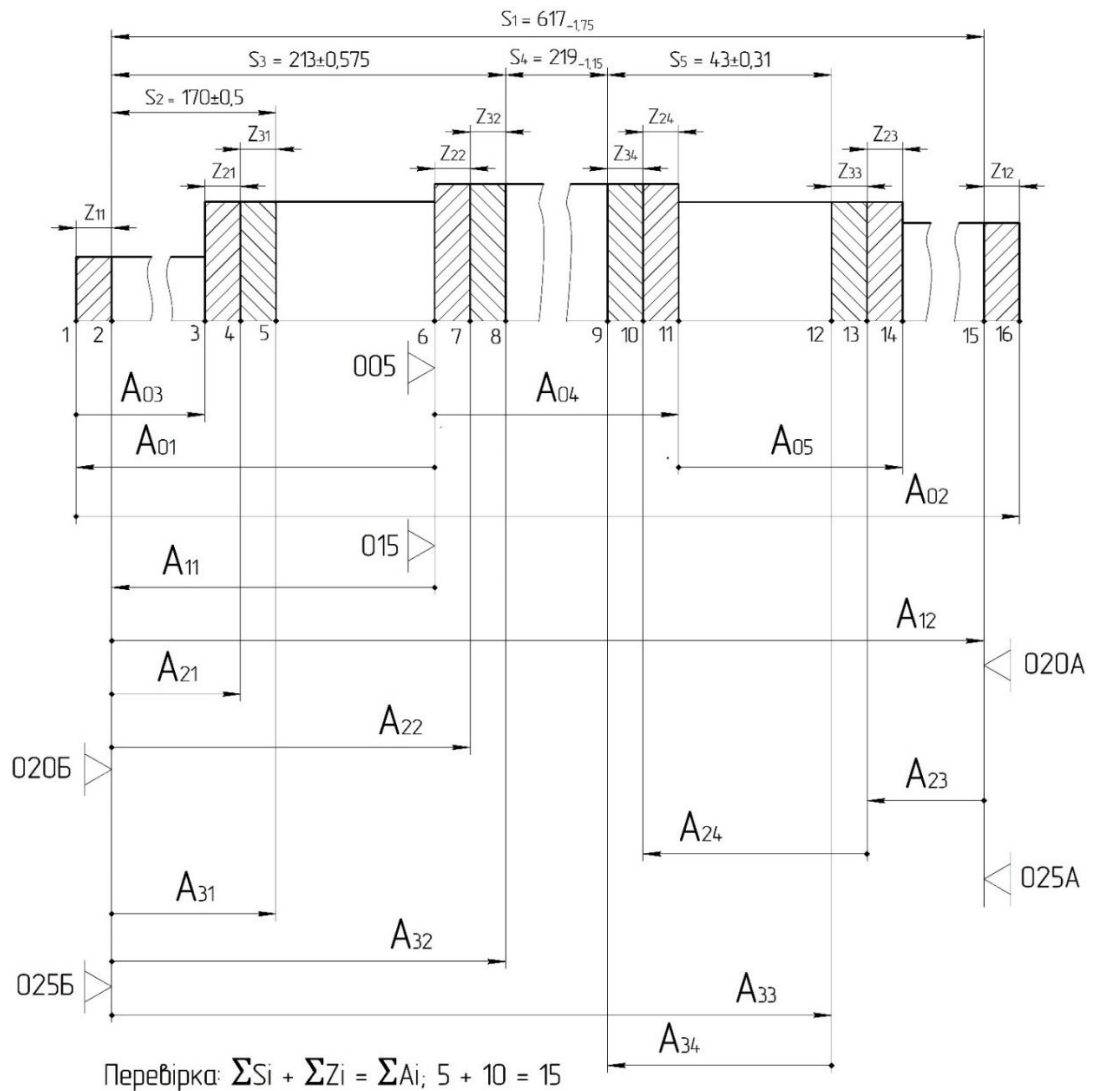


Рисунок 2.6 – Схема обробки торцевих поверхонь вала

На підставі схеми обробки вала (див. рисунок 2.6) будується граф технологічного розмірного ланцюга (ТРЛ) (див рисунок 2.7). Граф ТРЛ дозволяє визначити рівняння контурів, допуски технологічних операційних розмірів і умови забезпечення конструкторських розмірів деталі.

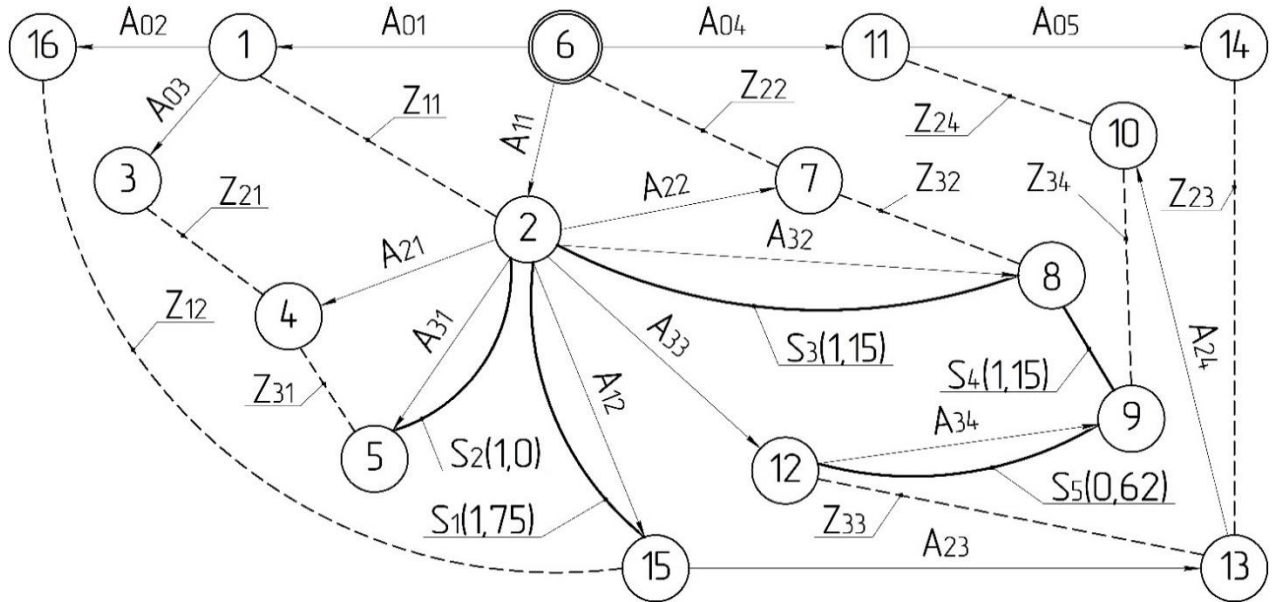


Рисунок 2.7 – Граф технологічного лінійного розмірного ланцюга

Визначення допусків на технологічні розміри деталі.

Допуски лінійних технологічних розмірів для заданих способів обробки, якості точності та шорсткості поверхонь заготовки визначалися на підставі рекомендацій літературних джерел [1 – 3] і наведені в таблиці 2.4.

Для розмірів A_{31} та A_{32} виникає похибка базування, яка дорівнює допуску розміру $TA_{12} = 0,755$ мм, що пов'язує технологічну (поверхня 2) і вимірювальну (поверхня 15) бази. Похибка базування (див. таблиця 2.4) становить 0,755 мм. Але вал оброблюється на операції 025, де застосовується верстат з ЧПК. Налаштування на обробку розмірів A_{31} та A_{32} виконується від поверхні 15 (вимірювальної бази). Це значить, що технологічна і вимірювальна бази суміщені і похибка базування для наведених розмірів дорівнює нулю. Таким чином, остаточні допуски розмірів $TA_{31} = 0,25$ мм, $TA_{32} = 0,29$ мм, що визначені згідно даних нормативного джерела СТ СЄВ 144–75.

На операції при обробленні розмірів A_{11} та A_{12} виникає домінуюча похибка, яка пов'язана із просторовим відхиленням поверхонь заготовки, що впливає на точність цих розмірів. На величину домінуючої похибки треба розширити відповідні допуски розмірів A_{11} та A_{12} , які проставлені від «чорнових» поверхонь (торців $\varnothing 36$ та $\varnothing 55$ мм), і мають жолоблення [3, с. 18, т. 25].

Таблиця 2.4 – Розрахунок допусків на лінійні 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
$A_{0.1}$	Штамповка на КГШП, С1, М2, ВІ 14 ГОСТ 7505–89	Т4	25	Більше 213	3,6(+2,4;-1,2)		3,6
$A_{0.2}$				До 625	4,5(+3,0;-1,5)		4,5
$A_{0.3}$				Більше 170	3,6(+2,4;-1,2)		3,6
$A_{0.4}$				Більше 219	3,6(+2,4;-1,2)		3,6
$A_{0.5}$				Більше 43	2,8(+1,8;-1,0)		2,8
$A_{1.1}$	Горизонтально-розточувальна	h12	6,3	Більше 213	0,46	$\rho_{ж} = 0,036$	0,496
$A_{1.2}$	Горизонтально-розточувальна	h12	6,3	До 625	0,7	$\rho_{ж} = 0,055$	0,755
$A_{2.1}$	Токарна чорнова	H12	6,3	Більше 170	0,4	$\varepsilon_6 = 0,755^*$	1,155 (0,4)
$A_{2.2}$	Токарна чорнова	H12	6,3	Більше 213	0,46	$\varepsilon_6 = 0,755^*$	1,215 (0,46)
$A_{2.3}$	Токарна чорнова	H12	6,3	Більше 141	0,4	$\varepsilon_6 = 0,755^*$	1,155 (0,4)
$A_{2.4}$	Токарна чорнова	H12	6,3	Більше 43	0,25	–	0,25
$A_{3.1}$	Токарна п/чистова	H11	3,2	Більше 170	0,25	$\varepsilon_6 = 0,7^*$	0,25
$A_{3.2}$	Токарна п/чистова	H11	3,2	Більше 213	0,29	$\varepsilon_6 = 0,7^*$	0,29
$A_{3.3}$	Токарна п/чистова	h11	3,2	До 475	0,4	–	0,4
$A_{3.4}$	Токарна п/чистова	H10	3,2	Більше 43	0,1	–	0,1

Похибка, що пов'язана із жолобленням торцевих поверхонь заготовки, визначається за формулою:

- для ступені $\varnothing 36$ мм

$$\rho_{ж} = \Delta \cdot L = 1,0 \cdot 36 = 36 \text{ мкм} = 0,036 \text{ мм},$$

де $\Delta = 1,0$ мкм/мм – питоме жолоблення;

$L = 36$ мм – розмір діаметра лівої ступені деталі.

- для ступені $\varnothing 55$ мм

$$\rho_{\text{ж}} = \Delta \cdot L = 1,0 \cdot 55 = 55 \text{ мкм} = 0,055 \text{ мм},$$

де $\Delta = 1,0$ мкм/мм – питома жолоблення;

$L = 55$ мм – розмір діаметра правої ступені деталі.

Розміри A_{21} , A_{22} , A_{23} на технологічних переходах операції 020 проставлені від поверхонь, які не співпадають з технологічними базами (див. рисунок 2.4). Тому на цих технологічних переходах виникає похибка базування ε_6 , яка дорівнює сумі допусків на розміри між вимірювальною та технологічною базами (поверхнями 2 і 15). На графі (див. рисунок 2.7) це позначено умовним знаком – прямокутником із номерами поверхонь 2 та 15. Таким чином, похибка, яка пов'язана із не суміщенням технологічної та вимірювальної базами визначається за формулою:

$$\varepsilon_{621} = TA_{1.2} + TA_{2.1} = 0,755 + 0,4 = 1,155 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{622} = TA_{1.2} + TA_{2.2} = 0,755 + 0,46 = 1,215 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{623} = TA_{1.2} + TA_{2.3} = 0,755 + 0,4 = 1,155 \text{ мм.}$$

На величину розрахованих похибок розширені допуски наведених розмірів (дивись графу 7 таблиці 2.5).

Беручи до уваги, що обробка поверхонь вала виконується на верстаті з ЧПК, можна сумістити технологічні і вимірювальні бази на відповідних технологічних переходах. Це зменшить допуск наведених розмірів на величину домінуючої похибки і підвищить їх точність (дивись графу 8 таблиці 2.5).

Перевірочний розрахунок технологічних розмірів (мм)

$$S_1^{\text{max}} = 617 > A_{12}^{\text{max}} = 616,5;$$

$$S_1^{\text{min}} = 617_{-1,75} < A_{12}^{\text{min}} = 616,5_{-0,755};$$

$$S_2^{\text{max}} = 170^{+0,5} > A_{31}^{\text{max}} = 169,9^{+0,25};$$

$$S_2^{\text{min}} = 170_{-0,5} < A_{31}^{\text{min}} = 169,9;$$

$$S_3^{\text{max}} = 213^{+0,575} > A_{32}^{\text{max}} = 212,9^{+0,29};$$

$$S_3^{\text{min}} = 213_{-0,575} < A_{32}^{\text{min}} = 212,9;$$

$$S_{4(p)} = A_{33} - A_{34} - A_{32} = 474,8_{-0,4} - 43^{+0,1} - 212,9^{+0,29} = 218,9_{-0,79};$$

$$S_4^{max} = 219 > S_{4(p)}^{max} = 218,9;$$

$$S_4^{min} = 219_{-1,15} < S_{4(p)}^{min} = 218,9_{-0,79};$$

$$S_5^{max} = 43^{+0,31} \geq A_{34}^{max} = 43^{+0,1};$$

$$S_5^{min} = 43_{-0,31} < A_{34}^{min} = 43;$$

$$Z_{31(p)} = A_{31} - A_{21} = 169,9^{+0,25} - 169,4^{+0,4} = 0,5_{-0,4}^{+0,25} > Z_{31}^{min} = 0,1;$$

$$Z_{32(p)} = A_{32} - A_{22} = 212,9^{+0,29} - 212,3^{+0,46} = 0,6_{-0,46}^{+0,29} > Z_{32}^{min} = 0,1;$$

$$\begin{aligned} Z_{33(p)} &= A_{12} - A_{23} - A_{33} = \\ &= 616,5_{-0,755} - 140,4^{+0,4} - 474,8_{-0,4} = 1,3_{-1,155}^{+0,4} > Z_{33}^{min} = 0,1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{34(p)} &= A_{12} + A_{34} - A_{24} - A_{23} - A_{33} = \\ &= 616,5_{-0,755} + 43^{+0,1} - 42,8^{+0,25} - 140,4^{+0,4} - 474,8_{-0,4} = \\ &= 1,5_{-1,405}^{+0,5} > Z_{34}^{min} = 0,1; \end{aligned}$$

$$Z_{22(p)} = A_{22} - A_{11} = 212,3^{+0,46} - 211,9_{-0,496} = 0,4^{+0,956} > Z_{22}^{min} = 0,4;$$

$$Z_{11(p)} = A_{01} - A_{11} = 215_{-1,2}^{+2,4} - 211,9_{-0,496} = 3,1_{-1,2}^{+2,896} > Z_{11}^{min} = 0,4;$$

$$\begin{aligned} Z_{21(p)} &= A_{01} + A_{21} - A_{03} - A_{11} = \\ &= 215_{-1,2}^{+2,4} + 169,4^{+0,4} - 168_{-1,2}^{+2,4} - 211,9_{-0,496} = 4,5_{-3,6}^{+4,496} > Z_{21}^{min} = 0,4; \\ Z_{12(p)} &= A_{02} + A_{11} - A_{01} - A_{12} = \\ &= 626_{-1,5}^{+3,0} + 211,9_{-0,496} - 215_{-1,2}^{+2,4} - 616,5_{-0,755} = 6,4_{-4,396}^{+4,955} > Z_{12}^{min} = 0,4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{24(p)} &= A_{04} + A_{24} + A_{23} + A_{11} - A_{12} = \\ &= 225_{-1,2}^{+2,4} + 42,8^{+0,25} + 140,4^{+0,4} + 211,9_{-0,496} - 616,5_{-0,755} = \\ &= 3,6_{-1,696}^{+3,805} > Z_{24}^{min} = 0,4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{23(p)} &= A_{23} + A_{05} + A_{11} + A_{04} - A_{12} = \\ &= 140,4^{+0,4} + 43_{-1,0}^{+1,8} + 211,9_{-0,496} + 225_{-1,2}^{+2,4} - 616,5_{-0,755} = \\ &= 3,8_{-2,696}^{+5,355} > Z_{23}^{min} = 0,4. \end{aligned}$$

2.5 Розроблення структури операції 040 «Круглошліфувальна»

2.5.1 Обґрунтування та вибір схем базування та закріплення заготовки

Верстат круглошліфувальний моделі RSM 750. Схема базування і закріплення заготовки на установках А і Б наведені на рисунках 2.8 та 2.9.

