

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу механічного оброблення
маточини 56.614

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

(шифр і назва спеціальності)

Коваленко М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

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

Рецензент
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

“Розроблення технологічного процесу механічного оброблення маточини 56.614 ” студента групи МП-41 Коваленка М. Керівник роботи - кандидат техн. наук, доцент Дячун А.Є.

Мета роботи – підвищити продуктивність базового технологічного процесу механічного оброблення маточини 56.614.

У першій частині встановлено, що за кількісними та якісними показниками деталей “Маточина” 56.614 є технологічною. Проведено аналіз креслення та технічних вимог деталі. Встановлено, що базовий технологічний процес виготовлення деталі відповідає дрібносерійному типу виробництва, що характеризується застосуванням універсального технологічного обладнання без програмного керування, на обладнанні застосовано стандартні та прості пристрої з ручним приводом механізмів затиску.

Річна програма випуску 900 шт, що 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. Метод розрахунку ґрунтується на розрахунку коефіцієнта закріплення операцій.

Вартість заготовки для лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями є вищим ніж для лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев’яними моделями, тому для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі вибірано другий спосіб.

Проведено вибір обладнання, інструментів, розраховано припуски, режими різання та технічні норми часу. Розроблено технологічний процес механічного оброблення маточини 56.614.

У третій частині для обробки чотирьох отворів деталі “Маточина” 56.614 на 025 свердлильній з ЧПК операції проведено проектування спеціального 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. Інженерно-технічний аналіз потенційних виробничих ризиків проектового верстата (установки) та комплекс інженерно-організаційних заходів щодо їх мінімізації... ..	
4.2. Аналіз умов праці на робочому місці оператора ЕОМ з урахуванням технічних та санітарно-гігієнічних нормативів.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

У кваліфікаційній роботі проведено проектування технологічного процесу механічного оброблення деталі “Маточина” 56.614 для умов середньосерійного типу виробництва. Деталь застосовується як робочий елемент машини для покриття насіння сільськогосподарських культур поживними на захисними елементами. Маточина 56.614 призначена для передачі обертового руху та крутного моменту між валами робочих елементів машини. Деталь відповідно до креслення виготовляється із ковкого чавуну КЧ 37-12Ф.

Базовий технологічний процес, що використовується для виготовлення деталі “Маточина” 56.614 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 литва в піщані форми; токарну обробку поверхонь доцільно виконувати на токарних верстатах з ЧПК замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів; оброблення чотирьох отворів доцільно виконувати на свердлильному верстаті з ЧПК замість координатно-розточного верстата; фінішне оброблення центральних отворів, що передбачають допуск на торцеве биття та співвісність доцільно виконувати відносно бази А, застосовуючи розтискні цанги із базуванням по центральному отвору; застосування інструментів та технологічного оснащення для верстатів з ЧПК, а також із механізованим приводом затиску.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення деталі

Деталь “Маточина” 56.614 застосовується як робочий елемент машини для покриття насіння сільськогосподарських культур поживними на захисними елементами. Маточина 56.614 призначена для передачі обертового руху та крутного моменту між валами робочих елементів машини.

Основними конструктивними елементами для виконання функціональних характеристик вказаної маточини є: внутрішні циліндричні поверхні $\varnothing 62P7$; $\varnothing 52P7$; Ra 1,25 - посадочні поверхні для зовнішніх кілець радіально-упорних підшипників кочення; внутрішні циліндричні поверхні $\varnothing 54H8$; $\varnothing 65H8$; Ra 2,5 - посадочні поверхні для ущільнюючих манжетів; зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 58,2h14$; $\varnothing 76h14$; $\varnothing 80h14$; $\varnothing 55h14$; $\varnothing 45h14$; Ra25 – забезпечують якісне збирання вузла, в який входить деталь; торцеві поверхні 102_{-0,54}; Ra12,5 – забезпечують якісне збирання механізму у вузлі; чотири отвори $\varnothing 14H8$; Ra2,5 призначені для закріплення до деталі привідного елемента подачі насіння болтами; шпонковий паз 12Js9 для встановлення шпонки вала, за допомогою якої передається крутний момент від вала на маточину.

Інші поверхні (фаски, внутрішні порожнини), визначають конфігурацію маточини, забезпечують її жорсткість, простоту монтажу та необхідні технічні вимоги.

Деталь “Маточина” 56.614 за даними із креслення виготовляється із ковкого чавуну КЧ 37-12Ф, що характеризується феритною мікроструктурою металічної основи, який отримують графітизуючим відпалом білого чавуну. Матеріал-замінник – ковкий чавун КЧ 35-10Ф. Необхідність застосування такого матеріалу визначається вимогами, які повинна забезпечувати деталь. Основними особливостями такого чавуну є підвищена границя текучості та міцності, стійкість до зношування.

У таблицях 1.1 та 1.2 детальніше наведено інформацію про хімічний склад та характеристики механічних випробувань ковких чавунів КЧ 37-12Ф, КЧ 35-10Ф.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад ковких чавунів, %

Марка чавуну	C	Si	Mn	S	P	Cr
КЧ 37-12Ф	2,2-2,5	1,2-1,4	0,3-0,5	0,12	0,12	0,026
КЧ 35-10Ф	2,3-2,0	1,1-1,3	0,3-0,5	0,12	0,12	0,06

Таблиця 1.2 – Характеристики механічних випробувань ковких чавунів

Марка чавуну	σ_B , МПа, (кгс/мм ²)	δ_5 , %	ρ , г/см ³	HB
КЧ 37-12Ф	362 (37)	12	7,0	110 - 163
КЧ 35-10Ф	333 (35)	10	7,0	100 - 163

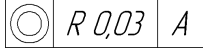
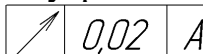
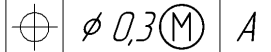
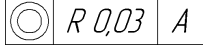
1.2. Аналіз технічних вимог деталі

