

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу механічного оброблення
вала ПС-10А.43.608

Виконав: студент IV курсу, групи МПс-41
спеціальності 131 “Прикладна механіка”

(шифр і назва спеціальності)

Бортник В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Комар Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дячун А.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Окіпний І.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

“Розроблення технологічного процесу механічного оброблення вала ПС-10А.43.608” студента групи МПс-41 Бортника В.А. Керівник роботи - кандидат техн. наук, доцент Комар Р.В.

Мета роботи – підвищити продуктивність базового технологічного процесу механічного оброблення вала ПС-10А.43.608.

У першій частині проведено аналіз технологічності деталі “Вал” ПС-10А.43.608 та встановлено, що за кількісними та якісними показниками вказана деталь є технологічною.

Проведено аналіз креслення та технічних вимог деталі. Визначено, що базовий технологічний процес, який використовується для виготовлення деталі за основними параметрами відповідає дрібносерійному типу виробництва: використовується універсальне технологічне обладнання без засобів програмного керування.

Річна програма випуску 1500 шт, вказана у завданні, відповідає середньосерійному типу виробництва, тому у проектному технологічному процесі запроваджено зміни для підвищення його продуктивності.

У другій частині визначено тип виробництва – середньосерійний на основі даних штучного часу на кожну із операцій базового технологічного процесу. Метод ґрунтується на розрахунку коефіцієнта закріплення операцій.

Собівартість виготовлення заготовки із прокату є нижчою ніж виготовленої штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі, тому для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі вибрано спосіб виготовлення заготовки – круглий прокат.

Проведено вибір обладнання, інструментів, розраховано припуски, режими різання та технічні норми часу. Розроблено технологічний процес механічного оброблення вала ПС-10А.43.608.

У третій частині для фрезерування шпонкового паза деталі “Вал” ПС-10А.43.608 на 025 шпонково-фрезерній операції проведено проектування спеціального універсально-збірного пристрою.

У четвертій частині розглянуто питання охорони праці.

ЗМІСТ

Вступ	
1 Загально-технічна частина	
1.1. Службове призначення деталі	
1.2. Аналіз технічних вимог деталі.....	
1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі.....	
1.4. Аналіз базового технологічного процесу.....	
1.5. Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу.....	
2 Технологічна частина	
2.1. Визначення типу виробництва.....	
2.2. Вибір способу одержання заготовки.....	
2.3. Вибір технологічних баз.....	
2.4. Проектування технологічного маршруту механічного оброблення деталі.....	
2.5. Визначення припусків на оброблення.....	
2.6. Розрахунок і вибір режимів оброблення та технічних норм часу.....	
3 Конструкторська частина	
3.1. Розрахунок точності пристосування для механічного оброблення деталі.....	
3.2. Розрахунок силових параметрів пристосування для механічного оброблення деталі.....	
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	
4.1. Санітарно-гігієнічні та просторово-планувальні вимоги до території підприємства, розміщення виробничих будівель та інженерної інфраструктури.....	
4.2. Технічні вимоги з охорони праці при експлуатації шліфувального та заточного обладнання.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес механічного оброблення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 для умов середньосерійного типу виробництва. Деталь застосовується як робочий елемент редуктора скребкового конвеєра для переміщення сипких матеріалів і призначена для виконання функції передачі обертового руху та крутного моменту між валами редуктора та між редуктором і привідним механізмом конвеєра за допомогою запобіжної муфти. Деталь виготовляється із сталі 40Х.

Базовий технологічний процес, що використовується для виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 за основними параметрами відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Річна програма випуску, що вказана у завданні, відповідає середньосерійному типу виробництва. Тому при розробленні проектного технологічного процесу необхідно внести такі зміни: для виготовлення заготовки використовувати відносно меншої вартості методи, зокрема прокат; токарну обробку поверхонь доцільно виконувати на токарних верстатах з ЧПК замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів; на одержаній заготовці перед токарною обробкою потрібно застосувати фрезерно-центрувальну операцію, що дозволяє проводити фрезерування торців, а також свердління центрових отворів, які будуть основними базами на наступних операціях, підвищуючи точність обробки; застосовувати інструменти та технологічне оснащення для верстатів з ЧПК, а також із механізованим приводом затиску.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення деталі

Деталь “Вал” ПС-10А.43.608 застосовується як робочий елемент редуктора скребкового конвеєра для переміщення сипких матеріалів. Вал ПС-10А.43.608 призначений для виконання функції передачі обертового руху та крутного моменту між валами редуктора та між редуктором і привідним механізмом конвеєра за допомогою запобіжної муфти.

Основними конструктивними елементами для виконання функціональних характеристик вказаного вала є: дві зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 45k6^{(+0,018}_{+0,002})$, Ra1,25 - посадочні поверхні для внутрішніх кілець радіальних підшипників кочення; шпонковий паз 16P9 $(^{-0,018}_{-0,061})$, Rz20 призначений для установки призматичної шпонки, яка виконує передачу крутного моменту від зубчастого колеса до вала; зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 55h9_{(-0,074)}$ призначена для встановлення зубчастого колеса; зовнішня шліцева поверхня D-8×32×38h8×6h9, Rz20 – призначена для установки запобіжної муфти і передачі крутного моменту від редуктора до привідного механізму конвеєра.

Інші поверхні (фаски, торці, ступень), визначають конфігурацію вала, забезпечують його жорсткість, простоту монтажу та необхідні технічні вимоги.

Деталь “Вал” ПС-10А.43.608 за даними із креслення виготовляється із сталі 40Х, до складу якої входять домішки хрому, марганцю. Необхідність застосування такого матеріалу визначається вимогами передачі крутного моменту. Основними особливостями такої сталі є вища ніж у сталі 45 границя текучості та міцності.

У таблицях 1.1 та 1.2 детальніше наведено інформацію про хімічний склад та характеристики механічних випробувань сталі 40Х.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х, %

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni	As
не більше								
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,8	0,8-1,0	0,035	0,04	0,25	0,25	0,08

Таблиця 1.2 – Характеристики механічних випробувань сталі 40Х

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	ρ , г/см ³	$a_{H\gamma}$, Дж/см ²	НВ
не менше						горячокатаної
785	980	10	45	7,85	55	217-248

1.2. Аналіз технічних вимог деталі

Для проектування технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 на основі креслення вивчено технічні вимоги та показники якості поверхонь деталі. Поверхням деталі присвоєно номери, визначено вимоги до їх точності та шорсткості. Результати вказаного аналізу відображено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз технічних вимог та показників якості поверхонь деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1, 16	Торцева поверхня 215h14 _(-1,15)	14	Rz40
2,15	Зовнішня фаска 1,6×45°	14	Rz40
3,9	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45k6^{(+0,018}_{+0,002})$; l=25; l=36min	6	Ra1,25
4,8	Торцева зовнішня поверхня 60 _{-0,74}	14	Ra2,5
6	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 55h9_{(-0,074)}$; l=60	9	Ra2,5
5, 7	Зовнішня фаска 2×45°	14	Rz40
10	Зовнішня фаска 1,5×45°	14	Rz40
11	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 42h14_{(-0,62)}$; l=60	14	Rz40

Закінчення таблиці 1.3

1	2	3	4
12	Торцева зовнішня поверхня $70 \pm 0,2$	14	Rz20
13	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 38h8(-0,039)$; $l=70$ під шліци	8	Ra2,5
14	Шліцева поверхня $D-8 \times 32 \times 38h8 \times 6h9$	9	Rz20
17	Зовнішня радіусна канавка $\varnothing 14$; $40 \pm 0,2$; $\varnothing 31,5$	14	Rz40
18	Шпонковий паз $16P9(-0,018 \atop -0,061)$; $6^{+0,25}$; $l=56$	9	Rz20

1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

При визначенні технологічності деталі “Вал” ПС-10А.43.608 враховано програму випуску, що дорівнює 1500 шт., що виконується в умовах середньосерійного типу виробництва. В процесі аналізу розглянуто вимоги до точності, шорсткості поверхонь, допустимого відхилення радіального биття відносно центральної осі деталі, параметри шліцевої поверхні та інші технічні вимоги.

Матеріал деталі сталь 40Х має підвищену границю текучості та міцності, добре піддається різанню. Тому вал може передавати значні крутні моменти та ударні навантаження.

Застосування матеріалу сталь 40Х дозволяє використовувати для виготовлення заготовки круглий прокат та методи об’ємного пластичного деформування, зокрема штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі.

У конструкції вала є недостатня кількість поверхонь для базування та закріплення при чистовому механічному обробленні з метою досягнення вказаних показників точності, тому на торцях деталі необхідно додати технологічні бази - два центрові отвори із розмірами $\varnothing 4^{+0,3}$; $\varnothing 8,5^{+0,36}$; $l=5$; $l_1=3,9^{+0,3}$; 60° . Жорсткість деталі достатня для прикладання зусиль затиску елементами із механічним приводом. Для забезпечення точності оброблення

поверхонь деталі на першій операції доцільно проводити фрезерування торців 1 та 16, а також свердління центрових отворів, що будуть основними базами на наступних операціях. Для оброблення шліців передбачено поверхні для виходу інструменту, при цьому розміри шліців є стандартними, тому для їх фрезерування можливе використання стандартних інструментів, зокрема черв'ячної фрези.

Також для оброблення поверхонь деталі можливе використання стандартних інструментів, зокрема різців, фрез, шліфувальних кругів, а також як обладнання можна використовувати верстати з ЧПК.

Отже, за якісними показниками деталь “Вал” ПС-10А.43.608 є технологічною.

Технологічність деталі “Вал” ПС-10А.43.608 також перевірено за трьома кількісними показниками: коефіцієнтом точності, коефіцієнтом шорсткості та коефіцієнтом уніфікації, відповідно до відомих методик та даних із табл. 1.3.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}}, \quad (1.1)$$

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 12 + 9 \cdot 3 + 8 \cdot 1 + 6 \cdot 2}{18} = 11,94;$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{11,94} = 0,92.$$

При $K_{\text{т.ч.}} = 0,92 > 0,8$ деталь “Вал” ПС-10А.43.608 є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{cp}}}, \quad (1.2)$$

$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{5 \cdot 12 + 4 \cdot 4 + 3 \cdot 2}{18} = 4,56,$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{4,56} = 0,22.$$

При $K_{ш}=0,22 > 0,16$ деталь “Вал” ПС-10А.43.608 є технологічною.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{у.е.} = \frac{N_{у.е.}}{N_e} = \frac{14}{18} = 0,78.$$

При $K_{уе}=0,78 > 0,6$ деталь “Вал” ПС-10А.43.608 є технологічною.

Враховуючи одержанні результати та порівняння їх із критеріями, за кількісними показниками деталь “Вал” ПС-10А.43.608 є технологічною.