На установі А операції шліфуються два діаметри $60,1h7(0; -0,03)$ мм; діаметри $70,1h7(0; -0,03)$ мм і $48h7(0; -0,025)$ мм, а на установі Б – діаметр $30h7(0; -0,021)$ мм. На операції треба витримати радіальне биття шийок вала відносно осі центрів в межах 0,02 мм. Вал на базується на центрові отвори, які є явними базами і реалізують приховану базу – вісь вала «В», а остання є одночасно конструкторською, технологічною і вимірювальною базою.

Таблиця 2.5 – Розрахунок технологічних розмірів, в міліметрах

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	617 ^{-1,75}	0,755	616,125	±0,4975	616,5	A ₃₄	0,1	A ₃₄ -S ₅ =0	43	42,95 ^{+0,1}	43 ^{+0,1}	43,05
S ₂	170±0,5	0,25	170	±0,375	170	A ₃₃	-0,4	A ₃₃ -A ₃₄ -S ₄ -A ₃₂ =0	474,62	474,82 ^{-0,4}	474,8 ^{-0,4}	474,6
S ₃	213±0,575	0,29	213	±0,43	213	A ₃₂	0,29	A ₃₂ -S ₃ =0	213	212,855 ^{+0,29}	212,9 ^{+0,29}	213,045
S ₄	219 ^{-1,15}	0,79	218,425	±0,18	218,5	A ₃₁	0,25	A ₃₁ -S ₂ =0	170	169,875 ^{+0,25}	169,9 ^{+0,25}	170,025
S ₅	43±0,31	0,1	43	±0,26	43	A ₂₄	0,25	A ₂₄ +A ₂₃ -A ₁₂ +A ₃₃ -A ₃₄ +Z ₃₄ =0	42,92	42,795 ^{+0,25}	42,8 ^{+0,25}	42,925
Z ₁₁	0,4	4,096	2,448	+∞	2,5	A ₂₃	0,4	A ₂₃ -A ₁₂ +A ₃₃ +Z ₃₃ =0	140,645	140,445 ^{+0,4}	140,4 ^{+0,4}	140,6
Z ₁₂	0,4	9,351	5,0755	+∞	5,1	A ₂₂	0,46	A ₂₂ +Z ₃₂ -A ₃₂ =0	212,57	212,34 ^{+0,46}	212,3 ^{+0,46}	212,53
Z ₂₁	0,4	8,096	4,448	+∞	4,5	A ₂₁	0,4	A ₂₁ +Z ₃₁ -A ₃₁ =0	169,6	169,4 ^{+0,4}	169,4 ^{+0,4}	169,6
Z ₂₂	0,4	0,956	0,878	+∞	0,9	A ₁₂	-0,755	A ₁₂ -S ₁ =0	616,125	616,5025 ^{-0,755}	616,5 ^{-0,755}	616,1225
Z ₂₃	0,4	8,051	4,4255	+∞	4,5	A ₁₁	-0,496	A ₁₁ +Z ₂₂ -A ₂₂ =0	211,652	211,9 ^{-0,496}	211,9 ^{-0,496}	211,652
Z ₂₄	0,4	5,501	3,1505	+∞	3,2	A ₀₅	2,8(+1,8;-1,0)	A ₀₅ -Z ₂₃ +A ₂₃ -A ₁₂ +A ₁₁ +A ₀₄ =0	42,696	43,096 ^{+1,8} _{-1,0}	43 ^{+1,8} _{-1,0}	43,4
Z ₃₁	0,1	0,65	0,425	+∞	0,5	A ₀₄	3,6(+2,4;-1,2)	A ₀₄ -Z ₂₄ +A ₂₄ +A ₂₃ -A ₁₂ +A ₁₁ =0	224,096	224,696 ^{+2,4} _{-1,2}	225 ^{+2,4} _{-1,2}	225,6
Z ₃₂	0,1	0,75	0,475	+∞	0,5	A ₀₃	3,6(+2,4;-1,2)	A ₀₃ +Z ₂₁ -A ₂₁ +A ₁₁ -A ₀₁ =0	169,1	169,7 ^{+2,4} _{-1,2}	168 ^{+2,4} _{-1,2}	168,6
Z ₃₃	0,1	1,555	0,8775	+∞	0,9	A ₀₂	4,5(+3,0;-1,5)	A ₀₂ -Z ₁₂ -A ₁₂ +A ₁₁ -A ₀₁ =0	625,046	625,796 ^{+3,0} _{-1,5}	626 ^{+3,0} _{-1,5}	626,75
Z ₃₄	0,1	1,905	1,0525	+∞	1,1	A ₀₁	3,6(+2,4;-1,2)	A ₀₁ -A ₁₁ -Z ₁₁ =0	214,1	214,8 ^{+2,4} _{-1,2}	215 ^{+2,4} _{-1,2}	215,6

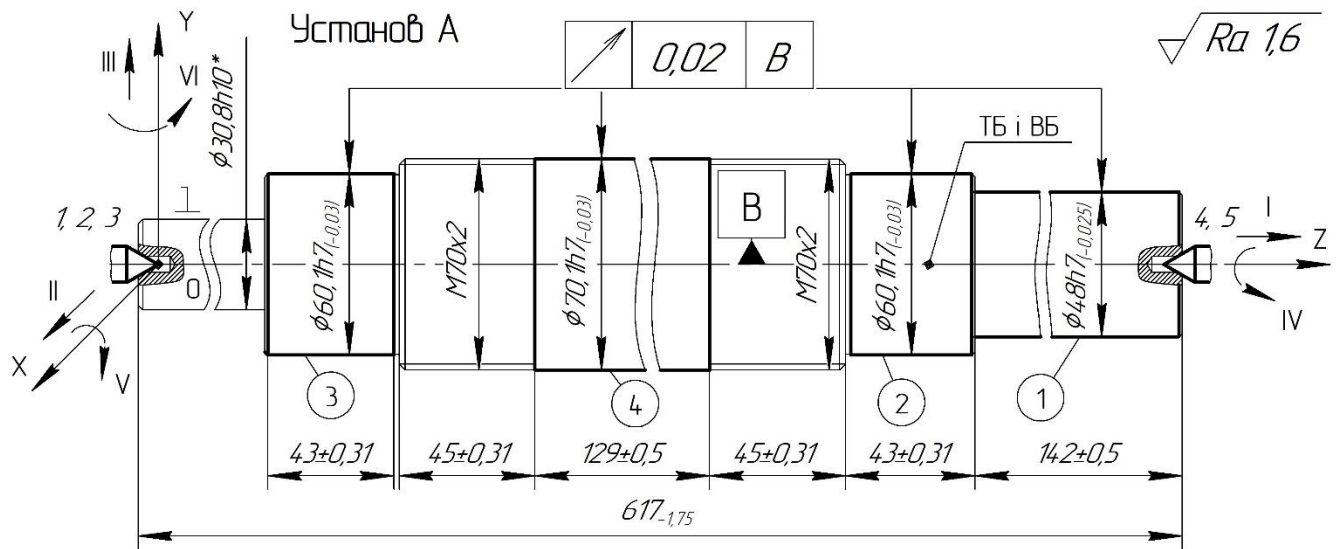


Рисунок 2.8 – Ескіз заготовки на операції 040. Установ А

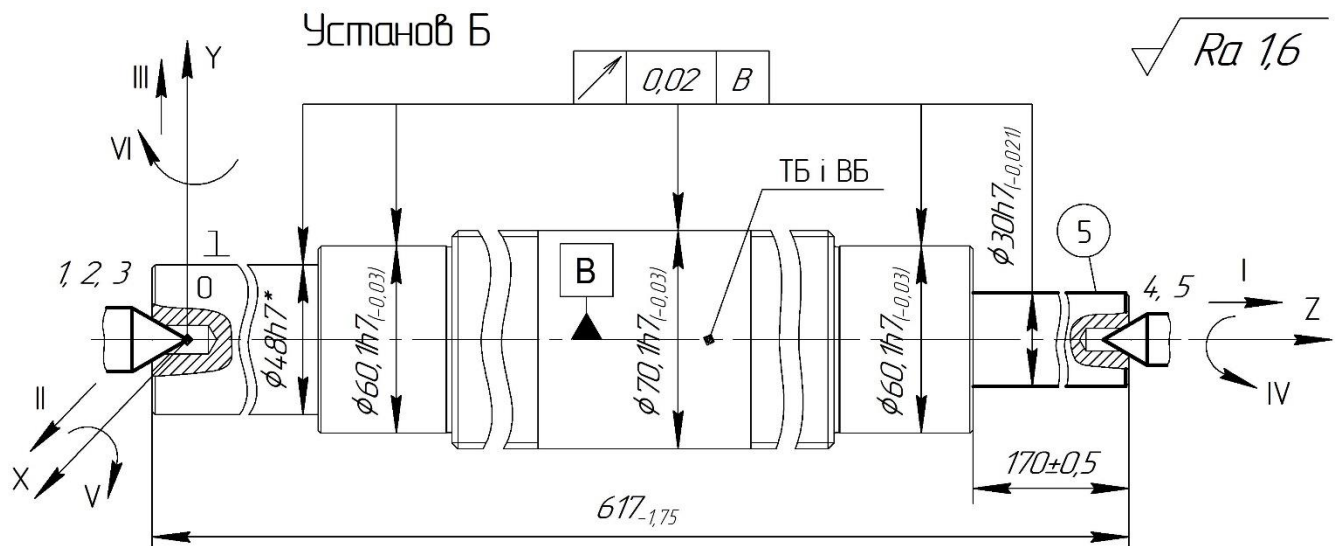


Рисунок 2.9 – Ескіз заготовки на операції 040. Установ Б

Схема базування вала в жорстких центрах наведена в таблицях 2.6 і 2.7.

Таблиця 2.6 – Таблиця відповідності

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

Таблиця 2.7 – Матриця зв'язків

X, Y, Z / 1, α	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-Ь зв'язків

2.5.2 Обґрунтування та вибір моделі металорізального верстата

Для шліфування діаметральних сходинок вала використовується верстат моделі RSM 750 (див. таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика верстата моделі RSM 750

Параметри	Чисельні дані
Висота центрів над столом, мм	125
Найбільша довжина шліфування, мм	750
Діаметр шліфування, мм	8 – 200
Максимальна вага заготовки, кг	50
Максимальний повздовжній хід стола, мм	800
Подача стола, м/хв	0,1 – 4
Подача за один оберт маховика, мм	6
Частота обертання шпинделя, об/хв (кількість обертів)	60 – 460 (6)
Конус шпинделя і пінолі задньої бабки	МК 3
Хід шпиндельної бабки, мм	25
Частота обертання шпинделя, об/хв	1820
Максимальний хід шпиндельної бабки, мм	150
Подача за один оберт маховика, мм	1
Розміри шліфувального круга (D x H x d) мм	400 x 40 x 203
Загальна потужність приводу головного руху, кВт	4,24
Габарити верстата (Д x Ш x В), мм	2700 x 1420 x 1600
Вага верстата, кг	2700

Шліфувальний верстат забезпечує вимоги креслення щодо точності розмірів діаметральних поверхонь, їх шорсткості, точності відносного розташування сходинок вала відносно осі центрів деталі. Верстат забезпечує точність радіального биття на всій довжині оброблювальної поверхні 0,003 мм; відхилення від циліндричності 0,005 мм. При використанні оптимального режиму шліфування, характеристики шліфувального круга, змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) на верстаті можна отримати шорсткість поверхні в межах $R_a = 0,63-0,4$ мкм.

2.5.3 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Для передачі крутного моменту заготовки застосовується хомутик. Умовне позначення: хомутик 7101-0063 ГОСТ 18488-76. Заготовка базується на двох жорстких центрах: центр 7031-0022 ГОСТ 13214-71 та 7031-0032 ГОСТ 13214-71.

Різальний інструмент – круг ПП400х40х203 ГОСТ 2424-88; характеристика шліфувального круга – 25 С2 5 К6 65 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-88.

Вимірювальний інструмент – калібр-скоби гладкі 30h7; 48h7; 60,1h7; 70,1h7 ГОСТ 18361-73. Профілограф-профілометр моделі 240 ГОСТ 9504-80 (цеховий варіант). Для вимірювання радіального биття діаметральних східчастих поверхонь застосовується контрольно-вимірювальний пристрій (розроблений в розділі 2.10 пояснювальної записки).

2.5.4 Розрахунок режимів різання

Обробка виконується на круглошліфувальному верстаті моделі RSM 750, потужність верстата $N = 4,24$ кВт. На установках А і Б операції оброблюються п'ять циліндричних поверхонь діаметрами: 30h7 x 170 мм; 48h7 x 142 мм; 60,1h7 x 43 мм (дві поверхні); 70,1h7 x 129 мм. Заготовка базується на два жорсткі центри, крутний момент заготовки передається хомутиком.

Режим різання розраховується для діаметра 30h7 x 170 мм ($R_a = 1,6$ мкм).

1. Вибираємо розміри і характеристику шліфувального круга. За паспортними даними верстата беремо площинний круг прямого профілю на керамічній в'язці, тип

ПП 400×40×203 ГОСТ 2424–88, маса круга 8,6 кг [8, карта 3]. Допустима швидкість круга $[V_{кр}] = 65$ м/с. Характеристика круга 24A16C25K5 ГОСТ 2424–88.

Перевіряємо швидкість круга $V_{кр}$ за його максимальними обертами $n_{кр}$:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{кр}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 1820}{1000 \cdot 60} \approx 38,1 \text{ м/с.}$$

Якщо $[V_{кр}] = 65$ м/с $>$ $V_{\phi} = 38,1$ м/с, то використання круга із такими розмірами допустимо.

2. Беремо частоту обертів заготовки $n_d = 205$ об/хв [8, карта 6, лист 1]. Потім визначаємо швидкість обертання деталі V_d :

$$V_d = \frac{\pi \cdot D_d \cdot n_d}{1000} = \frac{3,14 \cdot 30,6 \cdot 205}{1000} = 19,7 \text{ м/хв.}$$

3. Беремо табличне значення повздовжньої хвилинної подачі $S_{XB}^T = 4420$ мм/хв [8, карта 6, лист 1]. Вибрану подачу коригуємо поправочними коефіцієнтами:

$K_{XB1} = 1,0$ – вплив шорсткості поверхні заготовки [8, карта 6, лист 3];

$K_{XB2} = 0,95$ – вплив форми поверхні (циліндрична із торцем з однієї сторони) [8, карта 6, лист 4].

$$S_{XB} = S_{XB}^T \cdot K_{XB1} \cdot K_{XB2} = 4420 \cdot 1 \cdot 0,95 = 4199 \text{ мм/хв.}$$

4. Беремо табличне значення поперечної подачі $S_{tx}^n = 0,0065$ мм/хв [8, карта 6, лист 2]. Вибрану подачу S_{tx}^n коригуємо поправочними коефіцієнтами:

$K_{st1} = 1,0$ – вплив обробленого матеріалу і квалітету точності поверхні заготовки [8, карта 6, лист 2];

$K_{st2} = 1,15$ – вплив припуску заготовки [8, карта 6, лист 3];

$K_{st3} = 0,9$ – вплив розміру і швидкості шліфувального круга [8, карта 6, лист 3];

$K_{st4} = 1,0$ – вплив способу шліфування і контролю розмірів поверхонь [8, карта 6, лист 3];

$K_{st5} = 0,9$ – вплив форми поверхні і жорсткості заготовки [8, карта 6, лист 3];

$K_1 = 1,0$ – вплив твердості шліфувального круга [8, карта 3];

$K_{ж} = 1,0$ – вплив точності і жорсткості верстата [8, карта 2].

$$S_{tx} = S_{tx}^n \cdot K_{st1} \cdot K_{st2} \cdot K_{st3} \cdot K_{st4} \cdot K_{st5} \cdot K_1 \cdot K_{ж} =$$

$$= 0,0065 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0061 \text{ мм/хід.}$$

5. Визначаємо табличне значення потужності різання $N^T = 2,4$ кВт і коригуємо її на коефіцієнт $K_N = 1,16$ – твердості та швидкості круга [8, карта 7, листи 1 та 2]:

$$N = N^T \cdot K_N = 2,4 \cdot 1,16 = 2,784 \approx 2,8 \text{ кВт.}$$

Вибираємо допустиму питому потужність $[N_{\Pi}] = 0,1$ кВт/мм за межами якої при шліфуванні з'являються прожоги оброблювальної поверхні [8, карта 7, лист 2].