Для проектування технологічного процесу виготовлення деталі “Маточина” 56.614 вивчено технічні вимоги та показники якості поверхонь деталі, аналізуючи креслення. Після вивчення вимог до точності та шорсткості поверхонь, їм присвоєно номери та відображено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз технічних вимог та показників якості поверхонь деталі “Маточина” 56.614

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	3	3	4
1	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 160$	10 кл. точності розмірів і мас	Rz200
2, 21	Торцеві поверхні $11 \pm 0,55$	14	Ra12,5
3	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 80h14_{(-0,74)}$	14	Ra25
4	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 76h14_{(-0,74)}$	14	Ra25
5, 23	Торцеві поверхні $102_{-0,54}$	13	Ra12,5

Закінчення таблиці 1.3

1	2	3	4
6	Внутрішня фаска 1,6×30°	14	Ra12,5
7	Внутрішня циліндрична поверхня Ø65H8(+0,046)	8	Ra2,5
8	Внутрішня фаска 45°	14	Ra12,5
9	Внутрішня циліндрична поверхня Ø62P7(-0,021 -0,051)  , база А – вісь деталі	7	Ra1,25
10, 28	Внутрішні торцеві поверхні 47±0,31  , база А – вісь деталі	14	Ra2,5
11	Внутрішня циліндрична поверхня Ø55H14(+0,74)	14	Ra25
12	Внутрішня камера Ø62	10 кл. точності розмірів і мас	Rz200
13...16	Чотири отвори Ø14H8(+0,027); Ø98±0,15  , база А – вісь деталі	8	Ra2,5
17...20	Чотири внутрішні фаски 1,6×45°	14	Ra25
22	Зовнішня циліндрична поверхня Ø58,2h14(-0,74)	14	Ra25
24	Внутрішня фаска 1×45°	14	Ra12,5
25	Внутрішня циліндрична поверхня Ø54H8(+0,046)	8	Ra2,5
26	Внутрішня торцева поверхня 7±0,2	14	Ra2,5
27	Внутрішня циліндрична поверхня Ø52P7(-0,021 -0,051)  , база А – вісь деталі	7	Ra1,25
29	Внутрішня циліндрична поверхня Ø45H14(+0,62)	14	Ra25
30	Шпонковий паз 48,3 ^{+0,2} , 12Js9(±0,021), Ra6,3	9	Ra6,3

1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

Під час аналізу технологічності деталі “Маточина” 56.614 враховано програму випуску, що дорівнює 900 шт., а випуск деталей виконується в

умовах середньосерійного типу виробництва. В процесі аналізу розглянуто вимоги до точності, шорсткості поверхонь, допустимого відхилення від співвісності двох центральних отворів, торцевого биття відносно центральної осі деталі та інші технічні вимоги.

Матеріал деталі ковкий чавун КЧ 37-12Ф має підвищену границю текучості та міцності, стійкість до зношування, добре піддається різанню. Тому маточина може передавати значні крутні моменти при абразивній дії робочого середовища.

Застосування такого матеріалу дозволяє використовувати для виготовлення заготовки різні методи литва, зокрема литва в кокіль, литва в піщані форми із механізованим або ручним методами формування.

У конструкції маточини є достатня кількість поверхонь для базування та закріплення заготовки для різних методів чорнового та чистового механічного оброблення. Жорсткість деталі достатня для прикладання зусиль затиску пристроями із механічним приводом. Для забезпечення точності оброблення двох отворів Ø62P7; Ø52P7, їх торцевого биття і відхилення від співвісності в межах допуску на першій операції доцільно проводити оброблення центрального отвору 9 та торцевої поверхні 5, що будуть основними базами на наступних операціях.

Для оброблення отворів, зовнішніх циліндричних поверхонь, торців можливе використання стандартних інструментів, зокрема різців, свердл, зенкерів, розверток, а також як обладнання можна використовувати верстати з ЧПК.

Враховуючи вищевказане, за якісними показниками деталь “Маточина” 56.614 є технологічною.

Проведено розрахунок технологічності деталі “Маточина” 56.614 за трьома кількісними показниками: коефіцієнтом точності, коефіцієнтом шорсткості та коефіцієнтом уніфікації, відповідно до відомих методик та даних із табл. 1.3.

Коефіцієнт точності обробки:

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

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 17 + 13 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 8 \cdot 6 + 7 \cdot 2}{28} = 11,96;$$

$$K_{T.ч.} = 1 - \frac{1}{11,96} = 0,92.$$

При $K_{Tч} = 0,92 > 0,8$ деталь “Маточина” 56.614 є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості:

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

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{5 \cdot 11 + 4 \cdot 7 + 3 \cdot 10}{28} = 4,04,$$

$$K_{ш} = \frac{1}{4,04} = 0,25.$$

При $K_{ш} = 0,25 > 0,16$ деталь “Маточина” 56.614 є технологічною.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{y.e.} = \frac{N_{y.e.}}{N_e} = \frac{22}{28} = 0,78.$$

При $K_{ye} = 0,78 > 0,6$ деталь “Маточина” 56.614 є технологічною.

Враховуючи проведені розрахунки та критерії, за кількісними показниками деталь “Маточина” 56.614 є технологічною.

1.4. Аналіз базового технологічного процесу

У таблиці 1.4. представлено перелік технологічного устаткування, що застосовується для виконання операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі “Маточина” 56.614 у послідовності їх виконання.