1.4. Аналіз базового технологічного процесу

Перелік операцій та технологічного устаткування базового технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 представлено у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Перелік операцій та технологічного устаткування базового технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Операція	Технологічне обладнання	Технологічне оснащення
005 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон трьохкулачковий спіральнорейковий
010 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон трьохкулачковий спіральнорейковий
015 Шпонково-фрезерна	Шпонково-фрезерний верстат 692Р	Спеціальне пристосування з базуванням по зовнішній циліндричній поверхні на призми з упором в торець з ручним затиском
020 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний верстат 3М175	Центр упорний передній КМ2, Хомутик повідковий для шліфувальних робіт Центр упорний задній КМ3
025 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний верстат 3М175	Центр упорний передній КМ2, Хомутик повідковий для шліфувальних робіт Центр упорний задній КМ3
030 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний верстат 5350	Центр 7032-0029 КМ4 ГОСТ 13214-79 Центр А-І-5-Н ГОСТ 8742-75 Хомутик 7107-0039 ГОСТ 2578-70
035 Контроль	Стіл контролера	Універсальні вимірювальні інструменти

Базовий технологічний процес, який використовується для виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 за основними параметрами відповідає дрібносерійному типу виробництва: використовується універсальне технологічне обладнання без засобів програмного керування, для базування та затиску заготовок застосовано стандартні та прості пристрої з ручним приводом механізмів затиску. При цьому використовуються стандартні універсальні ріжучі (різці, фрези, шліфувальні круги) та вимірювальні інструменти.

1.5. Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу

У розділі проаналізовано креслення та технічні вимоги до деталі “Вал” ПС-10А.43.608 як робочого елемента редуктора скребкового конвеєра для переміщення сипких матеріалів. Вивчено технічні вимоги, допустимі відхилення, шорсткість поверхонь деталі. Розглянуто можливі засоби досягнення технічних вимог деталі для розроблення проектного технологічного процесу механічного оброблення. Запропоновано можливі способи виготовлення заготовки.

За якісними та кількісними показниками деталь “Вал” ПС-10А.43.608 є технологічною.

Матеріал деталі сталі 40Х має підвищену границю текучості та міцності, добре піддається різанню. Тому вал може передавати значні крутні моменти та ударні навантаження. Застосування такого матеріалу дозволяє використовувати для виготовлення заготовки круглий прокат та методи об’ємного пластичного деформування, зокрема штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі.

З метою досягнення вказаних показників точності, тому на торцях деталі необхідно додати технологічні бази - два центрові отвори із розмірами $\varnothing 4^{+0,3}$; $\varnothing 8,5^{+0,36}$; $l=5$; $l_1=3,9^{+0,3}$; 60° . Для забезпечення точності оброблення поверхонь деталі на першій операції доцільно проводити фрезерування торців 1 та 16, а

також свердління центрових отворів, що будуть основними базами на наступних операціях. Для оброблення поверхонь деталі можливе використання стандартних інструментів, зокрема різців, фрез, шліфувальних кругів, а також як обладнання можна використовувати верстати з ЧПК.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 відповідає дрібносерійному типу виробництва: використовується універсальне технологічне обладнання без засобів програмного керування, для базування та затиску заготовок застосовано стандартні та прості пристрої з ручним приводом механізмів затиску.

Річна програма випуску 1500 шт, що вказана у завданні, відповідає середньосерійному типу виробництва. Тому у проектному технологічному процесі необхідно запровадити такі зміни:

- для виготовлення заготовки використовувати відносно меншої вартості методи, зокрема прокат;
- токарну обробку поверхонь доцільно виконувати на токарних верстатах з ЧПК замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів;
- на одержаній заготовці перед токарною обробкою потрібно застосувати фрезерно-центрувальну операцію, що дозволяє проводити фрезерування торців, а також свердління центрових отворів, які будуть основними базами на наступних операціях, підвищуючи точність обробки;
- застосування інструментів та технологічного оснащення для верстатів з ЧПК, а також із механізованим приводом затиску.

Зміни базового технологічного процесу дозволяють підвищити продуктивність та точність виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Визначення типу виробництва

Тип виробництва виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 для програми випуску $N = 1500$ шт. і маси $m = 2,49$ кг, визначений наближеним методом, є середньосерійний.

В процесі проектування технологічного процесу виготовлення вала проведемо точніший розрахунок типу виробництва розрахунковим методом, використовуючи величини штучного часу для виконання операцій базового технологічного процесу. Для цього визначаємо коефіцієнт закріплення операцій, за величиною якого встановлюємо тип виробництва.

У таблиці 2.1. представлено величини штучного часу для виконання операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608.

Таблиця 2.1 – Штучний час на виконання операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Операція	$T_{шт},$ хв.	Операція	$T_{шт},$ хв.
005 Токарно-гвинторізна	14,4	020 Круглошліфувальна	11,32
010 Токарно-гвинторізна	6,24	025 Круглошліфувальна	1,96
015 Шпонково-фрезерна	10,2	030 Шліцефрезерна	10,14

Кількість верстатів, що використовуються для кожної операції при заданій програмі випуску N [1]:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{зн}}, \quad (2.1)$$

де F_d – час на роботу обладнання, $F_d = 3979$ год;

$$\eta_{зн.} = 0,75.$$

$$m_{p005} = \frac{1500 \cdot 14,4}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,12. P_{005} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p010} = \frac{1500 \cdot 6,24}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,05. P_{010} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p015} = \frac{1500 \cdot 10,2}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,085. P_{015} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p020} = \frac{1500 \cdot 11,32}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,095. P_{020} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p025} = \frac{1500 \cdot 1,96}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,02. P_{025} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p030} = \frac{1500 \cdot 10,14}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,085. P_{030} = 1 \text{ верстат}.$$

Фактичні коефіцієнти завантаження обладнання [1]:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}, \quad (2.2)$$

$$\eta_{з.ф.005} = \frac{0,12}{1} = 0,12;$$

$$\eta_{з.ф.010} = \frac{0,05}{1} = 0,05;$$

$$\eta_{з.ф.015} = \frac{0,085}{1} = 0,085;$$

$$\eta_{з.ф.020} = \frac{0,095}{1} = 0,095;$$

$$\eta_{з.ф.025} = \frac{0,02}{1} = 0,02;$$

$$\eta_{з.ф.030} = \frac{0,085}{1} = 0,085.$$

Кількість операцій, що виконуються на робочому місці [1]:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}}, \quad (2.3)$$

$$O_{005} = \frac{0,75}{0,12} = 6,25. O_{005} = 7 \text{ операцій};$$

$$O_{010} = \frac{0,75}{0,05} = 15. O_{010} = 15 \text{ операцій};$$

$$O_{015} = \frac{0,75}{0,085} = 8,8. O_{015} = 9 \text{ операцій};$$

$$O_{020} = \frac{0,75}{0,095} = 7,9. O_{020} = 8 \text{ операцій};$$

$$O_{025} = \frac{0,75}{0,02} = 37,5. O_{025} = 38 \text{ операцій};$$

$$O_{030} = \frac{0,75}{0,085} = 8,8. O_{030} = 9 \text{ операцій}.$$

Коефіцієнт закріплення операцій [1]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{86}{6} = 14,3$$

Для $K_{з.о.} = 14,3$ тип виробництва – середньосерійний.

Визначаємо період виготовлення деталей [1]:

$$t_b = \frac{60 \cdot F_d}{N}, \quad (2.4)$$

$$t_b = \frac{60 \cdot 3979}{1500} = 159,2 \text{ хв.}$$

Величина однієї партії деталей [1]:

$$n = \frac{N \cdot a}{F}, \quad (2.5)$$

де $F=257$ днів

$$n = \frac{1500 \cdot 5}{257} = 29,2 \text{ шт.}$$

Кількість робочих змін [1]:

$$C = \frac{T_{\text{шкс}} \cdot n}{476 \cdot 0,8}, \quad (2.6)$$

де

$$T_{\text{шкс}} = \frac{\sum_{i=1}^T T_{\text{шкі}}}{\sum_{i=1}^T O_i}, \quad (2.7)$$

$$T_{\text{шкс}} = \frac{14,4 + 6,24 + 10,2 + 11,32 + 1,96 + 10,14}{6} = \frac{54,26}{6} = 9,04 \text{ хв.}$$

$$C = \frac{T_{\text{шкс}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{9,04 \cdot 30}{476 \cdot 0,8} = 0,71 \text{ зміни.}$$

Приймаємо $C_{\text{пр}} = 1$ зміну.

Величина партії деталей [1]:

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot C_{\text{пр.}}}{T_{\text{шкс}}}, \quad (2.8)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 1}{9,04} = 42 \text{ шт.}$$

2.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріал деталі “Вал” ПС-10А.43.608 сталь 40Х має підвищену границю текучості та міцності, добре піддається різанню. Застосування такого матеріалу дозволяє використовувати для виготовлення заготовки круглий прокат та методи об’ємного пластичного деформування, зокрема штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі.

Порівняння двох методів виготовлення заготовок здійснено за коефіцієнтом використання матеріалу та за вартістю. Розглянуто такі способи виготовлення заготовки:

1. Прокат – круг $\frac{60-B}{40X-1-2-T}$ – прокат круглий гарячекатаний, діаметром 60

мм, звичайної точності В, групи якості поверхні 1, варіанту механічних властивостей 2, термооброблений Т. Довжина прутка 3 м. Розрізання прокату на окремі заготовки виконується на круглопилному верстаті;

2) штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі.

Клас точності штамповки на кривошипному гарячештампувальному пресі – Т4; група сталі – М2.

Ступінь складності заготовки дорівнює відношенню маси штамповки $m_{ш}$ до маси m_{ϕ} геометричної фігури, в яку вписана заготовка:

$$C = \frac{m_{ш}}{m_{\phi}}, \quad (2.9)$$

Приблизна маса штамповки:

$$m_{ш} = m_{д} \cdot k_p, \quad (2.10)$$

де k_p – коефіцієнт для приблизного визначення маси штамповки, $k_p = 1,3$ [7];

$m_{д} = 2,49$ кг – маса деталі.

Отже, $m_{ш} = m_{д} \cdot k_p = 2,49 \cdot 1,3 = 3,24$ кг.

Маса m_{ϕ} геометричної фігури, в яку вписана заготовка:

$$m_{\phi} = V_{\phi} \cdot \rho, \quad (2.11)$$

де ρ – густина матеріалу, $\rho = 7,85$ г/см³.

Об'єм геометричної фігури

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4}, \quad (2.12)$$

$$V_{\phi} = \frac{\pi \times d^2}{4} \times H = \frac{3,14 \times 60^2 \times 215}{4} = 607590 \text{ мм}^3 = 607,59 \text{ см}^3.$$

$$m_{\phi} = 607,59 \cdot 1,05 \cdot 7,85 = 5008,06 \text{ г} = 5 \text{ кг}.$$

Тоді група складності штамповки: $C = \frac{3,24}{5,0} = 0,65$.

Заготовка штамповка відноситься до ступеня складності С1.