Перевіряємо визначену N потужність шліфування залежно від ширини круга H за умов обробки загартованої сталі (HRC 42...45) без її прожогу:

$$N_{\Pi} = \frac{N}{H} = \frac{2,8}{40} = 0,07 \text{ кВт/мм.}$$

Якщо виконується умова $[N_{\Pi}] = 0,1 \text{ кВт/мм} > N_{\Pi} = 0,07 \text{ кВт/мм}$, то шліфування заготовки без прожогу можлива.

6. Перевіряємо потужність різання N із потужністю N_B верстата:

$$N = 2,8 \text{ кВт} < N_B = 4,24 \text{ кВт} \text{ – обробка можлива.}$$

7. Визначаємо основний (машинний) час T_{01} (хв) при обробки поверхні діаметром $30h7$ і довжиною $L_3 = 170,5$ мм, з величиною перебігу $0,5$ мм [8, карта 6, лист 4]:

$$T_{01} = \frac{L_3 \cdot 2\Pi}{2 \cdot S_{XB} \cdot S_{tx}} = \frac{170,5 \cdot 0,6}{2 \cdot 4199 \cdot 0,0061} \cong 2,0 \text{ хв.}$$

На інші технологічні переходи шліфувальної операції режими різання визначалися табличним методом (див. таблиця 2.9).

Таблиця 2.9 – Режими різання на операції 040 «Круглошліфувальна»

Діаметр оброблювальної поверхні, мм	$V_{кр}$, м/с	V_d , м/хв	S_{XB} , мм/хв	S_{tx} , мм/хід	N_{Π} , кВт/мм	T_0 , хв
30h7	38,1	19,7	4199	0,0061	0,07	2,0
48h7		30,5	3629	0,0056	0,0625	2,5
60,1h7 (2-і поверхні)		26,5	–	0,35	0,076	1,8
70,1h7		27,3	3496	0,056	0,0825	2,3
Всього						8,6

2.5.5 Технічне нормування операції

У середньосерійному виробництві штучно-калькуляційний час $T_{ш-к}$ розраховується за формулою

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

де $T_o = 8,6$ хв – основний (машинний) час;

$N_{п} = 95$ шт – кількість деталей в партії;

$T_{п-з} = 7$ хв – підготовче-завершальний час (встановлення повідкового пристрою) [4, П.6.8, с. 220];

T_d – допоміжний час, який складається із часу:

$T_{вс} = 0,23$ хв – установа заготовки в центрах та зняття її руками [4, П.5.3, с. 198];

$T_{зв} = 0,16$ хв – закріплення і відкріплення заготовки в пристрої [4, П.5.7, с. 201];

$T_{кер} = 0,01 + 0,04 = 0,05$ хв (вмикання і вимикання верстата, його частин 0,01 хв [4, П.5.8, с. 203], підвести або відвести шліфувальний круг до заготовки із появою спалаху 0,04 хв [4, П.5.8, с. 203]);

$T_{вим} (100\%) = 0,09 \cdot 5 = 0,45$ хв – вимірювання заготовки калібр-скобами (п'ять вимірювань) [4, П.5.12, с. 207].

Допоміжний час визначається за формулою:

$$T_d = 1,5(T_{вс} + T_{зв} + T_{кер} + T_{вим}) = 1,5(0,23 + 0,16 + 0,05 + 0,45) = 1,34 \text{ хв.}$$

Оперативний час $T_{оп}$ визначається за формулою:

$$T_{оп} = T_o + T_d = 8,6 + 1,34 = 9,94 \text{ хв.}$$

Час технічного обслуговування $T_{тех}$ робочого місця визначається у відсотках від основного часу ($\Pi_{тех} = 2\%$) [4, П.5.20, с. 212]:

$$T_{тех} = \frac{\Pi_{тех} \cdot T_o}{100\%} = \frac{2 \cdot 8,6}{100} = 0,172 \text{ хв.}$$

Час організаційного обслуговування $T_{орг}$ робочого місця визначається у відсотках від оперативного часу ($\Pi_{орг} = 1,7\%$) [4, П.5.21, с. 213]:

$$T_{орг} = \frac{\Pi_{орг} \cdot T_{оп}}{100\%} = \frac{1,7 \cdot 9,94}{100} \cong 0,17 \text{ хв.}$$

Час відпочинку $T_{\text{від}}$ визначається у відсотках від оперативного часу ($P_{\text{від}} = 5\%$) [4, П.6.2, с. 215]:

$$T_{\text{від}} = \frac{P_{\text{від}} \cdot T_{\text{оп}}}{100\%} = \frac{5 \cdot 9,94}{100} \cong 0,5 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{7}{95} + 8,6 + 1,34 + 0,172 + 0,17 + 0,5 \cong 10,9 \text{ хв.}$$

2.6 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

2.6.1 Обґрунтування мети операції контролю.

За вимогами креслення (дивись додаток А) треба контролювати радіальне биття двох діаметрів $60k6(+0,021; +0,002)$ мм і діаметрів $60g6(-0,01; -0,029)$ мм; діаметрів $70,1h7(0; -0,03)$ мм; $48h7(0; -0,025)$ мм; $30h7(0; -0,021)$ мм відносно осі центрів шийок деталі в межах 0,02 мм на діаметр.

Вихідні дані. Річна програма випуску виробів $N = 2000$ штук, тип виробництва – середньосерійний, такт випуску деталей за час роботи підприємства впродовж двох змін $\tau = 121$ хв., контролюється весь об'єм випуску деталей, контроль деталей відбувається на контрольному столі після зняття деталі з верстата.

Аналіз конструкції деталі на технологічність вимірювання. Базою для контролю радіального биття будуть два центрових отвори (дивись вид Г та перетин Ж–Ж), які зображені на кресленні «Вал FSK–0001.00.327». Центрові отвори виконані згідно ГОСТ 14034–74, поверхні доступні, відкриті. Для устанавлення вала на центри конструкція КВП повинна мати один із центрів рухомим уздовж осі А. Устанавлення деталі на два жорстких центри дозволить реалізувати сумісну подвійну напрямну та опорну базу, яка позбавить деталь п'яти ступенів свободи. Всі зазначені діаметральні поверхні для вимірювання є відкритими, доступними та не обмежать використання вимірювальних засобів за всією їх площиною.

Згідно ГОСТ 20737–75 приймається нормальний режим контролю. Показники контролю: за об'ємом – безперервний; за часом – постійний; за структурою – однократний. Перевіряється 100% деталей.

Поверхні, які будуть знаходитися в контакті із засобами вимірювання (ЗВ), це діаметри 1, 2, ..., 7 (див. рисунок 2.10). Використання індикаторів контролю на всій площині діаметрів поверхонь 1, 2, 3, 5, 6 не мають будь-яких обмежень.

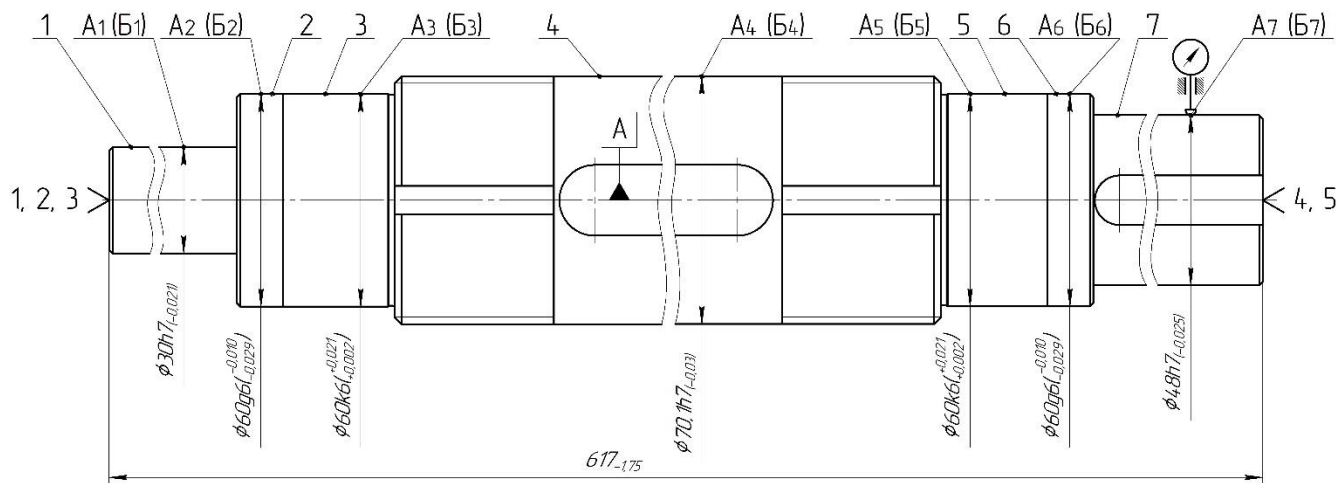


Рисунок 2.10 – Схема вимірювання радіального биття поверхонь 1, 2, ..., 7 вала

Контрольними точками вимірювання будуть довільні точки діаметральних поверхонь 60k6; 60g6; 30h7. Вихідними точками будуть точки A₁, A₂, A₃, A₅, A₆ дотиків індикаторів із вимірювальними поверхнями деталі на початку вимірювання. Кінцевими точками будуть точки B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, які будуть співпадати із вихідними точками A₁, A₂, A₃, A₅, A₆ після обертання вала на кут 360° навколо осі A. За найбільшим відхиленням стрілок індикаторів одного обертання вала можна зробити висновок о величині радіального биття шийок деталі.

Поверхня 4 має один шпонковий паз довжиною 125 мм, якій розташований на всю довжину шийки поверхні. Ширина паза 20H9 мм. Вимірювання передбачає контакт ЗВ по всієї довжини кола поверхні 4, але ширина паза 20 мм обмежує безперервний контакт. При вимірюванні переривчастої поверхні треба контакт ЗВ зробити не точковим а поверхневим. Вихідна точка вимірювання A₄, кінцева – B₄.

Поверхня 7 має також шпонковий паз, який розташований практично на всю довжину 140 мм цієї поверхні. Ширина паза становить 14H9 мм. Паз обмежує безперервне вимірювання довжини кола поверхні 7 і тому в конструкції КВП треба

передбачити поверхневий контакт ЗВ із цією поверхнею. Вихідна точка вимірювання A_7 , кінцева – B_7 .

Поверхні, які підлягають контролю, мають 6 – 7 квалітети точності розмірів, шорсткість поверхонь становить $R_a = 0,8 - 1,6$ мкм. Точність форми (в середньому) $\Delta_\phi = 0,4 \cdot 0,019 = 0,0076$ мм, допуски круглості і профілю повздовжнього перетину знаходяться в межах $0,01 - 0,02$ мм.

Точність конічних базових поверхонь конструктором не обумовлена, але згідно ГОСТ 14034–74 шорсткість $R_a = 1,25$ мкм і допуск на кут 60° дорівнює $\pm 20'$.

Деталь віднесена до тіл обертання, за технологічною ознакою – до класу валів, маса деталі – 11,6 кг, матеріал – сталь 45 ГОСТ 1050–88, твердість НВ 217...228, густина матеріалу $\gamma = 7,905 \cdot 10^3$ кг/м³.

Згідно ГОСТ 25347–82 визначені допуски та їх відхилення наступних розмірів.

Квалітет точності розмірів $\varnothing 60k6$ – шостий; допуск розміру $T_{60k6} = 0,019$ мм; відхилення поля допуску $ES = + 0,021$ мм; $EI = + 0,002$ мм.

Квалітет точності розмірів $\varnothing 60g6$ – шостий; допуск розміру $T_{60g6} = 0,019$ мм; відхилення поля допуску $ES = - 0,010$ мм, $EI = - 0,029$ мм.

Квалітет точності розміру $\varnothing 70,1h7$ – сьомий; допуск розміру $T_{70,1h7} = 0,03$ мм; відхилення поля допуску $ES = 0$; $EI = - 0,03$ мм.

Квалітет точності розміру $\varnothing 48h7$ – сьомий; допуск розміру $T_{48h7} = 0,025$ мм; відхилення поля допуску $ES = 0$; $EI = - 0,025$ мм.

Квалітет точності розміру $\varnothing 30h7$ – сьомий; допуск розміру $T_{30h7} = 0,021$ мм; відхилення поля допуску $ES = 0$; $EI = - 0,021$ мм.

Точність форми наведених діаметрів не визначена, тому приймемо її 60% від поля допуску на відповідний розмір.

$$\Delta_{\varnothing 60k6} = \Delta_{\varnothing 60g6} = 0,4 \cdot T_{\varnothing 60} = 0,4 \cdot 19 = 7,6 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\varnothing 70,1h7} = 0,4 \cdot T_{\varnothing 70,1} = 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\varnothing 48h7} = 0,4 \cdot T_{\varnothing 48} = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\varnothing 30h7} = 0,4 \cdot T_{\varnothing 30} = 0,4 \cdot 21 = 8,4 \text{ мкм}.$$

Визначена точність форми поверхонь 1,...,7 відповідає нормальній А відносній геометричній точності згідно ГОСТ 24643–81.

За даними креслення шорсткість поверхонь 2, 3, 5, 6 деталі становить $R_a = 0,8$ мкм, а поверхонь 1, 4, 7 – $R_a = 1,6$ мкм.

2.6.2 Обґрунтування та вибір методів вимірювання.

Деталь в КВП встановлюється на два жорстких центри (дивись креслення ТМ21510230–08.00.00 СК). Перший центр (нерухомий) розташований в корпусі встановленому на площині плити КВП. Другий центр – рухомий. Він розташовується в корпусі встановленому на площині плити і знаходиться в пінолі, яка має рухи уздовж осі лінії центрів А. Це дозволяє переустановлювати деталі для вимірювання. Вісь деталі, яка встановлена на центри, повинна бути паралельна площині плити із встановленими на них корпусами. Чисельна величина паралельності складає не більше 1 – 2 мкм на 100 мм довжини площини плити. Зазначену величину паралельності треба призначити в технічних вимогах креслення КВП і реалізувати на стадії складання виробу.

Для забезпечення точності взаємного розташування нерухомого і рухомого центрів із лінією центрів деталі, треба складений КВП шліфувати за одну установку. Це відбувається при зведенні рухомого і нерухомого центрів і подальшою їх сумісною обробкою на операції шліфування. Площина плити є базою, на яку встановлюється магнітний корпус із стояком і де закріплюється мікронний індикатор ТЕЗА.

Вимірювання відбувається послідовним переустановленням магнітного корпусу із стояком та індикатором у вихідні точки вимірювання A_1, \dots, A_7 . Деталь рукою обертається на кут $360^\circ \pm 1^\circ$. При обертанні візуально фіксується максимальний діапазон переміщення стрілки по шкалі індикатора. Порівнянням показника отриманого значення індикатора із наведеним на кресленні показником радіального биття (0,02 мм) робиться висновок о відповідності наведеної технічної вимоги.

Метод вимірювання – контактний, контроль – прямий. Умови в яких відбувається вимірювання: температура в зоні вимірювання становить $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ГОСТ 12.01.005–76; відносна вологість повітря $\varphi_{\text{н}} = 80\%$; тиск $P_{\text{ат}} = 86\text{--}106$ КПа; швидкість руху повітря $V_{\text{в}} \leq 0,5$ м/с; освітлення зони робочого місця $E_{\text{ф}} = 1000$ люкс.

2.6.3 Обґрунтування та вибір засобів вимірювання.

В КВП застосовується контактний спосіб вимірювання. Для забезпечення точкового контакту індикатора із діаметрами поверхонь 1, 2, 3, 5, 6 за рекомендаціями джерела [1] була вибрана вимірювальна сталева вставка із формою сфери моделі № 35.10001 (ТН 10) (див. рисунок 2.11, а).