Таблиця 1.4 – Перелік технологічного устаткування та операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі “Маточина” 56.614

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 Алмазно-розточна	Алмазно-розточний верстат 2705	Пристрій спеціальний
020 Алмазно-розточна	Алмазно-розточний верстат 2705	Пристрій спеціальний
025 Координатно-розточна	Координатно-розточний верстат 2421	Пристрій спеціальний з базуванням по внутрішній циліндричній поверхні на оправку з упором в торець з ручним затиском
030 Горизонтально-протяжна	Горизонтально-протяжний верстат 7Б55	Планшайба з комплекту верстата. Адаптер спеціальний
035 Контроль	Стіл контролера	Універсальні вимірювальні інструменти

Встановлено, що базовий технологічний процес, який використовується для виготовлення деталі “Маточина” 56.614 відповідає дрібносерійному типу виробництва, що характеризується застосуванням універсального технологічного обладнання без програмного керування, на обладнанні застосовано стандартні та прості пристрої з ручним приводом механізмів затиску. Для досягнення точності та шорсткості поверхонь деталі використовуються стандартні універсальні ріжучі (різці, свердла, розточні оправки, зенкери, розвертки) та вимірювальні інструменти.

1.5. Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу

У розділі проведено аналіз креслення та технічних вимог деталі “Маточина” 56.614 як робочого елемента машини для покриття насіння сільськогосподарських культур поживними на захисними елементами. Вивчено технічні вимоги та показники якості поверхонь деталі, аналізуючи креслення.

Розглянуто можливості і методи досягнення параметрів деталі при розробленні проектного технологічного процесу механічного оброблення із вибором способу виготовлення заготовки.

За якісними та кількісними показниками деталь “Маточина” 56.614 є технологічною.

Матеріал деталі ковкий чавун КЧ 37-12Ф має підвищену границю текучості та міцності, стійкість до зношування, добре піддається різанню. Тому маточина може передавати значні крутні моменти при абразивній дії робочого середовища. Застосування такого матеріалу дозволяє використовувати для виготовлення заготовки різні методи литва, зокрема литва в кокіль, литва в піщані форми із механізованим або ручним методами формування.

Для забезпечення точності оброблення двох отворів $\varnothing 62P7$; $\varnothing 52P7$, їх торцевого биття і відхилення від співвісності в межах допуску на першій операції доцільно проводити оброблення центрального отвору 9 та торцевої поверхні 5, що будуть основними базами на наступних операціях.

Для оброблення отворів, зовнішніх циліндричних поверхонь, торців можливе використання стандартних інструментів, зокрема різців, свердл, зенкерів, розверток, а також як обладнання можна використовувати верстати з ЧПК.

Базовий технологічний процес, який використовується для виготовлення деталі “Маточина” 56.614 відповідає дрібносерійному типу виробництва, що характеризується застосуванням універсального технологічного обладнання без програмного керування, на обладнанні застосовано стандартні та прості пристрої з ручним приводом механізмів затиску. Річна програма випуску 900 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 литва в піщані форми;

- токарну обробку поверхонь доцільно виконувати на токарних верстатах з ЧПК замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів;

- оброблення чотирьох отворів доцільно виконувати на свердлильному верстаті з ЧПК замість координатно-розточного верстата;

- фінішне оброблення центральних отворів, що передбачають допуск на торцеве биття та співвісність доцільно виконувати відносно бази А, застосовуючи розтискні цанги із базуванням по центральному отвору;

— 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 “Маточина” 56.614.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Визначення типу виробництва

На основі попереднього аналізу тип виробництва при механічному обробленні деталі “Маточина” 56.614 для програми випуску $N = 900$ шт. і маси деталі $m = 2,9$ кг відповідає середньосерійному.

Використовуємо також аналітичний метод для визначення типу виробництва при розробленні нового технологічного процесу виготовлення деталі. Для цього використовуємо дані штучного часу на кожну із операцій базового технологічного процесу. Розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій, величина якого відповідає певному типу виробництва.

У таблиці 2.1. представлено перелік операцій базового технологічного процесу та штучного часу виготовлення деталі “Маточина” 56.614.

Таблиця 2.1 – Дані штучного часу базового технологічного процесу виготовлення деталі “Маточина” 56.614

Операція	$T_{шт},$ хв.	Операція	$T_{шт},$ хв.
005 Токарно-гвинторізна	12,32	020 Алмазно-розточна	5,8
010 Токарно-гвинторізна	7,62	025 Координатно-розточна	18,8
015 Алмазно-розточна	6,93	030 Горизонтально-протяжна	3

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;

$$\eta_{зн.} = 0,75.$$

$$m_{p005} = \frac{900 \cdot 12,32}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,06. P_{005} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p010} = \frac{900 \cdot 7,62}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,04. P_{010} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p015} = \frac{900 \cdot 6,93}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,04. P_{015} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p020} = \frac{900 \cdot 5,8}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,03. P_{020} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p025} = \frac{900 \cdot 18,8}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,1. P_{025} = 1 \text{ верстат};$$

$$m_{p030} = \frac{900 \cdot 0,3}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,02. P_{025} = 1 \text{ верстат}.$$

Фактичні коефіцієнти завантаження обладнання [1]:

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

$$\eta_{з.ф.005} = \frac{0,06}{1} = 0,06;$$

$$\eta_{з.ф.010} = \frac{0,04}{1} = 0,04;$$

$$\eta_{з.ф.015} = \frac{0,04}{1} = 0,04;$$

$$\eta_{з.ф.020} = \frac{0,03}{1} = 0,03;$$

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

$$\eta_{з.ф.030} = \frac{0,002}{1} = 0,02.$$

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

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

$$O_{005} = \frac{0,75}{0,06} = 12,5. O_{005} = 13 \text{ операцій}.$$

$$O_{010} = \frac{0,75}{0,04} = 18,75. O_{010} = 19 \text{ операцій.}$$

$$O_{015} = \frac{0,75}{0,04} = 18,75. O_{015} = 19 \text{ операцій.}$$

$$O_{020} = \frac{0,75}{0,03} = 25. O_{020} = 25 \text{ операцій.}$$

$$O_{025} = \frac{0,75}{0,1} = 7,5. O_{025} = 8 \text{ операцій.}$$

$$O_{030} = \frac{0,75}{0,02} = 37,5. O_{030} = 38 \text{ операцій.}$$

Коефіцієнт закріплення операцій [1]:

$$K_{з.о.} = \frac{122}{6} = 20,3.$$

Для $K_{з.о.} = 20,3$ тип виробництва – середньосерійний.