Вихідний індекс заготовки для Т4, М2, С1 та $m_d = 3,24 \text{ кг} - 12$.

Результати розрахунку двох варіантів загальних припусків деталі “Вал” ПС-10А.43.608 представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку двох варіантів загальних припусків деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1) круглий прокат $\frac{60-B}{40X-1-2-T}$				
Торцева поверхня 215h14 _(-1,15)	Rz 40	2,9	$1,5 \times 2 = 3,0$	218±1,45
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 55h9_{(-0,074)}$	Ra2,5	1,6	$2,5 \times 2 = 5,0$	$\varnothing 60^{+0,5}_{-1,1}$
2) штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі				
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45k6^{(+0,018)}_{(+0,002)}$	Ra1,25	2,2	$2,0 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 49^{+1,4}_{-0,8}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 55h9_{(-0,074)}$	Ra2,5	2,2	$1,8 \times 2 = 3,6$	$\varnothing 58,6^{+1,4}_{-0,8}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 38h8_{(-0,039)}$	Ra2,5	2,0	$1,8 \times 2 = 3,6$	$\varnothing 41,6^{+1,3}_{-0,7}$
Торцева зовнішня поверхня $70 \pm 0,2$	Rz20	2,5	1,8	$68,2^{+1,6}_{-0,9}$ на кресленні $70,2^{+1,6}_{-0,9}$
Торцева зовнішня поверхня $60_{-0,74}$	Ra2,5	2,2	$1,8 \times 2 = 3,6$	$63,6^{+1,4}_{-0,8}$
Торцева поверхня 215h14 _(-1,15)	Rz40	3,2	$2,0 \times 2 = 4,0$	$219^{+2,1}_{-1,1}$

Використовуючи креслення деталі, проектуємо заготовки, одержані

двома вказаними методами. Креслення двох варіантів виготовлення заготовки представлено на рис. 2.1 (круглий прокат) та на рис. 2.2 (штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі).

Технологічні витрати матеріалу при виготовленні заготовки з круглого прокату:

– витрати, пов’язані із неkratністю заготовки довжині прокату:

$$L_{\text{нк.}} = L_{\text{пр.}} - x \cdot (L_{\text{заг.}} + L_{\text{р.}}), \quad (2.13)$$

де $L_{\text{пр.}} = 3000$ мм – довжина прокату;

x – кількість заготовок, що можна виготовити із однієї довжини прокату;

$$x = \frac{L_{\text{пр.}}}{L_{\text{заг.}} + L_{\text{р.}}}, \quad (2.14)$$

де $L_{\text{заг.}}$ – довжина заготовки із припусками на підрізання торців ($2a$); $2a = 3$ мм;

$$L_{\text{заг.}} = L_{\text{дет.}} + 2a, \quad (2.15)$$

$L_{\text{р.}} = 6,5$ мм – ширина прорізу при відрізання заготовки дисковою пилою діаметром 510 мм.

Довжина заготовки і із припусками на підрізання торців:

$$L_{\text{заг.}} = 215 + 3 = 218 \text{ мм.}$$

Кількість заготовок, що можна виготовити із однієї довжини прокату (2.14):

$$x = \frac{3000}{218 + 6,5} = 13,36 \text{ шт.}$$

Приймаємо 13 шт.

Визначаємо витрати, пов’язані із неkratністю заготовки довжині прокату (2.13):

$$L_{\text{нк.}} = 3000 - 13 \cdot (218 + 6,5) = 81,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо розхід матеріалу на заготовку із врахуванням всіх технологічних втрат за формулою:

$$Q_{\text{тв.}} = \frac{Q_1 \cdot (100 + B_{\text{заг.}})}{100}, \quad (2.16)$$

де Q_1 – маса заготовки;

$$Q_1 = V_3 \cdot \rho, \quad (2.17)$$

де V_3 – об'єми заготовки.

Об'єми заготовки (2.12):

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 60^2 \cdot 218}{4} = 616068 \text{ мм}^3 = 616,07 \text{ см}^3;$$

$$Q_1 = 616,07 \cdot 7,85 = 4836,2 \text{ г} \approx 4,84 \text{ кг}.$$

Загальні витрати матеріалу (%):

$$B_{\text{заг.}} = B_{\text{нк.}}, \quad (2.18)$$

$$B_{\text{нк.}} = \frac{(L_{\text{нк.}} \cdot 100)}{L_{\text{пр.}}}, \quad (2.19)$$

Витрати матеріалу на некрatність:

$$B_{\text{нк.}} = \frac{(81,5 \cdot 100)}{3000} = 2,72\%.$$

Підставляємо дані у формулу (2.16):

$$Q_{\text{тв.}} = \frac{4,84 \cdot (100 + 2,72)}{100} = 5,87 \text{ кг}.$$

Визначаємо об'єм заготовки для штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 49^2 \cdot 25,2}{4} = 47496,6 \text{ мм}^3 = 47,5 \text{ см}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 58,6^2 \cdot 63,6}{4} = 171443,9 \text{ мм}^3 = 171,4 \text{ см}^3.$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 49^2 \cdot 60}{4} = 113087,1 \text{ мм}^3 = 113,1 \text{ см}^3.$$

$$V_4 = \frac{\pi \cdot 41,6^2 \cdot 70,2}{4} = 95366 \text{ мм}^3 = 95,4 \text{ см}^3.$$

$$V_{\text{заг2}} = V_1 + V_2, \quad (2.20)$$

$$V_{\text{заг}} = 47,5 + 171,4 + 113,1 + 95,4 = 427,4 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу заготовки:

$$Q_2 = 427,4 \cdot 7,85 = 3355,09 \text{ г} = 3,36 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_B = \frac{q}{Q}, \quad (2.21)$$

– для круглого прокату:

$$K_{B1} = \frac{2,49}{4,84} = 0,51;$$

– для штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі:

$$K_{B2} = \frac{2,49}{3,36} = 0,74.$$

Собівартість заготовки з прокату [4]:

$$C_{\text{заг1}} = \frac{Q_{\text{т.в.}} \cdot S - (Q_{\text{т.в.}} - q) \cdot S_{\text{відх.}}}{1000}, \quad (2.22)$$

де $S = 44850 \text{ грн/т}$ – ціна 1 т. металопродукту;

$S_{\text{відх.}} = 6000$ – ціна 1 т. відходів;

$$C_{\text{заг1}} = \frac{4,84 \cdot 44850 - (4,84 - 2,49) \cdot 6000}{1000} = 202,98 \text{ грн.}$$

Визначаємо собівартість штамповки [4]:

$$C_{\text{заг2}} = \left(\frac{S_B \cdot Q \cdot K_n}{1000} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}, \quad (2.23)$$

де $S_B = 52000 \text{ грн.}$ – базова ціна 1 т. штамповок;

K_{Π} – загальний поправочний коефіцієнт;

$$K_{\Pi} = K_{\text{ТК}} \cdot K_{\text{СК}} \cdot K_{\text{МК}} \cdot K_{\text{ПК}} \cdot K_{\text{ВК}}, \quad (2.24)$$

$K_{\text{ТК}} = 1,235$ – коефіцієнт точності штамповки [4];

$K_{\text{СК}} = 1,0$ – коефіцієнт складності штамповки [4];

$K_{\text{МК}} = 1,23$ – коефіцієнт марки матеріалу (для легованої сталі) [4];

$K_{\text{ПК}} = 1,27$ – коефіцієнт програми річного замовлення [4];

$K_{\text{ВК}} = 1,04$ – коефіцієнт маси штамповки [4];

$$K_{\Pi} = 1,23 \cdot 1,0 \cdot 1,23 \cdot 1,27 \cdot 1,04 = 2,0.$$

$$C_{\text{заг2}} = \left(\frac{52000 \cdot 3,36 \cdot 2,0}{1000} \right) - (3,36 - 2,49) \cdot \frac{6000}{1000} = 344,22 \text{ грн.}$$

Отже, собівартість виготовлення заготовки із прокату є нижчою ніж виготовленої штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі, тому для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 вибираємо спосіб виготовлення заготовки прокат.

2.3. Вибір технологічних баз

Для механічного оброблення поверхонь деталі “Вал” ПС-10А.43.608 використовуються чорнові та чистові бази. Зокрема, на другій операції після операції відрізання заготовки для забезпечення точності оброблення поверхонь деталі доцільно проводити фрезерування торців 1 та 16, а також свердління центрових отворів, що будуть основними базами на наступних операціях.

На першій та другій операціях як базові поверхні використовується зовнішня циліндрична поверхня 6 та торець 1.

На третій, четвертій, шостій, сьомій, восьмій операціях як базові поверхні використовується два центрові отвори із затиском по зовнішній циліндричній поверхні.

На п'ятій операції як базові поверхні використовується зовнішні циліндричні поверхні 3, 9 та торець 4.

2.4. Проектування технологічного маршруту механічного оброблення деталі

Розроблено два варіанти оброблення поверхонь деталі “Вал” ПС-10А.43.608 для умов середньосерійного типу виробництва. На основі цих варіантів сформовано остаточну операційну технологію, що забезпечує формування технічних вимог до поверхонь із мінімальною кількістю переходів та використанням токарних верстатів з ЧПК.

Варіанти оброблення поверхонь деталі “Вал” ПС-10А.43.608 представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Варіанти оброблення поверхонь деталі “Вал” ПС-10А.43.608

№ пов.	Вид поверхні, позначення	Вихідні параметри деталі		Варіанти методів, маршрутів обробки поверхонь	
		Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	1	2
1	2	3	4	5	6
1, 16	Торцева поверхня 215h14(_{-1,15})	14	Rz40	Точіння чорнове	Фрезерування торцевою фрезою
2,15	Зовнішня фаска 1,6×45°	14	Rz40	Точіння чорнове	
3,9	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45k6^{+0,018}_{+0,002}$; l=25; l=36mm	6	Ra1,25	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування Чистове кругле шліфування з установкою в центрах	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Тонке точіння при поздовжній подачі
5, 7	Зовнішня фаска 2×45°	14	Rz40	Чорнове точіння	
10	Зовнішня фаска 1,5×45°	14	Rz40	Чорнове точіння	

Закінчення таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
6	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 55h9_{(-0,074)}; l=60$	9	Ra2,5	Чорнове точіння Напівчистове точіння Напівчистове шліфування з установкою в центрах	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння
11	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 42h14_{(-0,62)}; l=60$	14	Rz40	Чорнове точіння	
12	Торцева зовнішня поверхня $70\pm 0,2$	14	Rz20	Чорнове точіння при поперечній подачі Напівчистове точіння при поперечній подачі	
13	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 38h8_{(-0,039)}; l=70$ під шліци	8	Ra2,5	Чорнове точіння при поздовжній подачі Напівчистове точіння при поздовжній подачі Напівчистове шліфування	Чорнове точіння при поздовжній подачі Напівчистове точіння при поздовжній подачі Чистове точіння при поздовжній подачі
14	Шліцева поверхня D- $8\times 32\times 38h8\times 6h9$	9	Rz20	Фрезерування черв'ячною фрезою	
17	Зовнішня радіусна канавка $\varnothing 14$	14	Rz40	Точіння радіусним різцем	
18	Шпонковий паз $16P9_{(-0,061)}^{(-0,018)};$ $6^{+0,25}; l=56$	9	Rz20	Фрезерування пазовою фрезою	

Із варіантів оброблення деталі (табл. 2.4) сформовано операційну технологію, що відповідає середньосерійному типу виробництва. Токарне оброблення поверхонь виконується на токарних верстатах з ЧПК замість

токарно-гвинторізних верстатів. Перед токарною обробкою застосовано фрезерно-центрувальну операцію, що дозволяє проводити фрезерування торців, а також свердління центрових отворів, які будуть основними базами на наступних операціях, підвищуючи точність обробки.