Для вимірювання діаметрів поверхонь 4 та 7 були запропоновані універсальні вимірювальні сталеві вставки із формою радіусами R35 та R24 відповідно (див. рисунок 2.11, б, в).

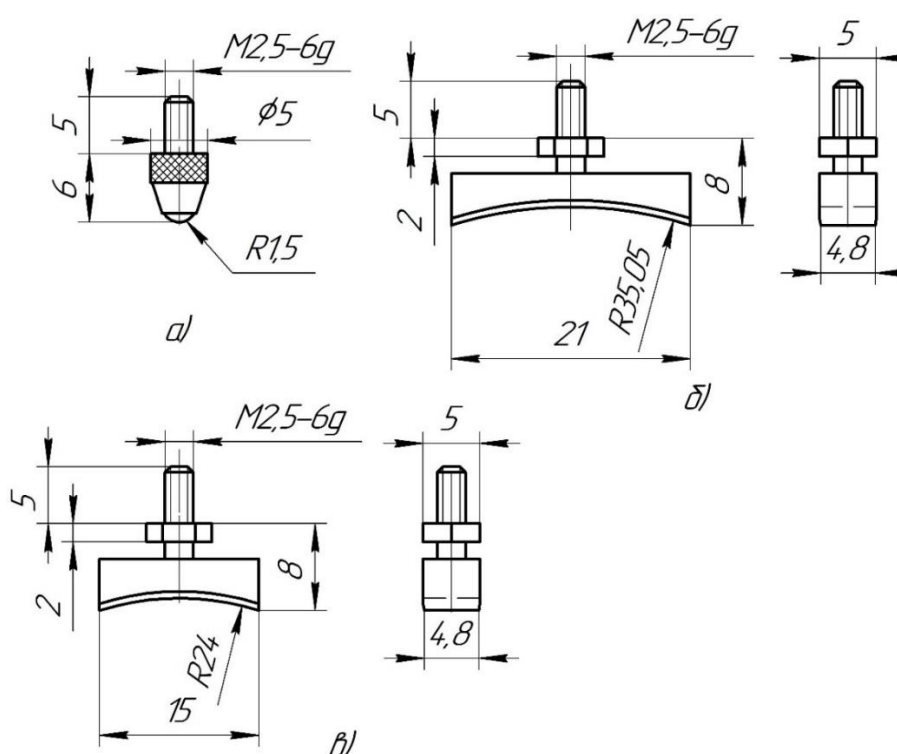


Рисунок 2.11 – Змінні вимірювальні вставки до мікроіндикатора моделі Ø80 ТЕЗА: а) стандартна вимірювальна сталева вставка моделі № 35.10001 (ТН 10); б) універсальна вимірювальна сталева вставка для діаметра $70,1h7$; в) універсальна вимірювальна сталева вставка для діаметра $48h7$

Похибка від вимірювального зусилля Δ_3 для вставки моделі № 35.10001 (ТН 10) визначається за формулою Герца [2]:

$$\Delta_3 = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_3^2}{r}} = 0,43 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,7^2}{1,5}} \cong 0,54 \text{ мкм,}$$

де $K = 1$ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювальної вставки (сталева вставка);

$P_3 = 1,7$ – максимальне зусилля вимірювальної вставки;

$r = 1,5$ мм – радіус вимірювальної вставки.

Обираємо засіб вимірювання. Розрахунок виконуємо за технічними вимогами креслення – допуску радіального биття шийок деталі 0,02 мм.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП $|T_B|$ визначається за формулою:

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

Згідно ГОСТ 8051–81 рекомендується прийняти $|T_B| = 5$ мкм.

Визначаємо допустиму $|\Delta_B|$ похибку ЗВ:

$$|\Delta_B| = 0,7|T_B| = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки визначається залежно від величини допустимої похибки ЗВ. Приймаємо ціну поділки $C = 0,001$ мм. Відстань між поділками шкали індикатора дорівнює 2 мм. Межа вимірювання за шкалою (А) повинна перевищувати допуск IT . Це потрібно для того, щоб зняття показників індикатора не викликало утруднень. Приймаємо $A = 4IT = 4 \cdot 0,02 = 0,08$ мм. Діапазон індикації визначається умовами експлуатації. Приймаємо $B = 1$ мм. Вимірювальне зусилля $P_3 = 1,7$ Н, похибка вимірювального зусилля $\Delta P_3 = 0,5$ Н.

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

$$t(P) = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ циклів.}$$

Витрати на ЗВ приймаємо $\Pi = 500$ грн.

Остаточно приймаємо ЗВ із наступними технічними характеристиками: 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 [1] (див. рисунок 2.12).

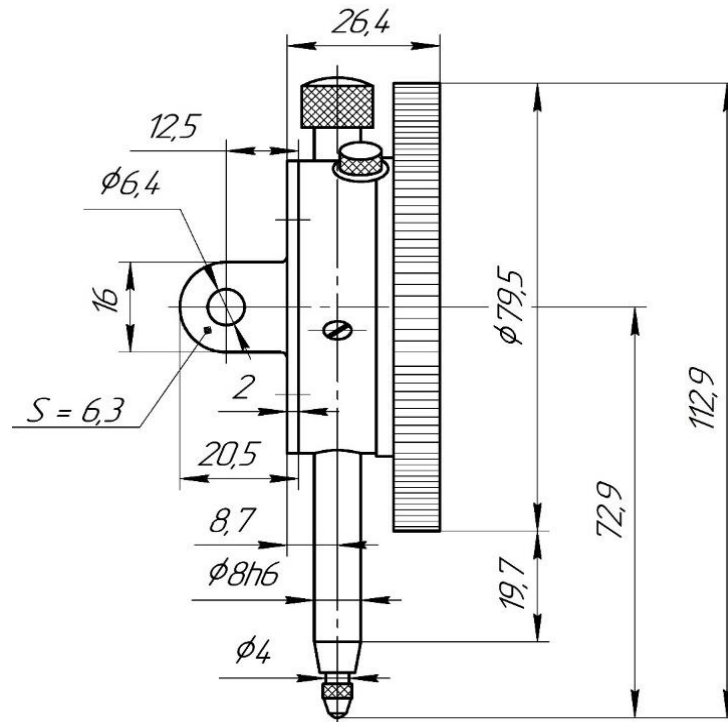


Рисунок 2.12 – Мікроіндикатор ТЕЗА № 14.10801, модель Ø80

2.6.4 Ескізне проектування КВП.

Розрахунок фактичної сумарної похибки КВП виконується за формулою:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon + \Delta_{\text{п}} + \Delta_{\text{е}} + \Delta_{\text{п}} + \Delta_t + \Delta_3,$$

де $\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} = 1$ мкм – похибка установлення деталі в пристрої;

$\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування; $\varepsilon_3 = 0$ – похибка закріплення; $\varepsilon_{\text{пр}} = 1$ мкм – похибка виготовлення елементів пристрою (паралельність осі А деталі відносно поверхні плити);

$\Delta_{\text{п}} = 0$ – похибка передавального устрою (в КВП немає);

$\Delta_{\text{е}} = 0$ – похибка виготовлення еталону (в КВП немає);

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

$\Delta_3 = 0,54$ мкм – похибка вимірювального зусилля;

Δ_t – температура в зоні вимірювання.

Температура в зоні вимірювання визначається за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta_t &= l \cdot [\alpha_1(t_1 - 20^0) - \alpha_2(t_2 - 20^0)] = \\ &= 70 \cdot [12,0 \cdot 10^{-6}(25^0 - 20^0) - 11,5 \cdot 10^{-6}(25^0 - 20^0)] \approx 0,2 \text{ мкм}, \end{aligned}$$

де $l = 70$ мм – найбільший розмір вимірювальної поверхні (діаметр $70h7$);

$\alpha_1 = 12,0 \cdot 10^{-6}$ і $\alpha_2 = 11,5 \cdot 10^{-6}$ – коефіцієнти лінійного розширення відповідно матеріалу деталі (сталь 45) та вимірювальної сталеві вставки;

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

$$\varepsilon_0 = 1 + 0 + 0 + 1 + 0,2 + 0,54 = 2,74 \cong 3,0 \text{ мкм.}$$

Якщо $\varepsilon_0 = 3 \text{ мкм} < |T_B| = 5 \text{ мкм}$, то контроль деталі буде забезпечений.

Остаточне проектування КВП виконується графічним методом на кресленні ТМ21510230–08.00.00 СК (дивись додаток Д).

2.6.5 Опис конструкції та роботи КВП.

Конструкція контрольного пристрою (дивись додаток Д) складається із плити 1, двох корпусів 2 та 5, магнітного стояка 13 з індикатором 26. У втулку 3 заднього корпусу 2 вставлений жорсткий нерухомий центр 4. В передньому корпусі 5 розташовується рухома піноль 7 із вставленим жорстким центром 6. Піноль рухається за допомогою шпинделю 8 при обертанні маховика 9. Для вимірювання радіального биття шийок вала застосовується магніт 12 із стояком 13, на якому розташовані скоба 16, валик 15 з індикатором 26, шпилька 17 із затискачем 18. Закріплення валика 15 з індикатором 26 виконується закручуванням затискача 18.

Деталь установлюється центровими отворами на жорсткі центри 4 та 6 і підтискується рухом пінолі 7, вибираючи «люфт» в радіальному і осьовому напрямках відносно осі центрів деталі. Далі перевіряється спроможність вільного обертання деталі навколо своєї осі. На площину плити 1 встановлюється магніт із стояком 13 та закріпленим індикатором 26, в ніжку якого вставлена вставка для вимірювання діаметральних поверхонь 1, 2, 3, 5, 6. Ніжка індикатора 26 із вставкою встановлюється з натягом на вимірювальну поверхню, а стрілка індикатора виставляється на «0». Наприклад, вимірювальною поверхнею буде поверхня 5 (діаметр $60k6$ мм). Деталь рукою обертається на кут $360^\circ \pm 1^\circ$ і візуально фіксуються найбільше відхилення стрілки індикатора. Отримане значення заноситься в журнал контрольних випробувань і робиться висновок о відповідності отриманої величини

вимірювання із величиною заданою кресленням. За такою методикою вимірюються радіальні биття інших діаметрів шийок деталі.

Для вимірювання діаметрів поверхонь 4 та 7 застосовують вимірювальні вставки з радіусами R35 мм та R24 мм відповідно. Час вимірювання (41,5 хвилини) значно менше такту випуску виробів (121 хвилини).

Після вимірювання всіх 7-и діаметральних поверхонь вала магніт із стояком знімається із площини плити. Обертанням маховика рухома піноль із центром виводиться із центрального отвору деталі і остання видаляється із пристрою.

За результатами всіх 7-и вимірів радіального биття шийок вала робиться висновок о відповідності деталі вимогам креслення.

КВП треба зберігати в спеціальному футлярі. При зберіганні контрольного пристрою треба прийняти заходи по виключенню ударів, вібрацій, сонячного випромінювання, магнітних силових полів, вологи, пилу. Перед зберіганням контрольного пристрою на складі, його поверхні тертя треба змастити мастилом.

2.7 Висновок

1. Запропонований новий варіант технологічного процесу виготовлення вала.

2. За техніко-економічним обґрунтуванням вибраний спосіб виготовлення вихідної заготовки вала – штамповка на КГШП.

3. Розрахунково-аналітичним методом на ЕОМ розраховані припуски на два діаметри 60k6 з використанням програми «rgr» ver.7.1.

4. Згідно методики розмірного аналізу технологічного процесу виготовлення вала зроблені розрахунки для визначення точності лінійних розмірів деталі.

5. Запропонована раціональна схема базування та закріплення заготовок на операції 040 «Круглошліфувальна», вибрана нова модель верстата, технологічна оснастка, різальний та вимірювальний інструменти. На операцію розрахунково-аналітичним методом розраховані режими різання та технічна норма часу.

6. Для контролю радіального биття двох діаметрів 60k6(+0,021; +0,002) мм; двох діаметрів 60g6(-0,01; -0,029) мм; діаметрів 70,1h7(0; =0,03) мм; 48h7(0; -0,025) мм; 30h7(0; -0,021) мм відносно осі центрів шийок деталі в межах 0,02 мм на діаметр спроектований контрольно-вимірювальний пристрій.

3 СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЇ СУПЕРФІНІШУВАННЯ ШИЙОК ВАЛА

3.1 Способи обробки циліндричних поверхонь абразивними брусками

Найбільш розповсюдженим способом обробки підшипникових поверхонь є суперфінішування абразивними брусками [1, 2]. Встановлено, що експлуатаційні характеристики верхнього шару заготовки, обробленого суперфінішуванням, значно вищі в порівнянні з шліфуванням, поліруванням або хонінгуванням [14, 15, 16 19, 20]. Основна мета способу суперфінішування – зниження шорсткості поверхні з $R_a = 1,25$ мкм до $R_a = 0,08$ мкм та підвищення якісних показників верхнього шару заготовки. Позитивними показниками способу суперфінішування є низька температура (не більше 60 °С) зони різання та обробка поверхні за одну операцію із послідовним виконанням чорнового і чистового переходів: чорновий передбачає видалення припуску, а чистовий забезпечує потрібну шорсткість поверхні.

Однак, спосіб суперфінішування має суттєві недоліки.

1.Різання абразивними зернами бруска поверхні заготовки припиняється раніше, ніж будуть видалені дефекти з поверхні зоставлених попередньою операцією. За даними підприємств, де заготовки оброблювалися цим способом, на їх поверхні зоставалися невидалені глибокі риски, окремі задирки, окалина [30, 31, 32].

2.Різка зниження видалення металу за час операції дозволяє обробляти тільки мікроскопічну висоту нерівності поверхні заготовки. Не завжди видалялася вихідна похибка форми в поперечному перерізі, а похибки форми в повздовжньому перерізі (конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність) практично не виправлялася [23].

3.Суперфінішуванням практично не оброблюються сталі із збільшеним відсотком нікелю, титану в їх хімічному складі, тому що на їх поверхнях виникають великі задирки, а робоча поверхня абразивного бруска «засалюється».

4.Контакт оброблювальної поверхні заготовки з робочою поверхнею бруска здійснюється по всій площині їх дотику і не дозволяє змашувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР) ефективно видаляти шлам із зони обробки.

Спроби усунути наведені недоліки обробкою заготовок суперфінішуванням із різними режимами різання, брусками спеціальних конструкцій та їх характеристик, застосуванням складних составів ЗОР, не призвели до бажаного результату.

З метою удосконалення процесу суперфінішування розроблено багато інших способів обробки абразивними брусками, які відрізнялися один від одного напрямом коливальних рухів абразивного інструменту відносно оброблювальної поверхні заготовки [1, 3, 23]. Аналіз кінематичних параметрів запропонованих способів обробки дозволив класифікувати їх за двома напрямками коливальних рухів інструменту: коливання уздовж напрямної із постійним контактом інструменту з поверхнею заготовки та коливання під кутом до напрямної із переривчастим контактом інструмента з поверхнею заготовки.

Суперфінішування та його модифікації [6, 12, 14, 19, 25, 26] характеризуються коливанням уздовж напрямної та постійним контактом бруска і заготовки. За такими рухами різальна спроможність інструмента підтримується за рахунок контакту абразивних виступів із мікроскопічним рельєфом поверхні заготовки. На інтенсивність заточування затуплених зерен впливає швидкі коливання бруска, що відбуваються уздовж осі обертання заготовки. Але за період обробки шорсткість поверхні заготовки зменшується і процес різання закінчується раніше [4, 30], ніж повністю видаляються її сліди зоставленої попередньою операцією. При суперфінішуванні [5, 26, 37] контакт бруска із поверхнею заготовки відбувається всією площиною і не змінюється за час обробки, що не дозволяє видаляти шлам із зони різання і призводить до «засалювання» робочої поверхні інструменту.

В роботах [29, 33, 39] пропонуються способи обробки, де коливання бруска відбувається під кутом до напрямної поверхні заготовки. Одна частина бруска має періодичний контакт з поверхнею заготовки, друга – постійний лінійний контакт із напрямною. Наведена кінематика рухів бруска має невелику продуктивність обробки і не спроможна забезпечити потрібну точність форми та шорсткість поверхні заготовки [33].