Визначаємо період виготовлення деталей [1]:

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

$$t_b = \frac{60 \cdot 3979}{900} = 265 \text{ хв.}$$

Величина однієї партії деталей [1]:

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

де $F=257$ днів

$$n = \frac{900 \cdot 5}{257} = 17,5 \text{ шт.}$$

Кількість робочих змін [1]:

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

де

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

$$T_{\text{шкс}} = \frac{12,32 + 7,62 + 6,93 + 5,8 + 18,8}{5} = \frac{51,47}{5} = 10,3 \text{ хв.}$$

$$C = \frac{T_{\text{шкс}} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{10,3 \cdot 18}{476 \cdot 0,8} = 0,5 \text{ зміни.}$$

Приймаємо $C_{\text{пр}} = 1$ зміну.

Величина партії деталей [1]:

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

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 1}{10,3} = 37 \text{ шт.}$$

2.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріал деталі “Маточина” 56.614 ковкий чавун КЧ 37-12Ф має підвищену границю текучості та міцності, стійкість до зношування, добре піддається різанню. Застосування такого матеріалу дозволяє використовувати для виготовлення заготовки різні методи литва, зокрема литва в кокіль, литва в піщані форми із механізованим або ручним методами формування.

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

1) лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими

моделями;

2) лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями.

Для першого способу виготовлення заготовки: 7 клас точності розмірів; 2 ряд припусків. Для другого способу виготовлення заготовки: 10 клас точності розмірів; 3 ряд припусків.

Проектуємо заготовки сформовані двома вказаними методами, визначаємо припуски на механічне оброблення та розміри поверхонь із допусками. Для визначення маси заготовки проводимо розрахунок маси припусків та додаємо до маси готової деталі 3,9 кг.

Результати розрахунку загальних припусків деталі “Маточина” 56.614 представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку загальних припусків деталі “Маточина” 56.614

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1	2	3	4	5
1) лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями				
Торцеві поверхні 102 _{-0,54}	Ra12,5	1,2	1,6 × 2 = 3,2	105,2±0,6
Зовнішня циліндрична поверхня Ø58,2h14 _(-0,74)	Ra25	1,0	1,4 × 2 = 2,8	Ø 61±0,5
Зовнішня циліндрична поверхня Ø80h14 _(-0,74)	Ra25	1,1	1,6 × 2 = 3,2	Ø83,2±0,55
Торцеві поверхні 11±0,55	Rz40	0,7	1,3 × 2 = 2,6	13,6±0,35
Зовнішня циліндрична поверхня Ø160	Rz200	1,2	—	Ø160±0,6
Внутрішня камера Ø62	Rz200	1,0	—	Ø62±0,5
Внутрішня циліндрична поверхня Ø65H8 ^(+0,046)	Ra2,5	1,1	2,4 × 2 = 4,8	Ø60,2±0,55

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 62P7^{(-0,021)}_{(-0,051)}$	Ra1,25	1,0	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 59 \pm 0,5$
Внутрішні торцеві поверхні $47 \pm 0,31$	Ra2,5	1,0	$1,4 \times 2 = 2,8$	$49,8 \pm 0,5$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 55H14^{(+0,74)}$	Ra25	1,0	$1,4 \times 2 = 2,8$	$\varnothing 52,2 \pm 0,5$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 54H8^{(+0,046)}$	Ra2,5	1,0	$2,0 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 50 \pm 0,5$
Внутрішня торцева поверхня $7 \pm 0,2$	Ra2,5	0,64	1,3	$5,7 \pm 0,32$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 52P7^{(-0,021)}_{(-0,051)}$	Ra1,25	1,0	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 49 \pm 0,5$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 45H14^{(+0,62)}$	Ra25	1,0	$1,4 \times 2 = 2,8$	$\varnothing 42,2 \pm 0,5$
2) лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями				
Торцеві поверхні $102_{-0,54}$	Ra12,5	3,2	$4,2 \times 2 = 8,4$	$110,4 \pm 1,6$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 58,2h14_{(-0,74)}$	Ra25	2,4	$3,2 \times 2 = 6,4$	$\varnothing 64,6 \pm 1,2$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 80h14_{(-0,74)}$	Ra25	2,8	$3,6 \times 2 = 7,2$	$\varnothing 87,2 \pm 1,4$
Торцеві поверхні $11 \pm 0,55$	Ra12,5	1,8	$2,8 \times 2 = 5,6$	$16,6 \pm 0,9$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 160$	Rz200	3,2	—	$\varnothing 160 \pm 1,6$
Внутрішня камера $\varnothing 62$	Rz200	2,4	—	$\varnothing 62 \pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 65H8^{(+0,046)}$	Ra2,5	2,8	$3,0 \times 2 = 6,0$	$\varnothing 59 \pm 1,4$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 62P7^{(-0,021)}_{(-0,051)}$	Ra1,25	2,4	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 59 \pm 1,2$
Внутрішні торцеві поверхні $47 \pm 0,31$	Ra2,5	2,4	$3,2 \times 2 = 6,4$	$53,4 \pm 1,2$

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 55H14(^{+0,74})$	Ra25	2,4	$3,2 \times 2 = 6,4$	$\varnothing 48,6 \pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 45H14(^{+0,62})$	Ra25	2,4	$3,2 \times 2 = 6,4$	$\varnothing 38,6 \pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 54H8(^{+0,046})$	Ra2,5	2,4	$2,5 \times 2 = 5,0$	$\varnothing 49 \pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 52P7(^{-0,021}_{-0,051})$	Ra1,25	2,4	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 49 \pm 1,4$

Креслення двох варіантів виготовлення заготовки представлено на рис. 2.1 (лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями) та на рис. 2.2 (лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями).