005 Фрезерно-відрізна

1. Відрізати заготовку, витримуючи розмір $218 \pm 1,45$.

010 Фрезерно-центрувальна

1. Фрезерувати торці 1, 11 одночасно, витримуючи розміри $215_{-1,15}$.
2. Свердлити два центрові отвори одночасно, витримуючи розміри $\varnothing 4^{+0,3}$; $\varnothing 8,5^{+0,36}$; $l=5$; $l_1=3,9^{+0,3}$.

015 Токарна з ЧПК

1. Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 6, витримуючи розмір $\varnothing 56,6_{-0,74}$.

2. Точити попередньо за два проходи зовнішню циліндричну поверхню 9 з попереднім підрізанням торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 46,9_{-0,62}$; $63,6_{-0,74}$ послідовно за програмою.

3. Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 9 з попереднім підрізанням торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 45,45_{-0,62}$; $62,6_{-0,74}$; точити остаточно зовнішню фаску 7, витримуючи розмір $3,1 \times 45^\circ$; точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 11 з остаточною точінням зовнішньої фаски 10, витримуючи розміри $\varnothing 42_{-0,62}$; $1,73 \times 45^\circ$; остаточно точити зовнішню фаску 15, витримуючи розмір $2,5 \times 45^\circ$; точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 13 з остаточною підрізанням торця 12, витримуючи розміри $\varnothing 39,8_{-0,62}$; $69,5 \pm 0,2$ послідовно за програмою.

4. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 13 з остаточною підрізанням торця 12, точити остаточно зовнішні циліндричні поверхні 9, 6, витримуючи розміри $\varnothing 38,6_{-0,16}$; $70 \pm 0,2$; $\varnothing 45,16_{-0,16}$; $\varnothing 55,6_{-0,19}$; $62,1_{-0,3}$ послідовно за програмою.

5. Точити остаточно радіусну канавку 17, витримуючи розміри $\varnothing 14$; $40 \pm 0,2$; $\varnothing 31,5$.

Перевірити розміри: $\varnothing 38,6_{-0,16}$; $70 \pm 0,2$; $\varnothing 45,16_{-0,16}$; $\varnothing 55,6_{-0,19}$; $85,3_{-0,3}$; $2,5 \times 45^\circ$; $2,6 \times 45^\circ$; $1,58 \times 45^\circ$; $\varnothing 14$; $40 \pm 0,2$; $\varnothing 31,5$.

020 Токарна з ЧПК

1. Точити попередньо за три проходи зовнішню циліндричну поверхню 3 з попереднім підрізанням торця 4, витримуючи розміри $\varnothing 46,9_{-0,62}$; $62,1_{-0,3}$ послідовно за програмою.

2. Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 3 з попереднім підрізанням торця 4, витримуючи розміри $\varnothing 45,45_{-0,62}$; $61,1_{-0,74}$; точити остаточно зовнішню фаску 5, витримуючи розмір $3,1 \times 45^\circ$ послідовно за програмою.

3. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 3 з остаточною підрізанням торця 4, витримуючи розміри $\varnothing 45,16_{-0,16}$; $60,6_{-0,3}$ послідовно за програмою.

025 Шпонково-фрезерна

1. Фрезерувати шпонковий паз 18, витримуючи розміри $16P9_{-0,061}^{-0,018}$; $6^{+0,25}_{-0,061}$; $l=56$.

030 Круглошліфувальна

1. Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 13, витримуючи розмір $\varnothing 38_{-0,039}$.

2. Шліфувати попередньо зовнішню циліндричну поверхню 9 з остаточною шліфуванням торця 8, витримуючи розмір $\varnothing 45,06_{-0,039}$; $60,3_{-0,74}$.

3. Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 9, витримуючи розмір $\varnothing 45^{+0,018}_{+0,002}$.

4. Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 6, витримуючи розмір $\varnothing 55_{-0,074}$.

035 Круглошліфувальна

1. Шліфувати попередньо зовнішню циліндричну поверхню 3 з остаточною

шліфуванням торця 4, витримуючи розмір $\varnothing 45,06_{-0,039}^{+0,018}$; $60_{-0,74}$.

2. Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 3, витримуючи розмір $\varnothing 45_{+0,002}^{+0,018}$.

040 Шліцефрезерна

1. Фрезерувати шліці 14, витримуючи розміри $D-8 \times 32 \times 38 h8 \times 6 h9$.

045 Контроль.

2.5. Визначення припусків на оброблення

Припуски на механічне оброблення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 а також проміжні розміри для виконання чорнових та чистових переходів розробленого технологічного процесу проведено, використовуючи табличний та аналітично-розрахунковий методи. Результати розрахунків представлено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Припуски оброблення деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Технологічні операції і переходи обробки поверхонь деталі	Квалітет (ступінь точності)	Шорсткість, мкм	Допуск, мм	Припуск, мм	Операційні (проміжні) розміри із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5	6
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 55 h9_{(-0,074)}$					
Шліфування напівчистове	9	Ra 2,5	0,074	$0,3 \times 2 = 0,6$	$\varnothing 55_{-0,074}$
Точіння напівчистове	11	Ra 6,3	0,19	$0,5 \times 2 = 1,0$	$\varnothing 55,6_{-0,19}$
Точіння чорнове	14	Ra 12,5	0,74	$1,7 \times 2 = 3,4$	$\varnothing 56,6_{-0,74}$
Заготовка	звичайної точності	Rz 160	1,6	$2,5 \times 2 = 5,0$	$\varnothing 60_{-1,1}^{+0,5}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45 k6_{(+0,002)}^{(+0,018)}$ (права сторона)					
Шліфування чистове	6	Ra 1,25	0,016	$0,03 \times 2 = 0,06$	$\varnothing 45_{+0,002}^{+0,018}$
Шліфування напівчистове	8	Ra 2,5	0,039	$0,05 \times 2 = 0,1$	$\varnothing 45,06_{-0,039}$

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
Напівчистове точіння	11	Ra 6,3	0,16	$0,145 \times 2 = 0,29$	$\varnothing 45,16_{-0,16}$
Чорнове точіння	14	Ra 12,5	0,62	$0,725 \times 2 = 1,45$	$\varnothing 45,45_{-0,62}$
Зняття напуску (два проходи)	14	Ra 12,5	0,62	$2,4 \times 2 = 4,8$ $2,45 \times 2 = 4,9$	$\varnothing 46,9_{-0,62}$ $\varnothing 51,7_{-0,62}$
Заготовка (після чорнового точіння)	14	Ra 12,5	0,74	$5,8 \times 2 = 11,6$	$\varnothing 56,6_{-0,74}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 45k6^{(+0,018}_{+0,002})$ (ліва сторона)					
Шліфування чистове	6	Ra1,25	0,016	$0,03 \times 2 = 0,06$	$\varnothing 45^{+0,018}_{+0,002}$
Шліфування напівчистове	8	Ra2,5	0,039	$0,05 \times 2 = 0,1$	$\varnothing 45,06_{-0,039}$
Напівчистове точіння	11	Ra 6,3	0,16	$0,145 \times 2 = 0,29$	$\varnothing 45,16_{-0,16}$
Чорнове точіння	14	Ra 12,5	0,62	$0,725 \times 2 = 1,45$	$\varnothing 45,45_{-0,62}$
Зняття напуску (три проходи)	14	Ra 12,5	0,62	$2,0 \times 2 = 4,0$ $2,0 \times 2 = 4,0$ $2,55 \times 2 = 5,1$	$\varnothing 46,9_{-0,62}$ $\varnothing 50,9_{-0,62}$ $\varnothing 54,9_{-0,74}$
Заготовка	звичайної точності прокатки	Rz 160	1,6	$7,5 \times 2 = 15,0$	$\varnothing 60^{+0,5}_{-1,1}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 42h14_{(-0,62)}$					
Чорнове точіння	14	Rz 40	0,62	$1,725 \times 2 = 3,45$	$\varnothing 42_{-0,62}$
Заготовка (після чорнового точіння)	14	Ra 12,5	0,62	—	$\varnothing 45,45_{-0,62}$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 38h8_{(-0,039)}$					
Шліфування напівчистове	8	Ra 2,5	0,039	$0,3 \times 2 = 0,6$	$\varnothing 38_{-0,039}$
Напівчистове точіння	11	Ra 12,5	0,16	$0,6 \times 2 = 1,2$	$\varnothing 38,6_{-0,16}$
Чорнове точіння	14	Ra 12,5	0,62	$1,1 \times 2 = 2,2$	$\varnothing 39,8_{-0,62}$
Заготовка (після чорнового точіння)	14	Rz 40	0,62	$2,0 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 42_{-0,62}$

Закінчення таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
Торцева поверхня 215h14 _(-1,15)					
Фрезерування торцевою фрезою одночасне	14	Rz40	1,15	1,5×2=3,0	215 _{-1,15}
Заготовка	16	Rz 160	2,9	—	218±1,45
Торцева зовнішня поверхня 70±0,2					
Точіння напівчистове поперечною подачею	11	Rz20	0,4	0,5	70±0,2
Точіння чорнове	14	Rz40	0,4	1,5	69,5±0,2
Заготовка	звичайної точності прокатки	Rz 160	—	2,3	суцільний матеріал
Торцева зовнішня поверхня 60 _{-0,74}					
Шліфування напівчистове	14	Ra 2,5	0,74	0,3×2=0,6	60 _{-0,74}
Точіння напівчистове	12	Ra 6,3	0,3	0,5×2=1,0	60,6 _{-0,3}
Точіння чорнове	15	Rz40	1,2	1,0×2=2,0	61,6 _{-0,74}
Заготовка	звичайної точності прокатки	Rz 160	—	1,8×2=3,6	суцільний матеріал

2.6. Розрахунок і вибір режимів оброблення та технічних норм часу

Розрахунок режимів різання оброблення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 проведено для переходу 015 токарної з ЧПК операції.

015 Токарна з ЧПК.

Перехід 3.