У деяких способах обробки, наприклад, суперфінішування із ультразвуковими коливаннями (УЗК) або «мікродоводка» [7, 17, 21], передбачений переривчастий

контакт бруска і заготовки. Абразивному інструменту додатково додають коливальні рухи перпендикулярно до обробленої поверхні із ультразвуковими частотами. Між робочими поверхнями бруска і заготовки періодично виникає зазор за час їх роботи. Зерна бруска незначний час знаходяться в контакті із заготовкою, їх різальні кромки не встигають затупитися і розколюються під дією високої частоти УЗК. За даними дослідів цих процесів [7, 21], продуктивність не перевищує продуктивності звичайного суперфінішування. Також, динамічний характер дії інструмента із заготовкою призводить до підвищеного (непродуктивного) зносу робочої поверхні інструмента.

Більш раціонально використовувати робочу поверхню бруска можна із збільшенням часу контакту бруска і заготовки [8]. Авторами робіт [9, 40] запропонований спосіб обробки брусками, де інструменту задають коливальні рухи перпендикулярно до поверхні заготовки. За час контакту бруска і заготовки виконується додаткове притиснення інструмента пружним елементом. Промислові дослідження наведеного способу довели [9, 40], що його продуктивність обробки заготовки вище продуктивності суперфінішування у 3 – 5 рази.

Змінювання часу контакту інструменту із заготовкою позитивно впливає на різальну спроможність зерен бруска. Але запропонований спосіб обробки [40] за цією схемою не усунений від недоліків.

1. Час контакту інструменту і заготовки в межах одного коливального руху регулюється змінюванням величиною зазору. Вихідний зазор обмежується міцністю абразивного бруска і «засалюванням» його робочої поверхні. Вузька межа регулювання не дозволяє повністю використовувати різальні властивості інструменту, що негативно впливає на продуктивність процесу обробки.

2. Напрямок рухів бруска співпадає із напрямом мікронерівностей поверхні заготовки, що збільшує можливість попадання різальних зернин в глибини між їх виступами. Це негативно впливає на шорсткість поверхні та призводить до зниженню продуктивності обробки.

3. За час контакту бруска і заготовки інструмент немає додаткових рухів по поверхні заготовки. Це підвищує інтенсивність затуплення різальних зерен бруска і його робоча поверхня повністю не використовується.

Поліпшення технологічних показників процесу оздоблювальної обробки брусками можна досягнути підвищенням різальної спроможності інструменту. Для цього треба розробити нову технологічну схему оздоблювальної операції із використанням позитивних ефектів існуючих способів обробки.

3.2 Продуктивність способів обробки абразивними брусками

Основною метою оздоблювальної обробки абразивними брусками є видалення шару металу із вихідною шорсткістю та висотою хвилястості поверхні. Для цього призначають припуск на сторону в межах 15 – 20 мкм [1, 23]. В багатьох випадках суперфінішуванням видалення такої величини припуску неможливо, що пов'язано із швидким припиненням процесу різання [31]. Існують різні погляди причини припинення процесу різання.

Автори робіт [3, 4, 7] визначають три етапи інтенсивності видалення металу за час різання. На першому етапі відбувається підвищене видалення металу, що пояснюється хорошим станом робочої поверхні бруска. Різальні зерна безперервно заточуються при їх контакті із відносно високою шорсткістю поверхні заготовки. На другому етапі величина шорсткості зменшується, що зменшує питомий тиск зерен бруска на поверхню заготовки. Видалення металу різко зменшується і взаємодія інструмента та заготовки носить характер пластичного деформування. На третьому етапі питомий тиск зменшується настільки, що між поверхнями бруска і заготовки з'являється плівка рідини певної в'язкості, яка не розривається різальними зернами і обробка автоматично припиняється.

Автори джерел [16, 17] причиною припинення різання абразивним бруском вважають затуплення зерен і появою на їх виступах площини зносу.

Деякі дослідники пояснюють припинення процесу різання накопиченням продуктів зносу [20, 22]. За їх думкою обробка брусками відбувається у два етапи. На першому етапі видаляються відносно великі нерівності і з'являються більш

менші. На другому етапі продукти розпаду зерен, в'язки і стружки разом із ЗОР утворюють на робочій поверхні бруска невеликий шар шламу, який є основною причиною появи низької шорсткості поверхні і зменшення видалення металу.

В джерелах [35, 37] зниження продуктивності пояснюється одночасним «засалюванням» поверхні бруска та затупленням його зерен. Підвищення питомого тиску бруска на заготовку збільшує налипання металу на робочу поверхню бруска і кількості рисок та задирок на поверхні заготовки [6]. Це явище характерно при обробки незагартованих сталей і сплавів [27, 34].

Обробка азотованих, цементованих, хромованих сталей відбувається тільки в режимі полірування [19]. Застосування спеціальних брусків із перервною поверхнею дозволило підвищити продуктивність на 30–50% за рахунок кращого підведення ЗОР в зону обробки і видалення шламу.

На продуктивність суттєво впливає співвідношення колової швидкості заготовки і швидкості коливальних рухів бруска. На поверхні заготовки з'являються сліди зерен у вигляді сітки із кутом α . Найбільше видалення металу відбувається при куту $\alpha = 0,52\text{--}0,87$ рад, а з його збільшенням до $1,07\text{--}1,4$ рад відбувається пластична деформація поверхні [23, 37]. Але зменшення видалення металу характерно для всього діапазону кутів α [25, 26] і керувати процесом різання цим співвідношенням швидкостей неможливо.

Перспективним способом обробки брусками є спосіб подвійної осциляції брусків, який передбачає періодичну дію сили інструменту на заготовку [45]. Дія сили відбувається через пружний елемент (пружину) в перпендикулярному напрямку до поверхні заготовки. Наведені рухи інструмента призводять до періодичної появи зазору між робочими поверхнями бруска і заготовки, що дозволяє підтримувати різальну спроможність зерен і видаляти шлам із зони обробки. Дослідами встановлено, що видалення металу відбувається постійно за час обробки заготовки [33]. Також, окреме керування радіальними і осьовими коливаннями бруска дозволяє підвищити продуктивність і розширити діапазон обробки металів із різними фізико-механічними властивостями [30, 32].

3.3 Умови зниження шорсткості поверхонь

Шорсткість поверхні остаточно формується на оздоблювальних операціях і є геометричною характеристикою поверхні деталі. Величина шорсткості після суперфінішування оцінюється показником h/ρ , де h – глибина проникнення зерен бруска в поверхню метала (мкм), а ρ – радіус шпичака зерна (мкм) [1, 10, 12]. Дослідами встановлено [10, 12, 14], що за чисельними значеннями показника h/ρ можна виділити три види утворення шорсткості: різанням, пружним і пластичним відтисненням металу. При різанні металу брусками шорсткість поверхні в середньому становить $R_a = 0,16\text{--}0,32$ мкм. Поверхня має вигляд перехрещених слідів зерен, що визначилася рухами бруска і заготовки. Але різке зниження різальної спроможності зерен бруска призводить до появи поверхні, яка утворилася пружним, а потім, пластичним відтисненням металу. Дослідження такої поверхні показали, що на ній окрім ділянок із шорсткістю $R_a = 0,04\text{--}0,02$ мкм, є окремі ділянки шорсткості зоставлених попередніми операціями (шліфуванням та чистовим точінням) [1, 14, 15]. Автори цих робіт пояснюють механізм утворення такої поверхні наступним. При суперфінішуванні та його модифікаціях різання відбувається тільки в початковий період обробки. На зерна бруска спочатку діють великі тангенціальні та нормальні складові сили різання і тому слабо закріплені в'язкою зерна випадають, а в роботу залучаються нові зерна бруска. Так відбувається самостійне заточування робочої поверхні бруска. У подальшому шорсткість поверхні знижується і знижується силова її дія на зерна. Заточення робочої поверхні бруска різко знижується і відбувається тільки в межах мікрорельєфу окремих зерен. Виникає поява такого стану обробки, коли сили різання, що діють на метал, не спроможні перевищити межу його міцності. Обробка переходить до стадії пластичного деформування металу і різання закінчується. На це явище суттєво впливає безперервний контакт бруска із поверхнею заготовки, що обмежує видалення шламу із зони різання.

В способах обробки брусками, де додаються допоміжні УЗК, різання підтримується за рахунок безперервних ударних контактів бруска і заготовки [7, 21]. Це відновлює затуплені зерна бруска, але велика частота коливань, яка відбувається

у перпендикулярному напрямку до поверхні обробки, призводить до підвищеного зносу інструменту. Зерна бруска не встигають зрізати шорсткість поверхні і розколюються під дією наступного ударного імпульсу. Результатом такої обробки є невидалена шорсткість поверхні, яка залишилася від попередніх операцій.

Авторами робіт [9, 32, 45] запропонований спосіб обробки, що працює за ударно-циклічною і циклічною схемою різання. Шорсткість поверхонь після обробки таким способом знаходиться в межах $R_a = 0,08-0,16$ мкм. Ударно-циклічна схема передбачає наявність коливального руху радіально (перпендикулярно) до поверхні заготовки, що створює умови самостійного заточування зерен бруска. Наступний регульований контакт бруска і заготовки створює умову раціонального використання різальних властивостей зерен бруска. Така схема обробки дозволяє підтримувати постійне видалення припуску за час обробки заготовки. Для подальшого зниження шорсткості поверхні до потрібної за кресленням, радіальні коливання треба вимикати і обробку із режиму різання переводити в режим пластичного відтиснення металу [8].

3.4 Розроблення структури операції для обробки підшипникових шийок абразивними брусками

Структура операції обробки циліндричних поверхонь абразивними брусками передбачає дві схеми різання. Спочатку обробка виконується за ударно-циклічною схемою різання [10]. Контакт абразивного бруска із поверхнею заготовки відбувається за наявністю ударного імпульсу, який регламентує глибину входження зерен бруска у метал і стабілізує шар його видалення за час операції. Модель ударно-циклічної схеми різання можна представити у вигляді інструмента масою m із пружним елементом C , на які діє сила, що змінюється за законом синуса $P = P_0 \sin \omega t$ (див. рисунок 3.1).

Брусок масою m із пружиною жорсткістю C під дією сили $P_0 \sin \omega t$, здійснюють коливання, які направлені перпендикулярно до поверхні заготовки D . Величина амплітуди коливання бруска із пружиною є більшою ніж вихідний зазор δ , який встановлюється за умовою розрахованих режимів різання. Брусок в контакті

із заготовкою знаходиться деякий час, за який змінюється жорсткість пружини C . Час контакту залежить від величин зазору δ та амплітуди коливань бруска із пружиною. Для детального опису процесу обробки заготовки, треба визначити закон руху маси m із пружиною жорсткістю C .

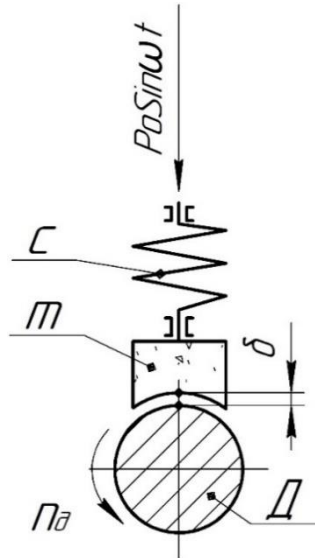


Рисунок 3.1 – Модель ударно-циклічної схеми різання

Модель процесу обробки заготовки можна уявити як систему із однієї степені вільності а її рівняння руху має вигляд:

$$m\ddot{x} = P_0 \sin \omega t - Cx. \quad (3.1)$$

Зробимо позначення: $P_0/m = q$; $C/m = p^2$.

Тоді рівняння (3.1) матиме вигляд:

$$\ddot{x} + p^2x = q \sin \omega t. \quad (3.2)$$

Частинним рішенням рівняння (3.2) можна прийняти:

$$x = A \sin \omega t. \quad (3.3)$$

Після підстановки (3.3) у (3.2) маємо:

$$q = A(\rho^2 - \omega^2).$$

Після перетворень амплітуда коливань A прийме вигляд:

$$A = \frac{P_0}{C - m\omega^2}. \quad (3.4)$$

Таким чином, закон руху маси m із пружиною C буде:

$$x = \frac{\frac{P_0}{m}}{\frac{C}{m} - \omega^2} \sin \omega t = \frac{P_0}{C - m\omega^2} \sin \omega t. \quad (3.5)$$

Із моделі, наведеної на рисунку 3.1, можна визначити зазор δ за умовою:

$$\delta < \frac{P_0}{C - m\omega^2}. \quad (3.6)$$

Величина сили удару бруска із пружиною визначається за формулою:

$$F_y = m\ddot{x}.$$

Маємо:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t = \frac{P_0\omega^2}{C - m\omega^2} \sin \omega t. \quad (3.7)$$

Тоді

$$F_y = \frac{mP_0\omega^2}{C - m\omega^2} \sin \omega t_1, \quad (3.8)$$

де t_1 – час вільного руху маси m та пружини C в межах зазору δ .

Час t_1 можна визначити за формулою:

$$\delta = \frac{P_0}{C - m\omega^2} \sin \omega t_1. \quad (3.9)$$

Далі

$$t_1 = \frac{1}{\omega} \arcsin \frac{\delta(C - m\omega^2)}{P_0}. \quad (3.10)$$

Після короткочасної дії сили удару ($F_{y \max}$) інструмент притискується до поверхні заготовки і далі діє сила притиснення F_{Π} , яка визначається за формулою:

$$\begin{aligned} F_{\Pi \max} &= C(x - \delta) = C \left(\frac{P_0}{C - m\omega^2} \sin \omega t_2 - \frac{P_0}{C - m\omega^2} \sin \omega t_3 \right) = \\ &= \frac{CP_0}{C - m\omega^2} (\sin \omega t_2 - \sin \omega t_3)(t_2 - t_3). \end{aligned} \quad (3.11)$$

Остаточно маємо:

$$F_{\Pi \max} = \frac{CP_0}{C - m\omega^2} (\sin \omega t_2 - \sin \omega t_3) (t_2 - t_3). \quad (3.12)$$

За формулою (3.12) сила притиснення змінюється за гармонічним законом.

Змінювання сили за період одного коливання наведений на рисунку 3.2.

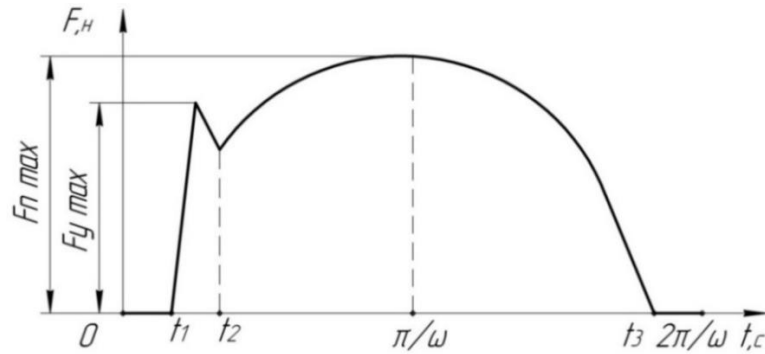


Рисунок 3.2 – Робочий цикл ударно-циклічної схеми різання

Під робочим циклом ударно-циклічної схеми різання треба розуміти змінювання величини питомої сили, що діє на робочу поверхню бруска за період одного коливання інструменту.

Робочий цикл складається із п'яти етапів, за якими змінюється величина сили F (див. рисунок 3.2). Перший етап: підведення бруска до поверхні заготовки (інтервал часу $0 - t_1$). Другий етап: дія сили удару бруска на поверхню заготовки (інтервал часу $t_1 - t_2$). Третій етап: дія сили притиснення бруска до поверхні заготовки, яка змінюється в інтервалі часу $t_2 - \pi/\omega$. Четвертий етап: дія сили притиснення, яка змінюється в інтервалі часу $\omega/\pi - t_3$. П'ятий етап: відведення бруска від поверхні заготовки (інтервал часу $t_3 - 2\pi/\omega$).

Час окремих етапів робочого циклу можна регулювати залежно від вимог, що визначаються режимом різання. Наприклад, за період часу $t_1 - t_3$ виконуються другий, третій і четвертий етапи робочого циклу. Сила удару $F_{y\max}$, яка діє на другому етапі, відновлює різальну спроможність абразивних зернин бруска шляхом відновлення та замінювання затуплених граней. Сила притиснення $F_{\pi\max}$, що діє на третьому та четвертому етапах, підвищує впровадження активної частини різальних зернин в верхній шар металу і їх збільшенню при різанні. Перший та п'ятий етапи робочого циклу характеризуються наявністю зазору між поверхнями заготовки і робочої поверхні бруска. За цей час відбувається проникнення ЗОР в зону різання, що перешкоджає налипанню «шламу» на робочу поверхню бруска.