Для визначення маси заготовки проводимо розрахунок маси припусків та додаємо до маси готової деталі:

$$Q = q + m_{\text{пр}}; \quad (2.9)$$

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho, \quad (2.10)$$

де $\rho = 7,0 \text{ г/см}^3$.

Розраховуємо об'єми припусків:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot (D - d)^2 \cdot H}{4}, \quad (2.11)$$

де D, d, H – геометричні параметри припуску за номінальними розмірами, мм.

Для лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями:

$$\begin{aligned}
 V_1 = & \frac{\pi \cdot (83,2^2 - 80^2) \cdot 71}{4} + \frac{\pi \cdot (83,2^2 - 60,2^2) \cdot 1,6}{4} + \frac{\pi \cdot (65^2 - 60,2^2) \cdot 13,5}{4} + \\
 & + \frac{\pi \cdot (62^2 - 59^2) \cdot 15,6}{4} + \frac{\pi \cdot (45^2 - 42,2^2) \cdot 9,4}{4} + \frac{\pi \cdot (55^2 - 52,2^2) \cdot 9,4}{4} + \\
 & + \frac{\pi \cdot (61^2 - 58,2^2) \cdot 17,3}{4} + \frac{\pi \cdot (160^2 - 61^2) \cdot 1,3}{4} + \frac{\pi \cdot (52^2 - 49^2) \cdot 18,9}{4} + \\
 & + \frac{\pi \cdot (54^2 - 49^2) \cdot 7}{4} + \frac{\pi \cdot (61^2 - 49^2) \cdot 1,6}{4} = 83970,74 \text{ мм}^3 = 84 \text{ см}^3.
 \end{aligned}$$

Для лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями:

$$\begin{aligned}
 V_2 = & \frac{\pi \cdot (87,2^2 - 80^2) \cdot 71}{4} + \frac{\pi \cdot (87,2^2 - 59^2) \cdot 4,2}{4} + \frac{\pi \cdot (65^2 - 59^2) \cdot 13,5}{4} + \\
 & + \frac{\pi \cdot (62^2 - 59^2) \cdot 15,5}{4} + \frac{\pi \cdot (45^2 - 38,6^2) \cdot 11,2}{4} + \frac{\pi \cdot (55^2 - 48,6^2) \cdot 11,2}{4} + \\
 & + \frac{\pi \cdot (64,6^2 - 58,2^2) \cdot 18,4}{4} + \frac{\pi \cdot (160^2 - 64,6^2) \cdot 2,8}{4} + \frac{\pi \cdot (52^2 - 49^2) \cdot 19}{4} + \\
 & + \frac{\pi \cdot (54^2 - 49^2) \cdot 7}{4} + \frac{\pi \cdot (64,6^2 - 49^2) \cdot 4,2}{4} = 175164 \text{ мм}^3 = 175,2 \text{ см}^3.
 \end{aligned}$$

Визначаємо масу припуску:

— для лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями:

$$m_{\text{пр1}} = 84 \cdot 7,0 = 588 \text{ г} = 0,59 \text{ кг.}$$

— для лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями:

$$m_{\text{пр2}} = 175,2 \cdot 7,0 = 1226,4 \text{ г} = 1,23 \text{ кг.}$$

Визначаємо масу заготовок:

— для лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями:

$$Q_1 = 2,9 + 0,59 = 3,49 \text{ кг.}$$

– для лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев’яними моделями:

$$Q_2 = 2,9 + 1,23 = 4,13 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_B = \frac{q}{Q}, \quad (2.12)$$

– для лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями:

$$K_{B.M.1} = \frac{2,9}{3,49} = 0,83;$$

– для лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев’яними моделями:

$$K_{B.M.2} = \frac{2,9}{4,13} = 0,7.$$

Визначаємо собівартість заготовок по приведеним варіантам за формулою [4]:

$$C_{\text{заг}} = \left(\frac{C_6 \cdot Q \cdot K_n}{1000} \right) - (Q - q) \cdot \frac{C_{\text{відх}}}{1000}, \quad (2.13)$$

де $C_6 = 115000$ грн. – базова ціна 1 т. виливок з ковкого чавуну КЧ37-12Ф;

$C_{\text{відх.}}$ – базова ціна 1 т. відходів;

$C_{\text{відх.}} = 5800$ грн;

K_n – коефіцієнт визначення собівартості виливка.

Коефіцієнт визначення собівартості виливка [4]:

$$K_n = K_{T.B.} \cdot K_{C.B.} \cdot K_{M.B.} \cdot K_{П.M.B.} \cdot K_{C.T.}, \quad (2.14)$$

Визначаємо складові формул (2.13), (2.14) собівартості заготовки лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями:

$K_{T.B.} = 1,32$ для 7 класу [4];

$K_{C.B.} = 1,0$ для третьої групи [4];

$K_{м.в.} = 1,16$ для ковкого чавуну [4];

$K_{п.м.в.} = 1,3$ при 9 групі серійності [4];

$K_{с.т.} = 1,0$ при товщині стінок – 8 мм [4];

$$K_{п1} = 1,32 \cdot 1,0 \cdot 1,16 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 1,99.$$

$$Q_1 = 3,49 \text{ кг.}$$

$$C_{заг1} = \left(\frac{115000 \cdot 3,49 \cdot 1,99}{1000} \right) - (3,49 - 2,9) \cdot \frac{5800}{1000} = 795 \text{ грн.}$$

Визначаємо складові формул (2.13), (2.14) собівартості заготовки лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями:

$K_{т.в.} = 1,0$ для 10 класу [4];

$K_{с.в.} = 1,0$ для третьої групи [4];

$K_{м.в.} = 1,16$ для ковкого чавуну [4];

$K_{п.м.в.} = 1,3$ при 9 групі серійності [4];

$K_{с.т.} = 1,0$ при товщині стінок – 8 мм [4];

$$K_{п2} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,16 \cdot 1,3 \cdot 1,0 = 1,51.$$

$$Q_2 = 4,13 \text{ кг.}$$

$$C_{заг2} = \left(\frac{115000 \cdot 4,13 \cdot 1,51}{1000} \right) - (4,13 - 2,9) \cdot \frac{5800}{1000} = 710 \text{ грн.}$$

Отже, вартість заготовки для лиття в піщані форми із машинним формуванням за металевими моделями є вищим ніж для лиття в піщані форми із машинним формуванням за дерев'яними моделями, тому для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі “Маточина” 56.614 вибираємо другий спосіб.