Точити попередньо за два проходи зовнішню циліндричну поверхню 9 з попереднім підрізанням торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 46,9_{-0,62}$; $63,6_{-0,74}$ послідовно за програмою.

Інструмент - різець для контурного точіння з механічним кріпленням пластини, Т5К10, 25×25, φ=93°.

1. Глибина різання:

$$t = 2,45 \text{ мм.}$$

2. Довжина робочого ходу [14]:

$$L_{p.x.} = l_{різ.} + l_{підв.} + l_{вріз.} + l_{пер.}, \quad (2.25)$$

де $l_{різ.8} = 128,2 \text{ мм}$; $l_{різ.9} = 4,85 \text{ мм}$;

$l_{підв.} = 2 \text{ мм}$ [14].

$l_{вріз.} = 2 \text{ мм}$ [14].

$l_{пер.} = 2 \text{ мм}$ [14].

Підставляємо дані у формулу (2.25) :

$$L_{p.x.} = 128,2 + 4,85 + 2,0 + 2,0 + 2,0 = 139,05 \text{ мм.}$$

3. Подача різця [14]:

$$S_o = S_{oT} \cdot K_{si} \cdot K_{sp} \cdot K_{sd} \cdot K_{sh} \cdot K_{sn} \cdot K_{sq} \cdot K_{sj} \cdot K_{sy} \cdot K_{sm}, \quad (2.26)$$

де $S_{oT} = 0,8 \text{ мм/об}$ [14];

$K_{si} = 1,0$ – коефіцієнт матеріалу інструмента Т5К10;

$K_{sp} = 0,9$ – коефіцієнт кріплення ріжучої пластини;

$K_{sd} = 0,8$ – коефіцієнт площі перерізу різця;

$K_{sh} = 0,9$ – коефіцієнт міцності ріжучої частини;

$K_{sn} = 0,8$ – коефіцієнт оброблюваної заготовки;

$K_{sq} = 0,9$ – коефіцієнт форми ріжучої пластини;

$K_{sj} = 0,9$ – коефіцієнт жорсткості верстата;

$K_{sy} = 0,7$ – коефіцієнт закріплення деталі у центрах;

$K_{sm} = 0,9$ – коефіцієнт матеріалу заготовки.

Підставляємо дані у формулу (2.15) :

$$S_o = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 0,21 \text{ мм/об.}$$

4. Період стійкості різця:

$$T_M = 60 \text{ хв.}$$

5. Швидкість різання [14]:

$$V_o = V_{oT} \cdot K_{vi} \cdot K_{vc} \cdot K_{vo} \cdot K_{vj} \cdot K_{vM} \cdot K_{v\phi} \cdot K_{vT} \cdot K_{vy}, \quad (2.27)$$

де $V_{oT} = 185 \text{ м/хв};$

$K_{vi} = 0,8$ – матеріалу матеріалу інструмента Т5К10;

$K_{vc} = 0,9$ – коефіцієнт матеріалу заготовки ;

$K_{vo} = 1,0$ – для поздовжнього точіння;

$K_{vj} = 0,9$ – коефіцієнт жорсткості верстата;

$K_{vM} = 0,8$ – коефіцієнт міцності матеріалу заготовки;

$K_{v\phi} = 0,95$ – коефіцієнт форми ріжучої пластини;

$K_{vT} = 0,9$ – коефіцієнт стійкості різця;

$K_{vy} = 0,9$ – коефіцієнт умов різання.

Підставляємо дані у формулу (2.16):

$$V_o = 185 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,8 = 73,79 \text{ м/хв.}$$

6. Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (2.28)$$

де $V = 36,84 \text{ м/хв};$

$d = 46,9 \text{ мм}$ – діаметр обробки поверхні 9;

$$n = \frac{1000 \cdot 73,79}{\pi \cdot 46,9} = 500 \text{ хв}^{-1}.$$

7. Приймаємо $n_d = 520 \text{ хв}^{-1}.$

8. Коректуємо швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000}; \quad (2.29)$$

$$V_d = \frac{\pi \cdot 46,9 \cdot 52}{1000} = 76 \text{ м/хв.}$$

9. Порівнюємо одержану потужність різання із потужністю приводу токарного верстата з ЧПК із умови виконання нерівності:

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{шп}}, \quad (2.30)$$

де $N_{\text{шп}}$ – потужність верстата;

10. Потужність верстата:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{д}} \cdot \eta, \quad (2.31)$$

де $N_{\text{д}} = 10$ кВт для токарного верстата з ЧПК;

$\eta = 0,8$.

$$N_{\text{шп}} = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт}.$$

11. Потужність різання [14]:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{т}} \cdot K_{\text{N}}, \quad (2.32)$$

де $N_{\text{т}}$ – таблична потужності різання, $N_{\text{т}} = 6,2$ кВт;

K_{N} – поправочний коефіцієнт матеріалу заготовки, $K_{\text{N}} = 0,9$.

$$N_{\text{різ}} = 6,2 \cdot 0,9 = 5,58 \text{ кВт}.$$

Перевіряємо умову (2.30):

$$N_{\text{різ}} = 5,58 \text{ кВт} < N_{\text{шп}} = 8 \text{ кВт}.$$

Потужність верстата достатня для виконання операції токарної обробки деталі. Відповідно, режими різання назначені правильно, обробка можлива.

12. Основний час виконання переходу токарної обробки [14]:

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_o \cdot n} \cdot i, \quad (2.33)$$

$$T_o = \frac{139,05}{0,21 \cdot 520} \cdot 2 = 2,55 \text{ хв.}$$

Аналогічно проведено розрахунки режимів різання для інших технологічних операцій виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608 і зведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання для виконання технологічних операцій виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _m , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _m , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Фрезерно-відрізна										
Перехід 2										
Відрізати заготовку, витримуючи розмір 218±1,45	2,0	100	1	500	0,035 мм/ зуб	21	34	–	1,89	0,26
010 Фрезерно-центрувальна										
Перехід 2										
Фрезерувати торці 1, 11 одночасно, витримуючи розміри 260 _{-1,3}	1,5	79	1	180	1,5	700	220	1050	0,08	6,8
Перехід 3										
Центрувати два центрові отвори одночасно, витримуючи розміри Ø4 ^{+0,3} ; Ø8,5 ^{+0,36} ; l=5; l ₁ =3,9 ^{+0,3}	2	9,47	1	15	0,03	900	12,2	27	0,35	0,58
015 Токарна з ЧПК										
Перехід 2										
Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 6, витримуючи розмір Ø56,6 _{-0,74}	1,7	201,4	1	60	0,58	450	80	261	0,77	5,82

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 3 Точити попередньо за два проходи зовнішню циліндричну поверхню 9 з попереднім підрізанням торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 46,9_{-0,62}$; $63,6_{-0,74}$ послідовно за програмою	2,4 2,4 5	139,05	2	60	0,21	520	76	109,2	2,55	5,58
Перехід 4 Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 9 з попереднім підрізанням торця 8, витримуючи розміри $\varnothing 45,45_{-0,62}$; $62,6_{-0,74}$; точити остаточно зовнішню фаску 7, витримуючи розмір $3,1 \times 45^\circ$; точити попередньо зовнішню циліндрич- ну поверхню 11 з остаточним точінням зовнішньої фаски 10, витримуючи розміри $\varnothing 42_{-0,62}$; $1,73 \times 45^\circ$;	0,725 3,1	140,78	1	60	0,58	560	80	324,8	0,43	4,2
остаточно точити зовнішню фаску 15, витримуючи розмір $2,5 \times 45^\circ$; точити попередньо зовнішню циліндрич- ну поверхню 13 з остаточним підрізанням торця 12, витримуючи розміри $\varnothing 39,8_{-0,62}$; $69,5 \pm 0,2$ послідовно за програмою	1,73	109,35	1	60	0,58	560	73,9	324,8	0,34	5,6
	2,5	80,46	1	60	0,58	560	70	324,8	0,25	5,8

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 5 Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 13 з остаточною підрізанням торця 12, витримуючи розміри $\varnothing 38,6_{-0,16}$; $70 \pm 0,2$; точити остаточно зовнішні циліндричні поверхню 9, витримуючи розмір $\varnothing 45,16_{-0,16}$; точити остаточно зовнішні циліндричні поверхню 6, витримуючи розміри $\varnothing 55,6_{-0,19}$; $62,1_{-0,3}$ послідовно за програмою	0,6 0,145 0,5	75,38 66,92 68,3	1 1 1	60 60 60	0,45 0,45 0,45	560 560 560	68 79,4 97,8	252 252 252	0,3 0,27 0,27	3,8 2,4 3,4
Перехід 6 Точити остаточно радіусну канавку 17, витримуючи розміри $\varnothing 14$; $40 \pm 0,2$; $\varnothing 31,5$	7	16	1	60	0,2	250	24,7	50	0,32	1,3
020 Токарна з ЧПК										
Перехід 2 Точити попередньо за три проходи зовнішню циліндричну поверхню 3 з попереднім підрізанням торця 4, витримуючи розміри $\varnothing 46,9_{-0,62}$; $62,1_{-0,3}$ послідовно за програмою	2,0 2,5	37,5	3	60	0,58	560	82,5	324,8	0,35	6,56

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 3 Точити попередньо зовнішню циліндричну поверхню 3 з попереднім підрізанням торця 4, витримуючи розміри $\varnothing 45,45_{-0,62}^{+0,18}$; $61,1_{-0,74}^{+0,18}$; точити остаточно зовнішню фаску 5, витримуючи розмір $3,1 \times 45^\circ$ послідовно	0,725	36	1	60	0,58	560	80	324,8	0,11	4,2
Перехід 4										
Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 3 з остаточно підрізанням торця 4, витримуючи розміри $\varnothing 45,16_{-0,16}^{+0,18}$; $60,6_{-0,3}^{+0,18}$ послідовно за програмою	0,145	36	1	60	0,45	560	79,4	252	0,14	2,4
Операція 025 Шпонково-фрезерна										
Перехід 2 Фрезерувати шпонковий паз 18, витримуючи розміри $16P9_{-0,061}^{-0,018}$; $6_{-0,061}^{+0,018}$; $l=56$.	0,4	56	15	50	0,12 мм/зуб	1000	50,24	240	3,5	0,8
Операція 030 Круглошліфувальна										
Перехід 2 Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 13, витримуючи розмір $\varnothing 38_{-0,039}^{+0,039}$	0,3	100	1	—	$S_{пф} = 0,005$ мм/об $S_{ф} = 16$ мм/об	251	$V_{с.кол.} = 30$ м/хв $V_{с.позд} = 5$ м/хв	—	2,1	1,7