Потім обробка підшипникових шийок вала виконується за циклічною схемою різання (див. рисунок 3.3).

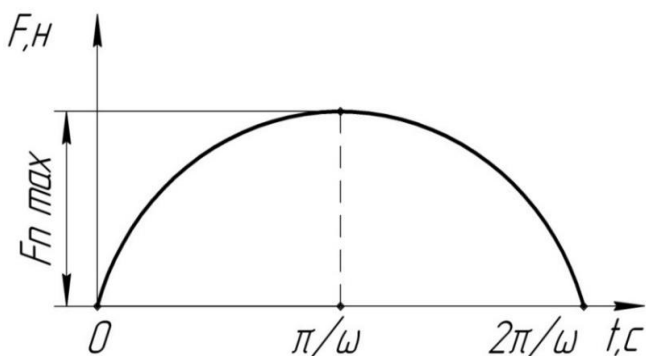


Рисунок 3.3 – Робочий цикл циклічної схеми різання

В робочому циклі циклічної схеми різання радіальні коливання бруска відсутні. Робоча поверхня бруска постійно знаходиться в контакті із поверхнею заготовки. Сила притиснення $F_{п max}$ залежить від величини попереднього стиснення пружини, жорсткість якої вибирається від умови режиму різання. В робочому циклі цієї схеми присутні два етапи. Перший етап: підвищення величини дії сили притиснення (інтервал часу $0 - \pi/\omega$). Другий етап: зменшення величини сили притиснення (інтервал часу $\pi/\omega - 2\pi/\omega$).

3.5 Вибір моделі верстата для обробки абразивними брусками

За кінематичними схемами верстата для суперфінішування круглих деталей в центрах поділяються на верстати із однією або декількома інструментальними головками [1, 23]. Верстати із однією інструментальною головкою призначені для послідовної обробки конічних і циліндричних поверхонь круглих деталей. Оброблювальні заготовки установлюються в центрах або патроні і отримують обертання. Різання виконується абразивними або алмазними брусками. Брусок притискається до поверхні заготовки і виконує коливальні та зворотно-поступальні рухи уздовж названої поверхні. При обробки коротких конічних і циліндричних поверхонь виконуються тільки коливальні рухи бруска.

В конструкціях сучасних верстатів для обробки в центрах закладені два послідовних режими різання: чорновий і чистовий. Цикл роботи верстатів напівавтоматичний. Змінювання чорнового режиму обробки на чистовий і закінчення циклу роботи верстата відбувається автоматично. Час обробки на наведених режимах установлюється за величиною видаленого припуску і контролюється спеціальним пристроєм – реле часу.

Конструкції верстатів для обробки в центрах виконані за однією принциповою схемою. Основні вузли верстатів уніфіковані, а оригінальними є тільки ті вузли, які визначаються розмірами оброблених заготовок.

Таким чином, для обробки підшипникових шийок вала, обраний верстат моделі SM 667 [35]. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 3.1, а кінематична схема – на рисунку 3.4.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика верстата моделі SM 667

Найменування параметру	Чисельні дані
Найбільші розміри виробу, мм: діаметр / довжина	280 / 710
Рекомендовані діаметри заготовок, мм	20 – 140
Висота центрів над напрямними, мм	200
Кількість інструментальних головок	1
Кут обертання інструментальної головки, град	±15
Частота коливань бруска, подв. хід / хв	1000; 1500; 1900
Подвійна амплітуда коливань бруска, мм	0,5 – 5
Повздовжнє переміщення бруска, мм	5 – 700
Швидкість повздовжньої подачі бруска, м/с (б/с)	0,008 – 0,05
Межа частоти обертання, хв ⁻¹ (б/с)	25 – 1000
Сила притиснення брусків, Н	До 1000
Загальна потужність електродвигунів, кВт	4,06

Розглянемо кінематичну схему верстата (див. рисунок 3.4). Оберти шпинделю бабки виробу відбувається від тиристорного приводу першого типу ЕТО2–16 ($N=1,8$ кВт, $n=1500-75$ хв⁻¹) через коробку швидкості і дві клиноремінні передачі.

Коробка швидкості має два діапазони швидкості шпинделю виробу: 25–500 та 50–1000 хв⁻¹. Переключення швидкості виконується рухомим блоком 19 зубчастих коліс. Зупинка обертів шпинделю відбувається вимкненням електромагнітної муфти 18, але електродвигун не вимикається. Механізм коливань бруска працює від електродвигуна 2 ($N = 0,75$ кВт, $n = 1370$ хв⁻¹). Оберти через клиноремінну передачу передаються на вал 3 із двома ексцентриками 4. Ексцентриситети ексцентриків однакові за величиною і мають діаметрально протилежні напрями. При обертанні вала ексцентрики через важелі передають коливальні рухи двом кареткам 6. На одній каретці встановлена інструментальна головка 10, на другій розташована противага. За одне обертання вала абразивний брусок, який закріплюється в держаку інструментальної головки, виконує один подвійний рух. Шків клиноремінної передачі забезпечують 1000, 1500 та 1900 подв. хід / хв бруска. Хід бруска встановлюється в межах від 0,5 до 5 мм і регулюється обертанням ексцентрикових втулок 5 на ексцентриках 4.

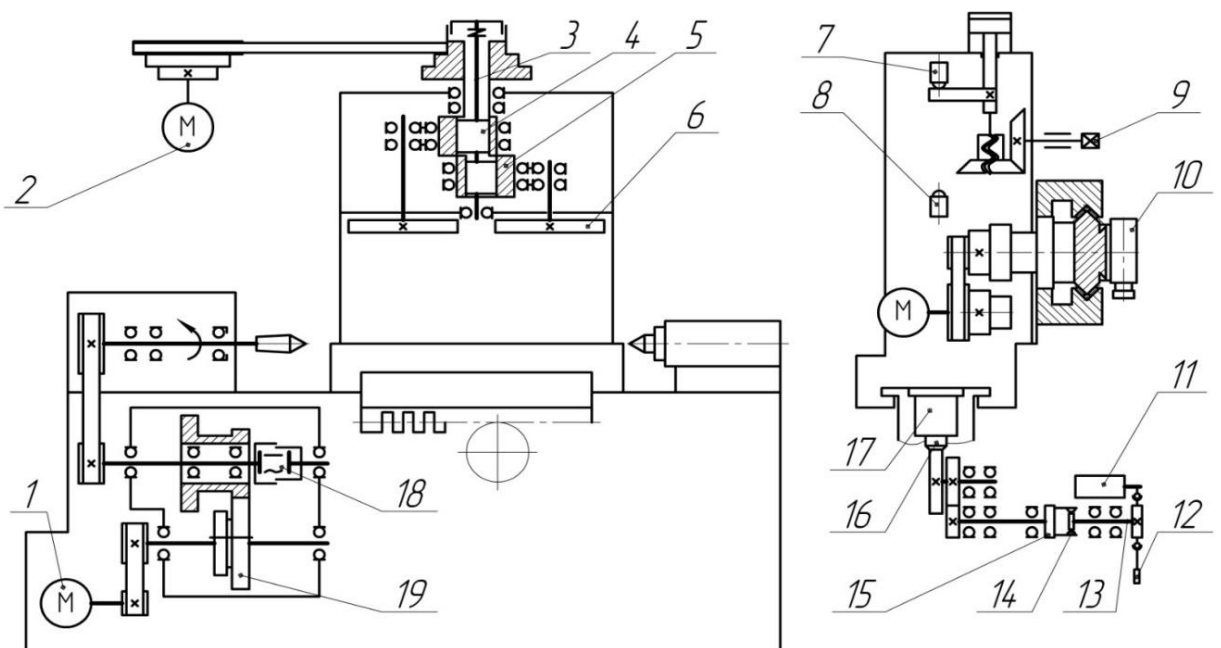


Рисунок 3.4 – Кінематична схема верстата моделі SM 667

Повздовжнє переміщення інструментальної головки виконується гідравлічним циліндром 17. Рейкова передача 16 із двома шестірнями передбачені для повороту диску 15 і розташованих на ньому упорів 14. Упори діють на вал 13 і

через систему важелів обертають валик гідравлічної панелі 11, що призводить до реверсу інструментальної головки.

Рукоятка 12 передбачена для ручного перемикання гідравлічної панелі. Рух інструментальної головки обмежується рухомими упорами 14.

Установлення інструментальної головки на величину розміру заготовки у вертикальному напрямку виконується рукояткою 9. При обертанні зубчастих конічних коліс траверса переміщується по гвинту, який закріплений на штоку гідравлічного циліндру траверси. Верхнє і нижнє розташування траверси фіксуються мікро перемикачами 7 та 8.

Таким чином, кінематична схема верстата (див. рисунок 3.4) має можливість встановлювати на каретку 6 спеціальну конструкцію інструментальної головки із автономним механізмом радіальних коливань бруска, які мають напрямок перпендикулярно до осі циліндричних поверхонь шийок вала. Можливість окремого регулювання частотами осьових і радіальних коливань абразивного інструмента, дозволяє обробляти підшипникові шийки заготовки як способом суперфінішування, так і способом подвійної осциляції брусків.

3.6 Пристрій для суперфінішування шийок вала

Стабільний режим різання абразивними брусками за час обробки створює умови утворення рівномірної величини шорсткості на всій обробленій поверхні заготовки. Для вирішування цієї задачі розроблений пристрій для суперфінішування, який відтворює кінематичні умови процесу різання за ударно-циклічною та циклічною схемах різання. На рисунку 3.5 приведений пристрій для суперфінішування [42].

Пристрій для суперфінішування містить кронштейн 1 з запресованим в нього поршнем 2, кінець якого виконаний у вигляді ластівчина хвоста і закріплений на каретці 3 верстата (на рисунку не показаний) за допомогою клину 4. Каретка 3 верстата має безступеневі подачі в вертикальному $V_{\text{п}}$ і горизонтальному $V_{\text{з-п}}$ напрямках, а також коливальні рухи уздовж осі обертання заготовки 5.

На поршень 2 встановлений гідравлічний циліндр 6, в середині якого розташований компенсатор зносу брусків, що складається із золотника 7, пружини 8, пробки 9. До нижньої частини гідравлічного циліндра 6 приєднаний стакан 10 з планкою 11. Верхня частина отвору гідравлічного циліндра 6 закрита кришкою 12, де установлений вібратор 13 з штоком 14, в нижній частині якого запресований диск 15. Кінець штока 14 жорстко з'єднаний з платформою 16 і закріплений гайкою 17, а нижня частина платформи 16 з'єднана з держакон 22 і абразивним бруском 23.

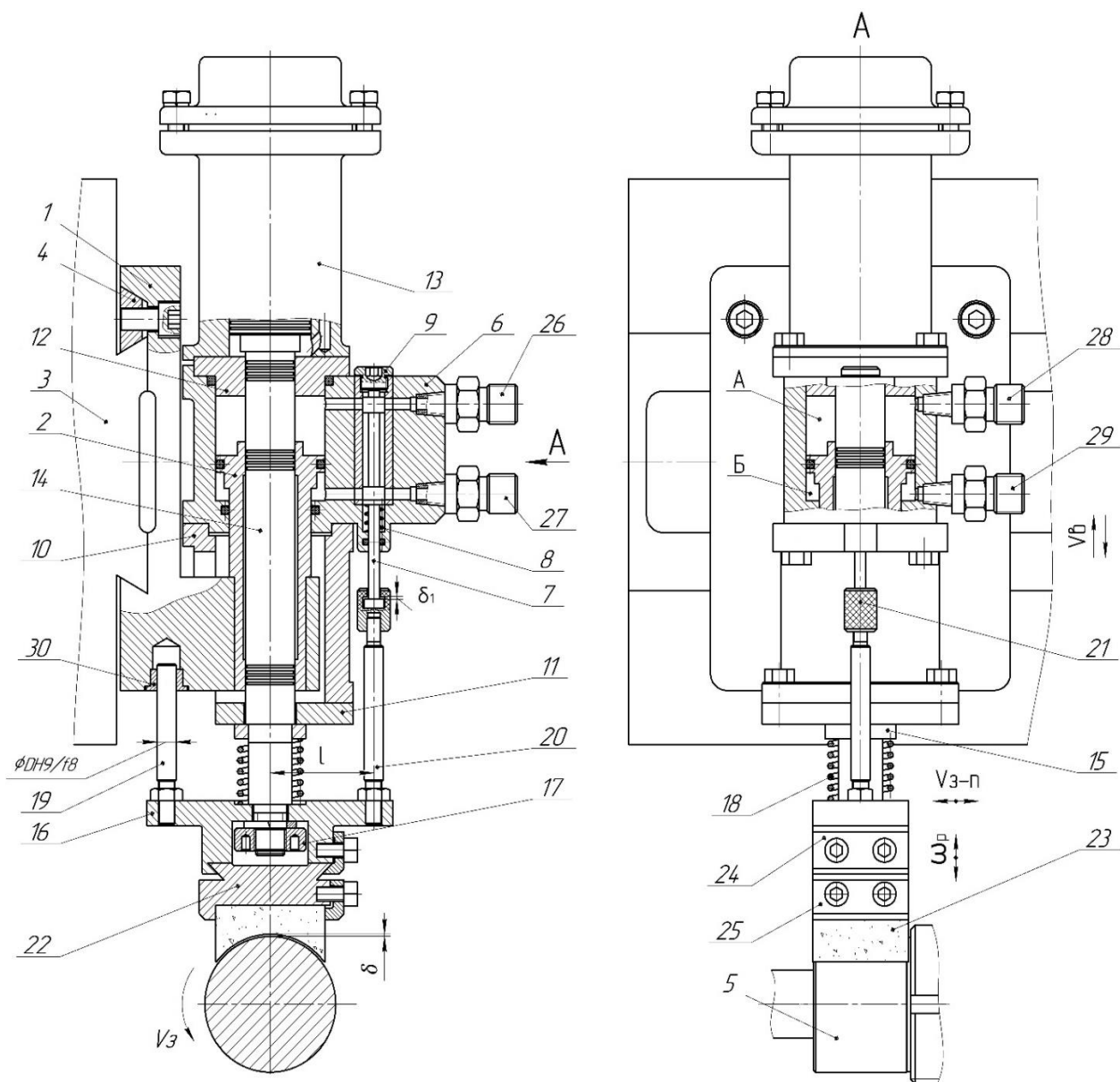


Рисунок 3.5 – Пристрій для суперфінішування

Між диском 15 і платформою 16 безпосередньо на штоку 14 співвісно розташована пружина 18. Палець 19 та вісь 20 з муфтою 21 розташовані на однаковій відстані l від осі штока 14. Держак 22 і абразивний брусок 23 закріплені відповідно затискачами 24 та 25. Верхня частина пальця 19 з'єднана посадкою $H9/f8$ з втулкою 30, що запресована у отвір кронштейна 1, і позбавляє пристрій обертатися навколо своєї осі. Вісь 20 і муфта 21 з'єднані з золотником 7, між якими вставляється зазор δ_1 , який дорівнює зазору δ .

Налагодження пристрою для суперфінішування відбувається за результатами розрахунків режиму різання. Один із важливих параметрів режиму є зазори δ_1 та δ , які встановлюються між робочими поверхнями абразивного бруска 23 і заготовки 5 та торцями золотника 7 і муфти 20 відповідно. При налагодженні розраховані зазори δ та δ_1 повинні дорівнювати один одному. Для підтримання постійних величин зазорів δ_1 та δ за час обробки заготовки 5, передбачені золотник 7, пружина 8, пробка 9, а також штуцери 26, 27, 28 та 29. Через отвори названих штуцерів відбувається подання і зливання робочої рідини в порожнини А і Б, золотника 7, що розташовані в гідравлічному циліндрі 6.