2.3. Вибір технологічних баз

Для механічного оброблення поверхонь деталі “Маточина” 56.614 використовуються чорнові бази на перших операціях та чистові на наступних. Зокрема, для забезпечення точності оброблення двох отворів $\varnothing 62P7$; $\varnothing 52P7$, їх

торцевого биття і відхилення від співвісності в межах допуску на першій операції доцільно проводити оброблення центрального отвору 9 та торцевої поверхні 5, що будуть основними базами на наступних операціях.

На першій операції як базові поверхні використовується зовнішня циліндрична поверхня 22 та торець 23.

На другій операції як базові поверхні використовується оброблена торцева поверхня 5 і внутрішня циліндрична поверхня 9, застосовуючи розтискну цангу.

На третій операції як базові поверхні використовується оброблена торцева поверхня 23 і внутрішня циліндрична поверхня 27.

На четвертій операції як базові поверхні використовується оброблена торцева поверхня 5 і внутрішня циліндрична поверхня 9.

На п'ятій операції як базові поверхні використовується оброблена торцева поверхня 5, внутрішня циліндрична поверхня 7, та паз 30.

На шостій операції як базові поверхні використовується оброблена торцева поверхня 23, внутрішня циліндрична поверхня 29 та паз.

2.4. Проектування технологічного маршруту механічного оброблення деталі

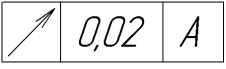
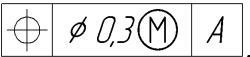
В процесі проектування операційної технології оброблення деталі “Маточина” 56.614 розроблено різні варіанти оброблення поверхонь деталі, на основі яких сформовано остаточний маршрут, що забезпечує формування заданих параметрів поверхонь із мінімальними переходами та використанням токарних та свердлильного верстатів з ЧПК.

Способи оброблення поверхонь деталі “Маточина” 56.614 представлено у таблиці 2.4.

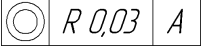
Таблиця 2.4 – Способи оброблення поверхонь деталі “Маточина” 56.614

№ 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	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 160$	10 кл. точності розмірів і мас	Rz200	Не підлягає обробці різанням	—
2, 21	Торцеві поверхні $11 \pm 0,55$	14	Ra12,5	Точіння чорнове при поперечній подачі	—
3	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 80h14_{(-0,74)}$	14	Ra25	Точіння чорнове при поздовжній подачі	—
4	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 76h14_{(-0,74)}$	14	Ra25	Точіння чорнове при поздовжній подачі	—
5, 23	Торцеві поверхні $102_{-0,54}$	13	Ra12,5	Точіння чорнове при поперечній подачі	—
6	Внутрішня фаска $1,6 \times 30^\circ$	14	Ra12,5	Чорнове точіння	—
7	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 65H8^{(+0,046)}$	8	Ra2,5	Розточування чорнове Розточування напівчистове Розточування чистове	—
8	Внутрішня фаска 45°	14	Ra12,5	Чорнове точіння	—

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
9	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 62P7(-0,021_{-0,051})$  , база А – вісь деталі	7	Ra1,25	Розточування чорнове Розточування напівчистове Розточування чистове Розточування тонке	—
10, 28	Внутрішні торцеві поверхні $47\pm 0,31$  , база А – вісь деталі	14	Ra2,5	Точіння чорнове при поперечній подачі Точіння напів- чистове при по- перечній подачі Чистове точіння при поперечній подачі	—
11	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 55H14(+0,74)$	14	Ra25	Розточування чорнове	—
12	Внутрішня камера $\varnothing 62$	10 кл. точності розмірів і мас	Rz200	Не підлягає обробці різанням	—
17... 20	Чотири внутрішні фаски $1,6\times 45^\circ$	14	Ra25	Зенкування	—
22	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 58,2h14(-0,74)$	14	Ra25	Точіння чорнове	—
13... 16	Чотири отвори $\varnothing 14H8(+0,027)$; $\varnothing 98$  , база А – вісь деталі	8	Ra2,5	Центрування Свердління Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове	Свердління по кондуктору Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове
24	Внутрішня фаска $1\times 45^\circ$	14	Ra12,5	Розточування чорнове	—

Закінчення таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
25	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 54H8^{(+0,046)}$	8	Ra2,5	1.Розточування чорнове 2. Розточування напівчистове 3. Розточування чистове	—
26	Внутрішня торцева поверхня $7\pm 0,2$	14	Ra2,5	Точіння чорнове при поперечній подачі	—
27	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 52P7^{(-0,021)}_{(-0,051)}$  , база А – вісь деталі	7	Ra1,25	Розточування чорнове Розточування напівчистове Розточування чистове Розточування тонке	—
29	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 45H14^{(+0,62)}$	14	Ra25	Розточування чорнове	—
30	Шпонковий паз $48,3^{+0,2}$, $12Js9(\pm 0,021)$,	12	Ra6,3	Протягування	Довбання

Із варіантів оброблення поверхонь табл. 2.4 сформовано операційну технологію, що відповідає середньосерійному типу виробництва. Токарне оброблення поверхонь виконується на токарних верстатах з ЧПК замість токарно-гвинторізних верстатів. Оброблення чотирьох отворів виконується на свердлильному верстаті з ЧПК замість координатно-розточного верстата.