Закінчення таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 3										
Шліфувати попередньо зовнішню циліндричну поверхню 9 з остаточною підшліфовкою торця 8, витримуючи розмір $\varnothing 45_{-0,039}^{-0,039}$; $60_{-0,74}^{-0,74}$	0,05	76	1	—	$S_{\Pi}=0,025$ мм/об $S_o=24$ мм/об	106	$V_{s.кол.}=15$ м/хв $V_{s.позд.}=3$ м/хв	—	0,07	1,5
Перехід 3										
Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 9, витримуючи розмір $\varnothing 45_{+0,002}^{+0,018}$	0,03	76	1	—	$S_{\Pi}=0,005$ мм/об $S_o=16$ мм/об	212	$V_{s.кол.}=30$ м/хв $V_{s.позд.}=5$ м/хв	—	0,19	—
Перехід 4										
Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 6, витримуючи розмір $\varnothing 55_{-0,074}^{-0,074}$	0,3	100,3	1	—	$S_{\Pi}=0,005$ мм/об $S_o=16$ мм/об	174	$V_{s.кол.}=30$ м/хв $V_{s.позд.}=5$ м/хв	—	3,03	—
Операція 035 Круглошліфувальна										
Перехід 2										
Шліфувати попередньо зовнішню циліндричну поверхню 3 з остаточною підшліфовкою торця 4, витримуючи розмір $\varnothing 45_{-0,039}^{-0,039}$; $60_{-0,74}^{-0,74}$	0,05	65	1	—	$S_{\Pi}=0,025$ мм/об $S_o=24$ мм/об	106	$V_{s.кол.}=15$ м/хв $V_{s.позд.}=3$ м/хв	—	0,06	1,5
Перехід 3 Шліфувати остаточно зовнішню циліндричну поверхню 3, витримуючи розмір $\varnothing 45_{+0,002}^{+0,018}$	0,03	65	1	—	$S_{\Pi}=0,005$ мм/об $S_o=16$ мм/об	212	$V_{s.кол.}=30$ м/хв $V_{s.позд.}=5$ м/хв	—	0,16	—
040 Шліцефрезерна										
Перехід 2										
Фрезерувати шліци 14, витримуючи розміри D-8×32×38h8×6h9	3	109,5	1	240	1,2	119,4	30	143,3	6,11	1,58

Технічні норми часу для 015 токарної з ЧПК операції проведено аналітичним методом, а для решти семи операцій - табличним методом.

Штучний час операції, що виконується на токарному верстаті з ЧПК [1]:

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ц}} + T_{\text{до}}) \cdot \left(1 + \frac{K}{100}\right), \quad (2.34)$$

де $T_{\text{ц}}$ – час роботи токарного верстата з ЧПК в автоматичному циклі;

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}}, \quad (2.35)$$

T_{o} – основний час роботи токарного верстата з ЧПК в автоматичному циклі;

$$T_{\text{o}} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i \cdot i}{S_i}, \quad (2.36)$$

L_i – довжина ходу при обробленні i -тої поверхні, мм;

S_i – подача інструменту, мм/хв;

$T_{\text{д}}$ – час на виконання допоміжних автоматичних дій;

$$T_{\text{д}} = T_{\text{ді}} + T_{\text{дх}}, \quad (2.37)$$

де $T_{\text{ді}}$ – час зняття та встановлення інструмента в автоматичному циклі;

$$T_{\text{ді}} = (T_{\text{п}} + T_{\text{ф}}) \cdot k, \quad (2.38)$$

де $T_{\text{п}}$ – час повороту револьверної головки; $T_{\text{п}} = 0,016$ хв.

k – кількість різців;

$T_{\text{ф}}$ – час фіксації револьверної головки; $T_{\text{ф}} = 0,016$ хв.

$T_{\text{дх}}$ – час виконання переміщень без виконання процесу різання;

$$T_{\text{дх}} = \sum_{i=1}^n \frac{L_{\text{xi}}}{S_{\text{п}}}, \quad (2.39)$$

де L_{xi} – довжина переміщень без виконання процесу різання;

$S_{\text{п}}$ – подача холостого ходу; для токарного верстата з ЧПК $S_{\text{п}} = 5000$ мм/хв.

015 Токарна з ЧПК.

Основний час роботи токарного верстата з ЧПК в автоматичному циклі:

$$T_o = 0,77 + 2,55 + 0,43 + 0,34 + 0,25 + 0,3 + 0,27 + 0,27 + 0,32 = 5,5 \text{ хв.}$$

Визначаємо час виконання переміщень без виконання процесу різання (2.39):

$$T_{\text{дх}} = \frac{1800}{5000} = 0,36 \text{ хв.}$$

Час зняття та встановлення інструмента в автоматичному циклі (2.38):

$$T_{\text{ді}} = (0,016 + 0,016) \cdot 3 = 0,096 \text{ хв.}$$

Час на виконання допоміжних автоматичних дій (2.37):

$$T_{\text{д}} = 0,096 + 0,36 = 0,456 \text{ хв.}$$

Час роботи токарного верстата з ЧПК в автоматичному циклі (2.35):

$$T_{\text{ц}} = 5,5 + 0,456 = 5,956 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час ручної роботи:

$$T_{\text{до}} = T_{\text{доу}} + T_{\text{доп}} + T_{\text{дов}}, \quad (2.40)$$

де $T_{\text{доу}}$ – час на встановлення та знімання деталі, хв;

$T_{\text{доп}}$ – час на виконання операції, хв;

$T_{\text{дов}}$ – час для контролю розмірів, хв.

Час на встановлення та знімання деталі $T_{\text{доу}} = 0,26 \text{ хв.}$ [1].

Час на виконання операції [1].

– встановлення деталі та інструмента по координатах, підналагодження:

$t_1 = 0,35 \text{ хв.}$

– перевірка переміщення інструментів: $t_2 = 0,16 \text{ хв.}$

- встановлення і знімання щитка для захисту від емульсії: $t_3 = 0,04$ хв.

$$T_{\text{доп}} = 0,35 + 0,16 + 0,04 = 0,55 \text{ хв.}$$

4.3. Час для контролю розмірів:

– $\varnothing 38,6_{-0,16}$; $70 \pm 0,2$; $\varnothing 45,16_{-0,16}$; $\varnothing 55,6_{-0,19}$; $85,3_{-0,3}$; $40 \pm 0,2$; $\varnothing 31,5$ – штангенциркулем – $t_{1\text{в}} = 0,11 \cdot 7 = 0,77$ хв.;

– $2,5 \times 45^\circ$; $2,6 \times 45^\circ$; $1,58 \times 45^\circ$ – кутоміром універсальним – $t_{2\text{в}} = 0,23 \cdot 3 = 0,69$ хв.;

– $\varnothing 195_{-1,85}$; – штангенциркулем – $t_{3\text{в}} = 0,21$ хв.;

– $\varnothing 14$ – шаблоном радіусним (R7) – $t_{3\text{в}} = 0,11$ хв.;

$$T_{\text{дов}} = \sum t_{\text{ів}} = 0,77 + 0,69 + 0,11 = 1,57 \text{ хв.}$$

При контролі 30%:

$$T_{\text{довд}} = T_{\text{дов}} \cdot 0,3 = 1,57 \cdot 0,3 = 0,471 \text{ хв.}$$

Загальний допоміжний час:

$$T_{\text{до}} = 0,26 + 0,55 + 0,471 = 1,281 \text{ хв.}$$

5. Оперативний час:

$$T_{\text{оп.}} = T_{\text{ц}} + T_{\text{до}}, \quad (2.41)$$

$$T_{\text{оп.}} = 5,956 + 1,281 = 7,237 \text{ хв.}$$

6. Штучний час (2.34):

$$T_{\text{шт}} = 7,237 \cdot \left(1 + \frac{9}{100}\right) = 7,88 \text{ хв.}$$

7. Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \quad (2.42)$$

де $n = 42$ шт, $T_{\text{пз}} = 30$ хв.

$$T_{\text{шт.к.}} = 7,88 + \frac{30}{42} = 8,59 \text{ хв.}$$

005 Фрезерно-відрізна

1. Основний час: $T_o = 1,89 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к}} = \Psi_{\text{к}} \cdot T_o. \quad (2.43)$$

$$T_{\text{шт.к005}} = 1,51 \cdot 1,89 = 2,85 \text{ хв.}$$

010 Фрезерно-центрувальна операція.

1. Основний час: $T_{o010} = 0,08 + 0,35 = 0,43 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к010}} = 1,84 \cdot 0,43 = 0,79 \text{ хв.}$$

020 Токарна з ЧПК.

1. Основний час: $T_{o020} = 0,35 + 0,11 + 0,14 = 0,6 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к020}} = 2,14 \cdot 0,6 = 1,28 \text{ хв.}$$

025 Шпонково-фрезерна.

1. Основний час: $T_{o025} = 3,5 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к025}} = 1,84 \cdot 3,5 = 6,44 \text{ хв.}$$

030 Круглошліфувальна.

1. Основний час: $T_{o030} = 2,1 + 0,07 + 0,19 + 3,03 = 5,39 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к030}} = 2,1 \cdot 5,39 = 11,32 \text{ хв.}$$

035 Круглошліфувальна.

1. Основний час: $T_{o035} = 0,06 + 0,16 = 0,22 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к035}} = 2,1 \cdot 0,22 = 0,46 \text{ хв.}$$

040 Круглошліфувальна.

1. Основний час: $T_{o040} = 6,11 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к040}} = 1,66 \cdot 6,11 = 10,14 \text{ хв.}$$

У таблиці 2.7 представлено результати розрахунку норм часу.

Таблиця 2.7 – Технічні норми часу виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608

Номер та назва операції	T _о , хв	Допоміжний час, T _д хв			T _{оп} , хв	Час обслуговування, T _{об} , хв			T _{шт} , хв.	T _{п.з.} , хв.	n	T _{шт.к.} , хв
		T _у .	T _{пер}	T _{вим}		T _{тех.об.}	T _{орг.об.}	T _{відп.}				
005 Фрезерно-відрізна	1,89										42	2,85
010 Фрезерно-центрувальна	0,43	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,79
015 Токарна з ЧПК	5,5	0,26	0,55	0,471	7,237	0,65			7,88	30		8,59
020 Токарна з ЧПК	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—		1,28
025 Шпонково-фрезерна	3,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42	6,44
030 Круглошліфувальна	5,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—		11,32
035 Круглошліфувальна	0,22	—	—	—	—	—	—	—	—	—		0,46
040 Шліце-фрезерна	6,11	—	—	—	—	—	—	—	—	—		10,14

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок точності пристосування для механічного оброблення деталі

Для фрезерування шпонкового паза деталі “Вал” ПС-10А.43.608 на 025 шпонково-фрезерній операції проведено проектування спеціального універсально-збірного пристрою, що встановлюється на столі шпонково-фрезерного напівавтомата. Використання універсально-збірного пристрою підвищує гнучкість виготовлення деталей в умовах середньосерійного типу виробництва.

Пристрій призначений для базування та закріплення деталі при фрезеруванні шпонкового паза, витримуючи розміри $16P9 \begin{pmatrix} -0,018 \\ -0,061 \end{pmatrix}$; $6^{+0,25}$; $l=56$ на шпонково-фрезерному напівавтоматі.