Робота пристрою для суперфінішування відбувається таким чином. Спочатку в порожнину А гідравлічного циліндра 6 через отвір штуцера 26 подається робоча рідина. Гідравлічний циліндр 6 разом з вібратором 13 і штоком 14, платформою 16, держак 22 з абразивним бруском 23 рухається вгору, доки тиск рідини не притисне нижній торець поршня 2 до торця гідравлічного циліндра 6 і об'єм в порожнині Б стане мінімальним. Далі вмикається рух каретки 3 верстата із закріпленим кронштейном 1, поршнем 2 та пристроєм для суперфінішування. Каретка 3 рухається вниз до моменту дотику абразивного бруска 23 з поверхнею заготовки 5, а потім рух каретки вимикається. Далі відбувається налагодження зазору δ між робочою поверхнею абразивного бруска 23 і поверхнею заготовки 5. Для цього через отвір штуцера 27 робоча рідина надходить в порожнину золотника 7. Викручуванням пробки 9 відбувається переміщення золотника 7 в положення, при якому отвори золотника 7 будуть перекриті, а робоча рідина перестане поступати в порожнини А і Б. Викручуванням муфти 2 налагоджується зазор δ_1 , який повинен

дорівнювати зазору δ . За час обробки зношується робоча поверхня абразивного бруска 23 та видаляється вихідна шорсткість поверхні заготовки 5, що зменшує розмір її діаметра. Змінювання зазору δ призведе до змінювання режиму різання і до появи ділянок на поверхні заготовки з невидаленою вихідною шорсткістю. Установлення вихідних однакових зазорів δ_1 та δ потрібно для забезпечення потрібного режиму різання за час обробки заготовки з метою одержання рівномірної шорсткості поверхні за вимогами креслення.

Після налагодження пристрою для суперфінішування вмикається обертання заготовки 5 на розрахований режим із швидкістю V_3 . Далі робоча рідина під тиском надходить у верхній отвір вібратора 13 (на рисунку 3.5 отвір не позначений) і шток 14 починає виконувати коливальні рухи із радіальною частотою ω_p . За вимогами режиму різання зазор δ налагоджується на величину, що менше подвійної амплітуди коливань штока. За час одного коливання штока відбувається контакт абразивного бруска 23 з заготовкою 5 і деформування пружини 18. Частота радіальних коливальних рухів штока 14 регулюється змінюванням тиску і розходом робочої рідини, що поступає в отвір вібратора 13. За час обробки заготовки 5 робоча поверхня абразивного бруска 23 зношується і відбувається збільшення величини зазору δ . Для підтримання постійним вихідної величини зазору δ протягом всього часу обробки заготовки 5, треба подавати робочу рідину в порожнину Б гідравлічного циліндра 6. Із збільшенням величини зазору δ , золотник 7 переміститься вниз, стисне пружину 8 і відкриє подачу робочої рідини в порожнину Б, а із порожнини А робоча рідина буде зливатися через отвір штуцера 26 в бак насосної станції верстата. Це приведе до переміщення пристрою для суперфінішування вниз на величину зносу робочої поверхні абразивного бруска 23. Вихідні зазори δ_1 та δ будуть відновлені і дорівнювати один одному. Золотник 7 під дією пружини 8 відновить своє вихідне положення, отвори в порожнинах А і Б будуть перекриті і робота пристрою для суперфінішування буде відбуватися за заданим вихідним режимом. Робота золотника 7, пружини 8 виконується безперервно, в автоматичному режимі, за весь час обробки заготовки, що дозволяє постійно відновлювати знос робочої поверхні абразивного бруска 23. Стабільність

радіальних коливань ω_r штока 14 залежить від розташування зведеного центру мас платформи 16 з пальцем 19, віссю 20 з муфтою 21, держакон 22 і абразивним бруском 23 відносно осі штока. Стабільність радіальних коливань забезпечується розташуванням зведеного центру мас цих деталей на геометричній осі штока 14. Зведення центра мас деталей, що коливаються, до геометричній осі штока забезпечується однаковою відстанню l на якій розташовуються палець 19 та вісь 20 з муфтою 21 відносно осі штока 14.

Для виключення обертання пристрою для суперфінішування навколо своєї осі, на платформі 16 установлений палець 19, який верхньою частиною з'єднується з втулкою 30, що запресована у отвір каретки 3. З'єднання пальця 19 з отвором втулки 30 відбувається за посадкою з зазором $H9/f8$. Палець 19 має можливість переміщуватися уздовж осі отвору втулки 30 під дією радіальних коливань платформи 16. Зазор за зазначеною посадкою $H9/f8$ забезпечує відсутність обертання пристрою навколо своєї осі, що дозволяє підтримувати постійно вихідний режим різання за час обробки заготовки.

Після закінчення обробки заготовки робоча рідина подається в порожнину А через отвір штуцера 28. Гідравлічний циліндр 6, вібратор 13 разом з штоком 14, платформою 16, держакон 22 та абразивним бруском 23 рухаються вгору, доки не буде відновлений мінімальний об'єм порожнини Б. Далі відбувається рух каретки 3 верстата з пристроєм вгору V_v до вихідного місця його розташування, яку він займав перед обробкою наступної заготовки 5.

Обробка заготовки виконується на суперфінішному верстаті моделі SM 667. Каретка верстата має поверхню у вигляді ластівчина хвоста, до якої приєднується кронштейн 1 із пристроєм для суперфінішування. Така конструкція верстата дозволяє виконати швидку установку і налагодження на обробку заготовки розробленого пристрою для суперфінішування.

3.7 Вибір характеристики і розмірів абразивних брусків

На вибір характеристики бруска впливають матеріал і твердість поверхневого шару заготовки, вихідна шорсткість оброблюваної поверхні, потрібна шорсткість поверхні за вимогами креслення.

За даними джерел [30, 32] для загартованих сталей рекомендуються абразивні бруски із карбїду кремнію зеленого, марок 63С і 64С та керамічною в'язкою (К).

Характеристика абразивного бруска вибирається залежно від вихідної та кінцевої (потрібної) шорсткості поверхні [14, 30]. Для отримання шорсткості поверхні $R_a = 0,32-0,63$ мкм рекомендується застосовувати зернистість абразивних брусків в межах 63 – 40 мкм.

Твердість абразивного бруска вибирається від матеріалу, твердості і шорсткості заготовки [14, 32]. При обробки абразивними брусками сталених заготовок можна керуватися наступним правилом. Чим більше твердість обробленого матеріалу, тим менше твердість бруска і навпаки. За даними джерела [14] для загартованої конструкційної сталі 45 ГОСТ 1050–88 і вихідної шорсткості поверхні $R_a = 1,25$ мкм рекомендується твердість бруска С1–СМ2.

Найбільш розповсюджені абразивні бруски на керамічній (К) і бакелітової (Б) в'язках. Джерела [30, 32] рекомендують для загартованих конструкційних сталей застосовувати керамічну в'язку, яка має високу міцність і жорсткість, хімічну і водяну стійкість, може працювати з любою ЗОР і без охолодження. Керамічна в'язка широко застосовується у виробництві абразивного інструменту із різною зернистістю та твердістю.

Вибір розмірів абразивного бруска залежить від наступних факторів [35]. Якщо робоча ширина бруска більше довжини хвилі в поперечному перетині обробленої поверхні заготовки, то вихідна хвилястість і огранювання видаляються. Установлено, що для куту охопту не менше 75° досягається максимальне видалення металу і створюються умови найменшого значення шорсткості оброблюваної поверхні. Сумарна ширина бруска H_6 приймається в межах 0,15–0,35 довжини кола оброблюваної поверхні діаметром $60k6$ [24]. Рекомендується використовувати

бруски якомога більшої ширини, тому що це відповідає більш інтенсивному видаленню метала і усуненню вихідної похибки форми поверхні деталі.

$$H_6 = (0,15 - 0,35) \cdot C = (0,15 - 0,35) \cdot 188,4 = (28,26 - 65,94) \text{ мм}, \quad (3.13)$$

де $C = \pi D_\delta = 3,14 \cdot 60 = 188,4$ мм – довжина кола оброблюваної поверхні;

$D_\delta = 60$ мм – номінальний діаметр оброблюваної поверхні.

Обробка діаметрів 60k6 та 60g6 виконується одним бруском шириною 50 мм і висотою 30 мм. Довжина кожного бруска залежить від довжини сходинки цих діаметрів і становить 43 мм і 14 мм відповідно.

Умовне позначення бруска для діаметрів 60k6: БП 50x30x43 ГОСТ 2424–88; для діаметрів 60g6: БП 50x30x14 ГОСТ 2424–88. Оптимальна характеристика кожного бруска – 63C5C1K6 ГОСТ 2456–82.

3.8 Розрахунок величини припуску на оздоблювальну операцію

На оздоблювальній операції 045 «Оздоблювальна» використовується спосіб подвійної осциляції бруків, яким можна виправити похибку форми поверхні, що залишилася від попередньої операції 040 «Круглошліфувальна». Для цього треба розрахувати оптимальну величину припуску. Операція 045 виконується за двома технологічними переходами. На першому переході видалається весь припуск залишений після шліфування. Другий перехід передбачає обробку вершин мікронерівностей поверхні (режим полірування) і відбувається в межах допуску обробленого розміру.

В роботі [26] наведена методика для визначення загального припуску Π_0 при обробці циліндричних поверхонь зазначеним способом. Визначимо загальний припуск для обробки поверхні діаметром 60k6 за формулою

$$\Pi_0 = \left[\frac{\Delta_{\text{фв}} + \varepsilon_6 - \Delta_{\text{фк}}}{K_{\text{ф}}} + \frac{2(R_{z-1} - R_z)}{K_{\text{вм}}} \right], \quad (3.14)$$

де $\Delta_{\text{фв}} = 0,04$ мм – вихідна похибка форми шийки вала, яка залишилася після попередньої операції шліфування;

$\varepsilon_6 = 0$ – похибка базування заготовки (заготовка на операції 045 «Оздоблювальна» базується в жорстких центрах);

$\Delta_{\text{фк}} = 0,02$ мм – допуск форми шийки вала за кресленням;

$K_{\text{ф}} = 0,5$ – коефіцієнт, який визначає інтенсивність виправлення форми шийки вала при її обробки абразивними брусками;

$K_{\text{вм}} = 0,625$ – коефіцієнт, який визначає інтенсивність досягнення потрібної висоти мікронерівності при обробки абразивними брусками [28];

$R_{z-1} = 1,6$ мкм – висота мікронерівності поверхні шийки вала, яка отримана на попередній операції 040 «Круглошліфувальна»;

$R_z = 0,65$ мкм – висота мікронерівності поверхні шийки вала, яка отримана обробкою абразивними брусками способом подвійної осциляції за ударно-циклічною схемою різання [33].

$$P_0 = \left[\frac{0,04 + 0 - 0,02}{0,5} + \frac{2(0,0016 - 0,00065)}{0,625} \right] \cong 0,045 \text{ мм.}$$

Загальний припуск $P_0 = 0,045$ мм розподілений за ударно-циклічною (90%) та циклічною (10%) схемами різання. В таблиці 3.2 наведені розраховані припуски по двом схема різання при обробки діаметрів 60k6 і 60g6 шийок вала.

В формулі (3.14) припуск розрахований за теорією імовірності і тому визначена величина припуску є середньо арифметичним показником. За рекомендаціями роботи [26] приймається допуск $T_{\text{п}}$ на припуск, який розраховується за формулою

$$T_{\text{п}} = \frac{\Delta_{\text{фк}}}{2K_{\text{ф}}} = \frac{0,02}{2 \cdot 0,5} = 0,02 \text{ мм. (3.15)}$$

Остаточно загальний припуск для обробки двох шийок вала діаметром 60k6 на операції 045 «Оздоблювальна» становить $P_0 = 0,045^{+0,02}$ мм.

3.9 Розрахунок режимів різання абразивними брусками

Швидкість обертання заготовки при її обробки за ударно-циклічною схемою різання рекомендується надавати в діапазоні 20–30 м/хв [23]. Для двох діаметрів 60k6 беремо кількість обертів $n = 150$ об/хв, тоді швидкість обертання заготовки становить $V_3 = 28,3$ м/хв і знаходиться у рекомендованому діапазоні.

Сила притиснення $P_{\text{п}}$ (Н) абразивного бруска до поверхні підшипникової шийки діаметром 60k6 і довжиною 43 мм визначається за формулою:

$$P_{\pi} = p \cdot F \cdot m \cdot k = 0,32 \cdot 2150 \cdot 1 \cdot 1 = 688 \text{ Н}, \quad (3.16)$$

де $p = 0,32$ МПа – тиск бруска на поверхню заготовки (при $\delta = 0$);

$F = 50 \times 43 = 2150 \text{ мм}^2$ – площа робочої поверхні бруска;

$m = 1$ – кількість інструментальних головок;

$k = 1$ – кількість брусків.

Сила різання визначається за формулою:

$$P_p = P_{\pi} \cdot f = 688 \cdot 0,35 = 241 \text{ Н}, \quad (3.17)$$

де $f = 0,35$ – коефіцієнт різання при обробки брусками [12].

Крутний момент M при обробки заготовок в центрах визначається за формулою:

$$M = \frac{P_p \cdot D}{2} = \frac{241 \cdot 0,06}{2} = 7,23 \text{ Нм}, \quad (3.18)$$

де $D = 0,06$ мм – діаметр підшипникової шийки вала.

Потужність N_e (кВт), що витрачається при обробки абразивним інструментом визначається за формулою:

$$N_e = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{7,23 \cdot 140}{9750} = 0,11 \text{ кВт}. \quad (3.19)$$

Розрахунок режиму різання за ударно-циклічною схемою при обробки двох поверхонь діаметром 60g6 і довжиною 14 мм за формулами (3.16 – 3.19) визначив наступні дані: $p = 0,32$ МПа; $P_{\pi} = 224$ Н; $P_p = 79$ Н; $M = 2,4$ Нм; $N_e = 0,04$ кВт.

Обробка діаметрів 60k6 та 60g6 заготовки за циклічною схемою різання передбачає питомий тиск на оброблювальну поверхню в діапазоні 0,15–0,2 МПа та швидкість обертання заготовки в межах 30–50 м/хв [20, 21]. Для двох діаметрів 60g6 беремо кількість обертів $n = 250$ об/хв, тоді швидкість обертання заготовки становить $V_3 = 47,1$ м/хв і знаходиться у рекомендованому діапазоні.

За формулами (3.16 – 3.19) розраховані наступні режими різання:

для $\text{Ø}60k6$ $p = 0,2$ МПа; $P_{\pi} = 430$ Н; $P_p = 151$ Н; $M = 4,53$ Нм; $N_e = 0,12$ кВт.

для $\text{Ø}60g6$ $p = 0,2$ МПа; $P_{\pi} = 140$ Н; $P_p = 49$ Н; $M = 1,47$ Нм; $N_e = 0,04$ кВт.

В джерелах [20, 21, 22] наведена класифікація матеріалів за фізико-механічними характеристиками, які оброблюються на оздоблювальних операціях абразивними

брусками. Класифікація складається із семи груп металів, властивості яких у кожній групі приблизно однакові. Метали-представники всіх груп були оброблені способом подвійної осциляції брусків [21, 22]. Експериментами встановлено сім основних діапазонів часу контакту t_k , які відповідали визначеним групам матеріалів.

Сталь 45 ГОСТ 1050–88 входить у групу М3 (підгрупа М3.1) де металом-представником є сталь 50 ГОСТ 1050–88. В цю підгрупу об'єднані сталі із подібними структурами, одного рівня твердості, що виникають в поверхневому шарі заготовки після обробки їх попередньою операцією – шліфуванням [19].

В джерелах [26, 28, 33] визначено, що при призначенні оптимального режиму різання треба реалізувати оптимальний час контакту t_k , який є функцією аргументів ω_p, δ, P_0 :

$$t_k = f(\omega_p, \delta, P_0), \quad (3.20)$$

де t_k – час контакту бруска з оброблювальною поверхнею заготовки за один період радіальних коливань бруска, с;

ω_p – частота радіальних коливань бруска, с^{-1} ;

δ – вихідний (заданий) зазор між поверхнями бруска і заготовки, мм;

P_0 – подвійна амплітуда радіальних коливань бруска, мм.

В роботі [30] наведена формула для визначення часу контакту:

$$t_k = \frac{2}{\omega_p} \cdot \left[\pi - \arccos \left(1 - \frac{\delta}{P_0} \right) \right]. \quad (3.21)$$

За формулою (3.21) встановлювався діапазон часу контакту t_k , в якому визначалася максимальна продуктивність видалення металу Q ($\text{мм}^3/\text{с}$). Змінювання продуктивності із достатньою точністю відповідає залежності, яка представлена рівнянням параболи n -го порядку [33, 34].