005 Токарна з ЧПК.

1. Підрізати остаточно торець 5, витримуючи розмір $106,2_{-0,54}$.
2. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 3 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 2, витримуючи розміри $\varnothing 80_{-0,74}$; $13,8\pm 0,55$ послідовно за програмою.

3. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 4, витримуючи розміри $\varnothing 76_{-0,74}^{+0,74}$; $3 \pm 0,1$.

4. Розточити попередньо внутрішні циліндричні поверхні 7, 9 з попереднім підрізанням торцевої поверхні 10, витримуючи розміри $\varnothing 63_{-0,74}^{+0,74}$; $\varnothing 61_{-0,74}^{+0,74}$; $51,4 \pm 0,5$, розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 11, витримуючи розміри $\varnothing 55_{-0,74}^{+0,74}$ послідовно за програмою.

5. Розточити остаточно внутрішню фаску 6, внутрішню циліндричну поверхню 7, внутрішню фаску 8, внутрішню циліндричну поверхню 9 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 10, витримуючи розміри $1,86 \times 30^\circ$; $\varnothing 64,7_{-0,19}^{+0,19}$; $1,59 \times 45^\circ$; $\varnothing 61,6_{-0,19}^{+0,19}$; $50,6 \pm 0,5$ послідовно за програмою.

010 Токарна з ЧПК

1. Підрізати остаточно торець 23, витримуючи розмір $102_{-0,54}^{+0,54}$.

2. Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 22 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 21, витримуючи розміри $\varnothing 58,2_{-0,74}^{+0,74}$; $11 \pm 0,55$ послідовно за програмою.

3. Розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 25 з попереднім підрізанням торцевої поверхні 26, розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 27 з попереднім підрізанням торцевої поверхні 28, розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 29, витримуючи розміри $\varnothing 52_{-0,74}^{+0,74}$; $5,8 \pm 0,18$; $\varnothing 51_{-0,74}^{+0,74}$; $49,4 \pm 0,5$, $\varnothing 45_{-0,62}^{+0,62}$ послідовно за програмою.

4. Розточити остаточно внутрішню фаску 24, внутрішню циліндричну поверхню 25 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 26, внутрішню циліндричну поверхню 27 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 28, витримуючи розміри $1,15 \times 45^\circ$; $6,6 \pm 0,075$; $\varnothing 53,7_{-0,19}^{+0,19}$; $\varnothing 51,6_{-0,19}^{+0,19}$; $47,8 \pm 0,5$ послідовно за програмою.

015 Алмазно-розточувальна

1. Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 7, витримуючи розміри $\varnothing 65_{-0,046}^{+0,046}$; $12_{-0,27}^{+0,27}$.

2. Розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 9 з остаточним підрізанням торцевої поверхні 10, витримуючи розміри $\varnothing 61,9^{+0,046}$; $47,4 \pm 0,31$.

3. Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 9, витримуючи розмір $\varnothing 62^{-0,021}_{-0,051}$.

020 Алмазно-розточувальна

1. Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 25 з остаточним підрізанням торцевої поверхні 26, витримуючи розміри $\varnothing 54^{+0,046}$; $7 \pm 0,2$.

2. Розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 27 з остаточним підрізанням торцевої поверхні 28, витримуючи розміри $\varnothing 51,9^{+0,046}$; $47 \pm 0,31$.

3. Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 27, витримуючи розміри $\varnothing 52^{-0,021}_{-0,051}$.

025 Свердлильна з ЧПК.

1. Центрувати чотири отвори 13-16, витримуючи розміри $\varnothing 4^{+0,12}$; $8,9^{+0,15}$ послідовно за програмою.

2. Свердлити чотири наскрізних отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 13^{+0,43}$ послідовно за програмою.

3. Зенкувати чотири фаски 17-20, витримуючи розмір $1,6 \times 45^\circ$ послідовно за програмою.

4. Зенкерувати чотири наскрізних отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 13,79^{+0,11}$; послідовно за програмою.

5. Розвертати попередньо чотири отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 13,95^{+0,043}$ послідовно за програмою.

6. Розвертати остаточно чотири отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 14^{+0,027}$ послідовно за програмою.

7. Перевірити розміри: $\varnothing 14^{+0,027}$; $1,6 \times 45^\circ$ $\varnothing 98 \pm 0,15$;

$\oplus$	$\varnothing 0,3$	$\textcircled{M}$	A
----------	-------------------	-------------------	---

.
Контроль 30%.

030 Горизонтально-протяжна

1. Протягнути шпонковий паз 30, витримуючи розміри 12Js9; $48,3^{+0,2}$.

2.5. Визначення припусків на оброблення

Визначення припусків на механічне оброблення деталі “Маточина” 56.614, проміжних розмірів для виконання переходів розробленого технологічного процесу проведено, використовуючи табличний та аналітично-розрахунковий методи із врахуванням необхідних технічних вимог. Результати розрахунків представлено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Припуски оброблення деталі “Маточина” 56.614

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
Торцеві поверхні 102 _{-0,54}					
Точіння чорнове	14	Ra12,5	0,54	$4,2 \times 2 = 8,4$	102 _{-0,54}
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	3,2	—	110,4±1,6
Зовнішня циліндрична поверхня Ø58,2h14 _(-0,74)					
Точіння чорнове поздовжньою подачею	14	Ra 25	0,74	$3,2 \times 2 = 6,4$	Ø58,2 _{-0,74}
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	—	Ø 64,6±1,2
Зовнішня циліндрична поверхня Ø80h14 _(-0,74)					
Точіння чорнове поздовжньою подачею	14	Ra25	0,74	$3,6 \times 2 = 7,2$	Ø80 _{-0,74}
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,8	—	Ø87,2±1,4
Торцеві поверхні 11±0,55					
Точіння чорнове поперечною подачею	14	Ra 25	1,1	$2,8 \times 2 = 5,6$	11±0,55
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	1,8	—	16,6±0,9