Деталь в пристосуванні базується по двох зовнішніх циліндричних поверхнях $\varnothing 45,16_{-0,16}$ та по торцю 25 на дві призми опорні ступінчасті 14.

Затиск деталі здійснюється від двох пневмоциліндрів пневмоблока 1 через шпильки 21 двома прихватами 15 з упором на гвинти із шаровими опорами 10.

Креслення пристрою представлено у графічній частині.

Похибку встановлення заготовки деталі “Вал” ПС-10А.43.608 у пристрої [15] знаходимо за формулою:

$$\Delta \varepsilon_1 = \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_3^2 + \Delta_{\text{пр}}^2} . \quad (3.1)$$

Необхідна точність встановлення заготовки у пристрої буде забезпечена, якщо похибка встановлення заготовки буде меншою за допуск розмірів деталі, які досягають при обробленні [15]:

$$\Delta \varepsilon_1 \leq \Delta \varepsilon_{10} . \quad (3.2)$$

На 025 шпонково-фрезерній операції технологічний процес передбачає

фрезерування шпонкового паза, витримуючи розміри 16P9 ($^{-0,018}_{-0,061}$); $6^{+0,25}$; $l=56$.

Точність ширини шпонкового паза 16P9 ($^{-0,018}_{-0,061}$) витримується інструментом, тому похибка базування на цей розмір дорівнює нулю, тобто $\Delta\epsilon_{y16} = 0$.

Похибка установки буде виникати на розмір $6^{+0,25}$. На основі конструкції пристосування та схеми базування визначено, що похибка базування $\Delta\epsilon_{66}$ на розмір 6 буде визначатися за формулою [15]:

$$\Delta\epsilon_{6.6} = 0,5TD \frac{1 + \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (3.3)$$

де TD – допуск на розмір $\varnothing 45,16_{-0,16}$, TD = 0,16 мм.

α – кут установчої призми, $\alpha = 90^\circ$.

$$\text{Тоді, } \Delta\epsilon_{6.6} = 0,5 \cdot 0,16 \frac{1 + \sin \frac{90}{2}}{\sin \frac{90}{2}} = 0,193 \text{ мм} = 193 \text{ мкм}.$$

Похибка закріплення при затиску заготовки у пристрої із пневмозатиском по чисто обробленій поверхні $\Delta_3 = 100$ мкм.

Похибка пристосування $\Delta_{\pi} = 20$ мкм.

Розраховуємо похибку встановлення заготовки деталі “Вал” ПС-10А.43.608 у пристрої:

$$\Delta\epsilon_1 = \sqrt{0,193^2 + 0,1^2 + 0,02^2} = 0,218 \text{ мм}.$$

Визначаємо допустиму похибку при фрезеруванні шпонкового паза $6^{+0,25}$:

$$\Delta\epsilon_{10} = \delta, \quad (3.4)$$

де δ – допуск на розмір, $\delta = 0,25$ мм.

Перевіряємо виконання умови (3.2):

$$0,218 \text{ мм} < 0,25 \text{ мм}.$$

Отже, необхідна точність встановлення заготовки у пристрої буде забезпечена.

3.2. Розрахунок силових параметрів пристосування для механічного оброблення деталі

Проведемо розрахунок силових параметрів затиску заготовки деталі “Вал” ПС-10А.43.608 при фрезеруванні шпонкового паза, витримуючи розміри $16P9(-0,018/-0,061)$; $6^{+0,25}$ на 025 шпонково-фрезерній операції із виникненням найбільших значень сили та моменту різання кінцевою фрезою.

На рис. 3.1 представлено схему, за якою проведено розрахунок силових параметрів при затиску циліндричної заготовки.

Для затиску заготовки застосовано два прихвати з приводом від двох окремих пневмоциліндрів, що вбудовані у стандартну плиту. На кожному із прихватів при подачі повітря у пневмоциліндри виникає сила затиску P_z циліндричної заготовки у місці її контакту із прихватами та із призмами, що дорівнює силі тертя між вказаними елементами із коефіцієнтами тертя $f_1=f_2=0,2$. В процесі фрезерування шпонкового паза виникає тангенціальна складова P_z сили різання, що діє на заготовку.

Запишемо рівняння рівноваги моментів, що діють на заготовку відносно осі симетрії заготовки:

$$2P_z \left(\frac{D_1}{2} \cdot f_1 + \frac{D_3}{2} \cdot \frac{f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) = K \cdot P_z \frac{D_4}{2}, \quad (3.5)$$

де $D_1=45$ мм – діаметр ступені заготовки, по якому проходить її затиск;

$D_3=45$ мм – діаметр ступені заготовки, по якому виконується її базування;

$D_4=55$ мм – діаметр ступені заготовки, на якому фрезерується паз;

K - коефіцієнт запасу $K = 2,5$;

α – кут установчої призми, $\alpha = 90^\circ$.

Тангенціальна складова P_z сили різання, що діє на заготовку [14]:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x s_z^y B^{n_1} z K_{Mp}}{D^q n^w}, \quad (3.6)$$

де $C_p=68,2$; $x=0,86$; $q=0,86$; $w=0$, $n_1=1$; $y=0,72$, $K_{Mp}=1,1$;

$t=0,4$ мм;

$s_z=0,12$ мм/зуб;

$B=16$ мм;

$z=2$ мм;

$D=16$ мм;

$n=1000$ об/хв.

Підставляємо дані у рівняння (3.6):

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 0,4^{0,86} 0,12^{0,72} 16^1 \cdot 2 \cdot 1,1}{16^{0,86} 1000^0} = 218,5 \text{ Н.}$$

Із рівняння (3.4) знаходимо силу затиску на одному прихваті:

$$P_3 = \frac{K \cdot P_z \frac{D_4}{2}}{D_1 \cdot f_1 + D_3 \cdot \frac{f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}}}; \quad (3.7)$$

$$P_3 = \frac{2,5 \cdot 218,5 \frac{55}{2}}{45 \cdot 0,2 + 45 \cdot \frac{0,2}{\sin \frac{90}{2}}} = 691,5 \text{ Н.}$$

Перевіряємо умову затиску заготовки:

$$P_3 \leq W, \quad (3.8)$$

де W – сила на штоці пневмоциліндра при застосуванні важільного передавально-підсилювального механізму, Н.

Із розрахункової схеми рис. 3.1, прихвати розглянуто як важельні механізми з опорами на сферичні поверхні, тому отримано формулу:

$$W = \frac{F_1}{l_1 + l_2} \cdot l_1 \cdot \eta, \quad (3.9)$$

де $l_1 = 35$ мм ;

$l_2 = 50$ мм ;

$\eta = 0,9$.

F_1 – сила на штоці пневмоциліндра.

Сила на штоці пневмоциліндра [15]:

$$F_1 = 0,785 \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta, \quad (3.10)$$

де $D=90$ мм діаметри циліндра.

Із формули (3.8) отримано:

$$F_1 = 0,785 \cdot 0,09^2 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2289 \text{ Н.}$$

Тоді

$$W = \frac{2289}{35 + 50} \cdot 35 \cdot 0,9 = 848 \text{ Н.}$$

Перевіряємо виконання умови (3.8): $P_s = 691,5 \text{ Н} < W = 848 \text{ Н}$. Оскільки умова (3.8) виконується, відповідно затиск заготовки деталі “Вал” ПС-10А.43.608 буде забезпечено.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Санітарно-гігієнічні та просторово-планувальні вимоги до території підприємства, розміщення виробничих будівель та інженерної інфраструктури

Проектування промислового підприємства починається з вибору території відповідно до вимог ДСП 173-96 та ДБН Б.2.2-12:2019 з урахуванням геокліматичних факторів, гідрологічного режиму, а також аналізу ризиків, пов'язаних із потенційними джерелами хімічного, фізичного або біологічного забруднення. До основних параметрів, що впливають на санітарно-захисні показники території, відносяться: аеродинамічні характеристики місцевості (напрямок і роза вітрів), топографія, частота туманоутворення, умови дисперсії та осадження промислових аерозолів.

Заборонено розміщення промислових об'єктів на ділянках із несприятливою інженерно-геологічною характеристикою, поблизу джерел централізованого водопостачання, на зонах підтоплення, а також на територіях із наявним радіоактивним або біогенним забрудненням.

Функціонально-просторове зонування території повинно враховувати принцип підвітряного розташування виробничої зони щодо адміністративно-побутової та рекреаційної частини підприємства. Орієнтація будівель щодо сторін світу повинна забезпечувати оптимальний коефіцієнт природної освітленості (КПО) відповідно до ДБН В.2.5-28:2018.

При формуванні генерального плану підприємства дотримуються наступних принципів:

- Виробничі об'єкти розташовуються за технологічною логістикою відповідно до напрямку виробничого потоку;
- Забезпечується мінімізація перехресних потоків персоналу, сировини, готової продукції й відходів;

- Враховується інженерне забезпечення — траси електроживлення, мережі водопостачання, водовідведення, системи вентиляції, каналізації тощо.

Для забезпечення нормативної якості повітря в зоні повітрязабору систем вентиляції та кондиціонування, гранично допустима концентрація (ГДК) забруднюючих речовин у повітрі не повинна перевищувати 30% від ГДК для повітря робочої зони згідно з ДСН 3.3.6.042-99.

Відстань між будівлями визначається за нормами інсоляції та протипожежного розриву й має бути не меншою за максимальну висоту протилежної будівлі для уникнення затінення та забезпечення нормативного природного освітлення.

Виробничі будівлі мають проектуватись з урахуванням їх санітарно-гігієнічної оцінки: об'єм виробничого приміщення на одного працівника має бути $\geq 15 \text{ м}^3$, а площа – не менше $4,5 \text{ м}^2$. Ширина основних внутрішніх проходів – не менше 1,5 м, а транспортних проїздів – від 2,5 м. Висота виробничих приміщень має відповідати мінімуму 3,2 м (для енергетичних і складських – $\geq 3,0 \text{ м}$), а відстань до нижніх елементів перекриття – не менше 2,6 м.

Промислові ворота та двері, що мають вихід на відкритий простір, повинні бути оснащені тамбур-шлюзами або тепловими завісами, щоб запобігти надходженню холодного повітря та зниженню ефективності вентиляційних систем.

Галереї, містки, технологічні майданчики, розташовані вище 260 мм від рівня підлоги, обов'язково обладнуються поручнями висотою 1,0 м і бортиками висотою 0,2 м згідно з вимогами безпечної експлуатації. Стаціонарні металічні сходи мають кут нахилу не більше 45° (до 60° при обслуговуванні маловідвідуваних зон), ширину сходинок – 250–300 мм, відстань між ними – 230–260 мм.