Розглянемо випадок, коли рівняння регресії $Q = f(t_k)$ має вигляд параболи другого порядку [33]:

$$\overline{Q}_{t_k} = a_0 + a_1 t_k + a_2 t_k^2, \quad (3.22)$$

де \overline{Q}_{t_k} – частинні середні значення Q , які відповідають значенням t_k ;

a_0, a_1, a_2 – постійні коефіцієнти.

Рішенням рівняння (3.22) за методикою [34] були розраховані коефіцієнти a_0 , a_1 , a_2 і побудована крива теоретичної регресії $Q = f(t_k)$, яка добре відповідає емпіричній. Для сталі 45 залежність продуктивності Q від часу контакту t_k наведена на рисунку 3.6 і записується наступним рівнянням:

$$Q = -0,236 + 4,056t_k - 1,711t_k^2.$$

Оптимальний час контакту для сталі 45 становить $t_k = 2,5$ с і відповідає найбільшій продуктивності $Q = 2,5$ мм³/с (див. рисунок 3.6, 1 – сталь 45).

Таким чином, рішення рівняння (3.21) зводиться до підбору оптимального співвідношення факторів ω_p , δ , P_0 визначеного діапазону часу t_k .

Пошук оптимального рішення рівняння (3.22) реалізовувався наступним чином. На комп'ютері задавалася кількість іспитів $N = 500000$, в яких генерувалися випадкові рішення. Потім перевіркою допущенності цих рішень визначалася функція мети. Із отриманих результатів обирався максимальний і приймався за остаточне рішення [34].

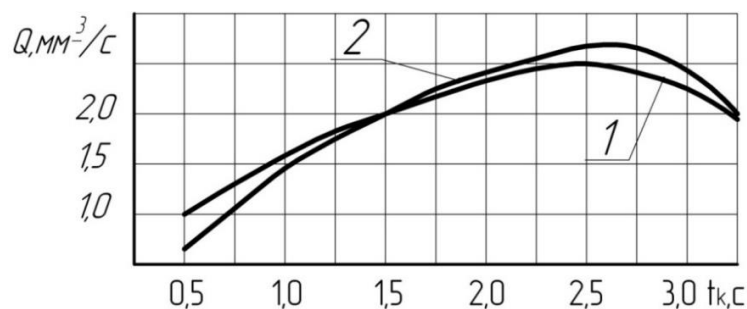


Рисунок 3.6 – Визначення продуктивності Q від часу контакту t_k : 1 – сталь 45; 2 – сталь 50 (сталь-представник підгрупи МЗ.1)

Експериментами встановлені оптимальні значення параметрів ω_p , δ , P_0 , які є параметрами режимів різання ударно-циклічної та циклічної схем різання при обробки діаметрів 60k6 та 60g6 заготовки із сталі 45 (див. таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Режими різання ударно-циклічної та циклічної схем різання для обробки діаметрів 60k6 та 60g6 заготовок із сталі 45

Показники способу обробки	Ударно-циклічна схема різання	Циклічна схема різання
Швидкість обертів заготовки V_z , м/хв	28,3	47,1
Частота обертання заготовки n_z , об/хв	150	250
Подвійна амплітуда радіальних коливань бруска P_o , мм	1,8	1,8
Зазор δ , мм	0,85	0
Частота радіальних коливань бруска ω_p , c^{-1}	20	20
Час контакту бруска із заготовкою t_k , с	2,5	Постійний
Тиск бруска p_o , МПа	0,32	0,2
Продуктивність обробки Q (max), mm^3/c	2,5	0,02
Шорсткість поверхні R_a (R_z), мкм	0,26 (0,065)	0,14 (0,035)
Припуск (на діаметр) для $\varnothing 60k6$, мм	0,04	0,005
Припуск (на діаметр) для $\varnothing 60g6$, мм	0,03	0,001
Основний час технологічних переходів операції T_o , хв	2,8	5,2
Склад змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР)	90% гасу, 7% мастила, 3% олеїнової кислоти	

3.10 Техніко-економічне обґрунтування розробленого верстатного пристрою для обробки підшипникових шийок валів

На кафедрі ТМВІ виконувалася науково-дослідна робота «Розроблення пристрою для обробки валів радіальними коливальними абразивними брусками для промислового впровадження». Метою роботи є удосконалення оздоблювального етапу обробки підшипникових шийок валів шляхом розроблення нового пристрою для суперфінішування [39]. За результатами роботи отримані наступні результати.

1. Розроблена інструментальна головка для суперфінішування, яка працює за ударно-циклічною та циклічною схемами різання абразивними брусками.

2. Проведені експериментальні досліді при обробки підшипникових шийок вала FSK-0001.00.327. За результати дослідів встановлено:

- продуктивність процесу обробки підвищилася в 2...3 рази;

- шорсткість поверхонь підшипникових шийок (сталь 45, гартована) знизилася із вихідної $Ra = 1,25 \dots 1,3$ мкм до $Ra = 0,2 \dots 0,3$ мкм;

- повністю виключені задирки, глибокі подряпини на обробленій поверхні.

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

$$E = \left[C \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} - (C + E_H \cdot \Delta K) \right] \cdot A, \quad (3.23)$$

де C – вартість базового засобу праці;

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

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

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

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

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

ΔK – додаткові капітальні вкладення для розроблення нових засобів праці;

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

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

Таблиця 3.3– Порівняльна таблиця нового і базового варіантів

Найменування показників	Позначення	Одиниця вимірювання	Показники варіантів	
			Базовий	Новий
			Верстат мод. SM 667	Модернізований верстат мод. SM 667
Вартість верстата	С	грн	88000	88000+ΔС*
Додаткові капітальні вкладення	ΔК	грн	–	20000
Коефіцієнт обліку зростання продуктивності праці	$\frac{B_2}{B_1}$	–	–	2,5...3
Коефіцієнт обліку змінювання строку служби модернізованого верстата	К _с	–	–	1,1
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних витрат	Е _н	–	0,15	0,15
ΔС* – надлишок до вартості верстата (новий пристрій для суперфінішування)				

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

- 1) пряма виробнича заробітна платня – 7200 грн
 - 2) сировина та матеріали – 30000 грн
 - 3) комплектуючі вироби, прибори, установки, апаратура, зразки і т. ін., для виконання договору – 28050 грн
 - 4) обладнання, яке потрібне для виконання робіт по темі договору – 40000 грн
- Всього основні витрати за статтями 1-4– 105250 грн
- 5) нарахування на соціальне страхування – 5,5% від загального фонду заробітної платні (стаття 1) – 940 грн
 - 6) загально-університетські витрати – 34% від прямої заробітної платні (стаття 1) – 5797 грн
 - 7) планові накопичування – 5% від повної собівартості– 1000 грн
- Всього витрат за статтями (1-7)– 112987 грн

Коефіцієнт обліку зростання продуктивності праці $\frac{B_2}{B_1} = 2,6$ визначений за результатами порівняльних виробничих досліджень суперфінішування і обробкою деталей радіальними коливальними брусками розробленим пристроєм.

Коефіцієнт обліку змінювання строку служби модернізованого верстата K_c становить

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

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

Річний економічний ефект для одного суперфінішного верстата, який працює розробленим пристроєм, становить

$$E = [88000 \cdot 2,6 \cdot 1,1 - (88000 + 0,15 \cdot 112987)] \cdot 1 = 146732 \text{ грн.}$$

3.11 Висновок

1) Розроблена структура оздоблювальної операції для обробки шийок вала абразивними брусками методом врізання за ударно-циклічною і циклічною схемам різання.

2) Запропонована модель верстата для суперфінішування для обробки підшипникових і ущільнювальних шийок вала.

3) Розраховані величини припусків на оздоблювальну операцію 045 «Оздоблювальна».

4) Спроектована інструментальна головка та надані рекомендації оптимального режиму різання для обробки шийок вала суперфінішуванням і способом подвійної осциляції брусків.

ВИСНОВКИ

1) Виконаний аналіз службового призначення машини для виготовлення капсул пляшок шампанського та вала, який є складовою частиною редуктора. Проаналізовані технічні вимоги деталі на її виготовлення.

2) Визначений тип виробництва – середньосерійний та форма його організації – групова.

3) Виконаний аналіз технологічності конструкції вала за якісними та кількісними показниками. Конструкція деталі за окремими її елементами визнана технологічною.

4) Виконаний аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення вала.

5) Зроблені висновки та надані завдання для удосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі.

6) Розроблений новий варіант технологічного процесу виготовлення вала і запропоновані нововведення для його удосконалення.

7) За техніко-економічними показниками визначений спосіб одержання вихідної заготовки – штамповка на КГШП та розроблені технічні вимоги на її виготовлення.

8) Розрахунково-аналітичним методом (з використанням ЕОМ) визначені припуски і допуски на обробку зовнішньої поверхні двох діаметрів 60кб мм.

9) Виконаний аналіз технологічного процесу вала для лінійних розмірів.

10) Обґрунтована схема базування і закріплення заготовки для операції 040 «Круглошліфувальна». Для операції вибрана модель верстата, технологічна оснастка, різальний та вимірювальний інструмент, розраховані режими різання і норми часу.

11) Для контролю радіального биття шийок вала спроектований контрольно-вимірювальний пристрій.

12) В науково-дослідній частині роботи виконаний аналіз способів обробки підшипникових поверхонь абразивними брусками.

13) Розроблена структура оздоблювальної операції для обробки підшипникових шийок вала абразивними брусками методом врізання.

14) Запропоновані ударно-циклічна і циклічна схеми різання брусками та модель верстата для обробки циліндричних поверхонь заготовок абразивними брусками методом врізання.

15) Спроектвана інструментальна головка для обробки шийок валів суперфінішуванням і способом подвійної осциляції брусків.

16) Надані рекомендації оптимального режиму різання для запропонованих схем обробки абразивними брусками.

17) Для спроектованого технологічного процесу виготовлення вала розроблена технологічна документація (маршрутний технологічний процес, креслення заготовки, верстатного пристрою, КВП, операційне налагодження).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. **Гусев, А. А.** Технология машиностроения (специальная часть): учебник для вузов / 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. **ГОСТ 21495–76.** Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.
4. **Рахштадт, А. Г.** Справочник металлиста : в 5-и т. / А. Г. Рахштадт, В. А. Брострем. – Москва: Машиностроение, 1976. – Т.2. – 720 с.
5. **Горбацевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения : 5-е изд. / В. А. Шкред, А. Ф. Горбацевич. – Москва: ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
6. Современные технологии в машиностроении : [Сб. науч. ст.] / Нац. техн. ун-т "Харьк. политехн. ин-т", под общ. ред.: А. И. Грабченко Т. 1: 2006. – 439 с.
7. Абразивная и алмазная обработка материалов: справочник / А. Н. Резников, Е. И. Алексенцев, Я. И. Барац и др. – Москва: Машиностроение, 1977. – 391 с.
8. **ГОСТ 25347–82.** Поля допусков и рекомендуемые посадки.
9. **ГОСТ 24643–81.** Допуски формы и взаимное размещение.
10. **ГОСТ 14.301–73.** Общие правила разработки технологических процессов и выбора средств технологического оснащения.
11. **ГОСТ 14.204–73.** Правила обеспечения технологичности конструкции деталей.
12. **ГОСТ 14.201–73.** Общие правила отработки конструкции на технологичность.
13. **ГОСТ 7505–89.** Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.

14. Справочник технолога-машиностроителя: 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.

15. Справочник технолога-машиностроителя: 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.

16. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки. – Москва: Машиностроение, 1974. – 416 с.

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

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

20. **Корсаков, В. С.** Основы конструирования приспособлений / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1983. – 277 с.

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

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

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

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

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

26. **Акилов, А. И.** Исследование нестационарных режимов процесса суперфинишобработки шеек коленчатых валов: дис. ... кандидата техн. наук 05.02.08 / Александр Иванович Акилов. – Челябинск, 1980. – 141 с.

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

28. **Гришкевич, А. В.** Способ отделочной обработки стальных закалённых деталей / А. В. Гришкевич, В. А. Капуста, О. А. Топоров // Вестник машиностроения. – 1973. – №9. – С. 55 – 57.

29. **Дальский, А. М.** Технологические основы обеспечения качества машин: справ. пособ. / А. М. Дальский, К. С. Колесников, Г. Ф. Баландин. – Москва : Машиностроение, 1990. – 256 с.

30. **Ипполитов, Г. М.** Доводка прецизионных деталей машин: учеб. пособ. / Г. М. Ипполитов. – Москва: Машиностроение, 1979. – 256 с.

31. **Мазальский, В. Н.** Суперфинишные станки / В. Н. Мазальский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение. 1988. – 127 с.

32. **Петряева, А. И.** [Электронный ресурс]: Донецк, 2005. – 7 с. – Режим доступа: <http://masters.donntu.edu.ua/2007/mech/petryaeva/diss/index.htm>.

33. **Савчук, В. И.** Суперфиниширование с радиально-колеблющимися абразивными брусками / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко. // Вестник машиностроения. – 1979. – №8. – С. 47 – 49.

34. **Савчук, В. И.** Технологические возможности финишных способов обработки абразивными брусками / В. И. Савчук, В. А. Иванов, М. А. Телетов // Вісник СумДУ: науч.-техн. сб. – Суми: Изд-во СумДУ, 2005. – №11/83. – С. 140 – 145.

35. **Фрагин, И. Е.** Точность и производительность при алмазном хонинговании и суперфинишировании / И. Е. Фрагин // Синтетические алмазы в промышленности: научн.-техн. сб. – Киев : Наукова Думка, 1974. – Вып.14. – С. 172 – 177.

36. **А.с. 704769 СССР, МКИ³ В 24 В 35/00.** Способ отделочной обработки цилиндрических деталей абразивным бруском / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, В. Л. Горбенко (СССР). – №2177240/25-08; заявл. 13.12.75; опубл. 23.05.79, Бюл. № 47.

37. **Пат. 81162 Україна, МПК (2007) В24В 35/00.** Суперфінішна головка / В. І. Савчук, М. О. Телетов, В. О. Іванов, заявник та власник патенту Сумський державний університет. – № а 200512383; заявлено 22.12.2005; опубл. 10.12.2007, Бюл. № 20.

38. **А.с. 1161355 СССР, МКИ³ В 24 В 35/00.** Станок для суперфиниширования деталей / В. И. Савчук, А. В. Гришкевич, Е. М. Нирман, В. Н. Мазальский, А. И. Акилов, В. А. Капуста, В. Л. Шамин, Ю. П. Башлаев, Б. Д. Дисон, А. В. Гавзинский (СССР). – №2740309/25-08; заявл. 23.03.79; опубл. 15.06.85, Бюл. № 22.

39. **Пат. 90566 Україна, МПК (2010.05) В24В 35/00.** Спосіб суперфінішної обробки абразивним бруском / В. І. Савчук, С. М. Сахарова, заявник та власник патенту Сумський державний університет. – № а 200808388; заявлено 23.06.2008; опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

40. **Савчук, В. И.** Технологические особенности обработки подшипниковых шеек валов суперфинишированием / В. И. Савчук, А. В. Евтухов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2015. – №1 (39), март – С. 52 – 55.

41. **Савчук, В. И.** Технологические особенности отделочной обработки конических поверхностей пробок абразивными брусками / В. И. Савчук, А. В. Евтухов, А. В. Ивченко, Д. А. Юсупов // «Компрессорное и энергетическое машиностроение». – 2017. – №1 (47), март – С.40–45.

42. **Пат. 122827 Україна, МПК (2021.01) В24В 35/00.** Пристрій для суперфінішування / В. І. Савчук, О. В. Савчук, А. В. Євтухов, Д. А. Юсупов,

В. О. Іванов, А. А. Папченко, заявник та власник патенту Сумський державний університет. – № а 201900252; заявлено 09.01.2019; опубл. 06.01.2021, Бюл. № 1.

43. Юсупов Д. А., Євтухов А. В. Підвищення якості циліндричних підшипникових поверхонь валів шляхом суперфінішування за способом подвійної осциляції брусків. Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 20–23 квітня 2021 р.). Суми : Сумський державний університет, 2021. С. 42.

44. Юсупов Д. А., Одінцов Д. Р. Складання оптимального маршруту оброблення торцевих поверхонь вала з використанням методики розмірного аналізу технологічних процесів. Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма IX Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 19–22 квітня 2022 р.). Суми : Сумський державний університет, 2022. С. 42.