Санітарно-захисна зона (СЗЗ), визначена згідно з ДСП-201-91 та ДБН Б.2.2-12:2019, слугує бар'єром між джерелами шкідливих викидів та зонами житлової забудови. Її розмір встановлюється за результатами розрахунків розсіювання забруднюючих речовин у повітрі на підставі моделювання

(наприклад, методом Гауса) і підтверджується санітарно-епідеміологічним висновком. Джерела забруднення поділяються на:

- організовані (технологічні вентиляційні викиди через димові труби, шахти),
- неорганізовані (відкриті джерела: склади, накопичувачі, завантажувальні пости),
- розосереджені (викиди через технологічні ліхтарі або неповністю герметизовані вузли обладнання).

Рівні концентрації шкідливих речовин на межі СЗЗ не повинні перевищувати встановлені гігієнічні нормативи: ГДК – для житлових зон, 0,8 ГДК – для зон лікувально-оздоровчого та рекреаційного призначення.

Озеленення СЗЗ — обов'язковий захід, що забезпечує пилогазо- та шумопоглинаючу функцію. Зелені насадження в межах підприємства повинні складати щонайменше 10–15% загальної площі об'єкта (відповідно до ДБН Б.2.2-12:2019).

Для тимчасового зберігання відходів виробництва передбачаються окремі ділянки із твердим покриттям, огорожуванням і транспортною доступністю, відповідно до вимог ДСТУ ISO 14001.

Основні параметри та вимоги до конструкцій і організації внутрішнього простору виробничих будівель регламентуються ДБН В.2.2-10:2011. При проектуванні враховуються:

- необхідна площа для розміщення технологічного обладнання з урахуванням ремонтпридатності,
- зручні й безпечні проходи та евакуаційні шляхи,
- ергономічні вимоги до робочих місць і мікроклімату,
- рівні шуму, вібрації, освітленості — згідно з ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.039-99.

4.2. Технічні вимоги з охорони праці при експлуатації шліфувального та заточного обладнання

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. До самостійного обслуговування шліфувальних і заточних верстатів з абразивним інструментом (сухе шліфування) допускаються працівники, які:

- пройшли обов'язковий медичний огляд відповідно до вимог наказу МОЗ №246 від 21.05.2007 р.;
- пройшли вступний, первинний та цільовий інструктаж з охорони праці;
- склали іспит на знання інструкцій з охорони праці, експлуатації обладнання та отримали допуск у вигляді посвідчення.

1.2. При введенні в експлуатацію нового типу верстатного обладнання, працівник зобов'язаний пройти позаплановий інструктаж і ознайомитися з технічною документацією, інструкцією з експлуатації та схемами електро-, пневмо- й гідроприводів.

1.3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) є обов'язковими для всіх категорій працівників і включають:

- спецодяг відповідного захисного класу;
- захисне взуття з антиковзкою підошвою та твердим носком;
- захисні окуляри, щитки або екрани при роботі з абразивним пилом;
- головний убір, який повністю закриває волосся.

Категорично заборонено працювати у відкритому або легкому взутті, а також у незастебнутому одязі.

1.4. Робоче місце повинно відповідати вимогам стандартів виробничої санітарії (ДСН 3.3.6.042-99): устаткування має бути чистим, справним; обслуговування здійснюється з використанням нековзної дерев'яної решітки (трапу).

1.5. Матеріали, напівфабрикати, заготовки та інструмент зберігаються у спеціально визначених зонах — на полицях, у шафах або стелажах. Забороняється складування виробів у проходах, під ногами або поблизу зон

обслуговування устаткування.

1.6. Усі механічні приводи, передавальні механізми, обертові вузли повинні бути обладнані захисними кожухами відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 14120:2019. Робочі елементи, які виступають за межі корпусу, мають бути захищені стаціонарними або регульованими бар'єрами.

1.7. На робочому місці дозволяється залишати лише інструмент і матеріали, необхідні для виконання поточної операції.

1.8. Зона обробки повинна бути оснащена локальним освітленням (відповідно до ДБН В.2.5-28:2018), з використанням ламп із рефлекторами, розташованими нижче рівня очей оператора для уникнення прямих світлових потоків.

1.9. Заборонено:

- передавати управління верстатом стороннім особам;
- залишати обладнання без нагляду в робочому режимі;
- виконувати будь-які регулювання або вимірювання при увімкненому шпинделі.

1.10. Заміна інструменту, кріплення заготовок, очищення стружки допускається лише при повній зупинці приводу.

1.11. При роботі з металами, що утворюють дрібнодисперсний абразив, або при високошвидкісному шліфуванні необхідне використання стаціонарних захисних екранів або окулярів.

1.12. Перед пуском верстата працівник повинен упевнитися у відсутності потенційної загрози для персоналу, що перебуває поблизу.

1.13. Верстатник повинен:

- знати конструкцію устаткування, принцип дії, ознаки несправностей;
- користуватися вантажопідйомними пристроями при підйомі деталей масою >16 кг;
- дотримуватись санітарно-гігієнічних норм виробничого середовища;

- виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку.

1.14. Порушення положень цієї інструкції тягне за собою дисциплінарну, адміністративну або кримінальну відповідальність відповідно до КЗпП України та чинного законодавства.

2. Підготовка до роботи

2.1. Провести візуальний і функціональний контроль:

- захисних кожухів і запобіжників;
- наявності та справності заземлення (згідно з ПУЕ);
- повноти комплектності інструментів і пристосувань.

2.2. Протестувати верстат у режимі холостого ходу:

- перевірити органи керування, блокування, електричні пускачі, механічні фіксатори;
- переконатися в коректній роботі системи охолодження й мащення.

2.3. Установлення абразивного круга здійснюється лише підготовленим налагоджувальником з відповідним інструктажем. Перед монтажем диск перевіряється на відсутність дефектів (тріщин, сколів, вибоїн).

2.4. Абразивні круги мають маркування: порядковий номер, дата та підпис відповідальної особи, підтвердження випробування. Дані заносяться до журналу обліку (форма ЖО-1/А).

2.5. Біля кожного верстата мають бути вивішені:

- табличка з прізвищем відповідальної особи;
- гранично допустимі кругові швидкості й частота обертання шпинделя.

2.6. Кріплення круга здійснюється фланцями однакового діаметра (не менше $\frac{1}{3}$ діаметра круга), з прокладками з еластичного матеріалу товщиною 0,1–1 мм.

2.7. Використання ударного інструменту (молотка, зубила) для затягування фланців заборонено — дозволено лише динамометричними ключами.

2.8. Заборонено котити круги по підлозі — транспортування виконується

в індивідуальній упаковці або на спеціальних візках.

2.9. Абразивний круг і обертові вузли повинні бути повністю закриті кожухами, що виключають можливість контакту оператора з рухомими частинами.

2.10. Оператор має розміщуватись поза зоною площини обертання диска.

2.11. Подача заготовки до круга повинна бути поступовою, без ударного навантаження.

2.12. Робота торцевою поверхнею абразивного диска дозволяється лише за умови, що він конструктивно розрахований на це.

2.13. Забороняється:

- доторкатися до круга руками або здійснювати зачистку в ручному режимі;

- працювати з несправними або непротестованими дисками;
- відкривати захисні кожухи шпинделя, шківів, ременя під час роботи;
- змінювати або перекидати ремені без відключення живлення;
- працювати без ЗІЗ, заземлення і витяжної установки для пилу.

2.14. Випробовування круга на стенді:

- до Ø 400 мм — не менше 2 хв;
- понад Ø 400 мм — не менше 5 хв.

3. Дії в аварійних ситуаціях

3.1. У разі виявлення технічної несправності або ознак відмови обладнання — негайно припинити обробку, знеструмити верстат, повідомити відповідальну особу (майстра, механіка).

3.2. У разі пожежі, аварій, природних катастроф — зупинити верстат, вимкнути живлення, евакуюватися згідно з планом цивільного захисту.

3.3. У разі травмування працівника — надати першу медичну допомогу, викликати екстрені служби, проінформувати керівництво.

4. Дії після завершення зміни

4.1. Зупинити верстат, вимкнути електродвигун.

4.2. Провести прибирання: очистити робочу поверхню від стружки,

інструмент і заготовки прибрати у відповідні місця, готову продукцію скласти на полиці.

4.3. Провести технічне обслуговування: змастити вузли тертя згідно з інструкцією з експлуатації.

4.4. Передати інформацію про несправності наступній зміні або керівнику структурного підрозділу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра визначено, що деталь “Вал” ПС-10А.43.608 застосовується як робочий елемент редуктора скребкового конвеєра для переміщення сипких матеріалів і призначена для виконання функції передачі обертового руху та крутного моменту між валами редуктора та між редуктором і привідним механізмом конвеєра за допомогою запобіжної муфти. Деталь виготовляється із сталі 40Х.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі відповідає дрібносерійному типу виробництва. Річна програма випуску, що вказана у завданні, відповідає середньосерійному типу виробництва.

Тому у проектному технологічному процесі запроваджено такі зміни: для виготовлення заготовки використано відносно меншої собівартості метод – круглий прокат; токарна обробка поверхонь виконується на токарних верстатах з ЧПК замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів; на одержаній заготовці перед токарною обробкою застосовано фрезерно-центрувальну операцію, що дозволяє проводити фрезерування торців, а також свердління центрових отворів, які будуть основними базами на наступних операціях, підвищуючи точність обробки; застосовано інструменти та технологічне оснащення для верстатів з ЧПК, а також із механізованим приводом затиску.

Вдосконалення технологічного процесу дозволяють підвищити продуктивність та точність виготовлення деталі “Вал” ПС-10А.43.608.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кухарський О. М., Кушак І. В. Методичний посібник до курсового проекту по курсу “Технологія машинобудування”. Тернопіль, 2001. 58 с.
2. Пилипець М.І., Комар Р.В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин. Тернопіль, 2019. 58 с.
3. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. 148 с.
4. Боженко Л. І. Технологія виробництва заготовок у машинобудуванні. Київ: НМК ВО, 1990. 264 с.
5. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є. Дослідження технологічних процесів за допомогою методів математичної статистики та теорії ймовірності. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. 33 с.
6. Кухарський, О. М., Кузьмін М. І. Визначення припусків табличним методом. Тернопіль : Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
7. Паливода Ю. Є., Кухарський О. М. Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом, Тернопіль, 2003. 81 с.
8. Розмірні ланцюги: навчально-методичний посібник / Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Капаціла Ю.Б, Ткаченко І.Г. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.
9. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
10. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисциплін “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин ” та “Технологія машинобудування” для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка” і 133 “Галузеве машинобудування” на тему “Структура технологічного процесу. Принципи побудови технологічних операцій” /

Укладачі : Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 53 с.

11. Дячун А. Є. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин» / А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 75 с.

12. Жидецький В. Ц., Джигирей В. Ц., Мельников О. В. Основи охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 350 с.

13. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів: Афіша, 2000. 349 с.

14. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.

15. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Проектно-конструкторські розрахунки пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТДТУ, 2001. 277 с.

16. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Конструювання пристосувань: навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2015. 141 с.