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 65H8^{(+0,046)}$					
Розточування чистове	8	Ra 2,5	0,046	$0,15 \times 2 = 0,3$	$\varnothing 65^{+0,046}$
Розточування напівчистове	11	Ra 12,5	0,19	$0,85 \times 2 = 1,7$	$\varnothing 64,7^{+0,19}$
Розточування чорнове	14	Ra 25	0,74	$2,0 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 63^{+0,74}$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,8	$3,0 \times 2 = 6,0$	$\varnothing 59 \pm 1,4$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 54H8^{(+0,046)}$					
Розточування чистове	8	Ra 2,5	0,046	$0,15 \times 2 = 0,3$	$\varnothing 54^{+0,046}$
Розточування напівчистове	11	Ra 12,5	0,19	$0,85 \times 2 = 1,7$	$\varnothing 53,7^{+0,19}$
Розточування чорнове	14	Ra 25	0,74	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 52^{+0,74}$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	$2,5 \times 2 = 5,0$	$\varnothing 49 \pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 62P7^{(-0,021 \atop -0,051)}$					
Розточування тонке	7	Ra 1,25	0,03	$0,05 \times 2 = 0,1$	$\varnothing 62^{(-0,021 \atop -0,051)}$
Розточування чистове	8	Ra 2,5	0,046	$0,15 \times 2 = 0,3$	$\varnothing 61,9^{+0,046}$
Розточування напівчистове	11	Ra 12,5	0,19	$0,3 \times 2 = 0,6$	$\varnothing 61,6^{+0,19}$
Розточування чорнове	14	Ra 25	0,74	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 61^{+0,74}$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 59 \pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 52P7^{(-0,021 \atop -0,051)}$					
Розточування тонке	7	Ra 1,25	0,03	$0,05 \times 2 = 0,1$	$\varnothing 52^{(-0,021 \atop -0,051)}$
Розточування чистове	8	Ra 2,5	0,046	$0,15 \times 2 = 0,3$	$\varnothing 51,9^{+0,046}$
Розточування напівчистове	11	Ra 12,5	0,19	$0,3 \times 2 = 0,6$	$\varnothing 51,6^{+0,19}$
1	2	3	4	5	6
Розточування чорнове	14	Ra 25	0,74	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 51^{+0,74}$
Заготовка	10 кл. точності розмірів і мас	Rz 200	2,4	$1,5 \times 2 = 3,0$	$\varnothing 49 \pm 1,4$

Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
Внутрішня торцева поверхня $7\pm 0,2$					
Розточування чистове	14	Ra2,5	0,4	0,4	$7\pm 0,2$
Розточування напівчистове	12	Ra 12,5	0,15	0,8	$6,6\pm 0,075$
Розточування чорнове	14	Ra 25	0,36	—	$5,8\pm 0,18$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	1,2	суцільний матеріал
Внутрішні торцеві поверхні $47\pm 0,31$					
Розточування чистове	14	Ra2,5	0,62	$0,4 \times 2 = 0,8$	$47\pm 0,31$
Розточування напівчистове	12	Ra 12,5	0,25	$0,8 \times 2 = 1,6$	$47,8\pm 0,5$
Розточування чорнове	14	Ra 25	0,62	$2,0 \times 2 = 4,0$	$49,4\pm 0,5$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	$3,2 \times 2 = 6,4$	$53,4\pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 55H14^{(+0,74)}$					
Чорнове розточування	14	Ra 25	0,74	$3,2 \times 2 = 6,4$	$\varnothing 55^{+0,74}$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	—	$\varnothing 48,6\pm 1,2$
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 45H14^{(+0,62)}$					
Чорнове розточування	14	Ra 25	0,62	$3,2 \times 2 = 6,4$	$\varnothing 45^{+0,62}$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	2,4	—	$\varnothing 38,6\pm 1,2$
Чотири отвори $\varnothing 14H8^{(+0,027)}$					
Розвертання чистове	8	Ra 2,5	0,027	$0,025 \times 2 = 0,05$	$\varnothing 14^{+0,027}$
Розвертання чорнове	9	Ra 6,3	0,043	$0,08 \times 2 = 0,16$	$\varnothing 13,95^{+0,043}$
Зенкерування однократне	11	Ra 12,5	0,11	$0,395 \times 2 = 0,79$	$\varnothing 13,79^{+0,11}$
Свердління	14	Ra 25	0,43	$6,5 \times 2 = 13$	$\varnothing 13^{+0,43}$
Центрування	14	Ra 25	0,12	$2 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 4^{+0,12}$
Заготовка	10 кл. точності	Rz 200	—	$7,0 \times 2 = 14$	Суцільний матеріал

Закінчення таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 76h14_{(-0,74)}$					
Точіння чорнове поздовжньою подачею	14	Ra25	0,74	$2,0 \times 2 = 4,0$	$\varnothing 76_{-0,74}$
Заготовка (попередньо оброблена поверхня)	14	Ra25	0,74	—	$\varnothing 80_{-0,74}$

2.6. Розрахунок і вибір режимів оброблення та технічних норм часу

Розрахунок режимів різання оброблення деталі “Маточина” 56.614 проведено для переходу 025 свердлильної з ЧПК операції.

025 Свердлильна з ЧПК

Перехід 2.

Центрувати чотири отвори 13-16, витримуючи розміри $\varnothing 4^{+0,12}$; $8,9^{+0,15}$ послідовно за програмою.

Інструмент – свердло центровальне $d = 4$; $D = 10$; 60° $l=6,2$; $L=59$.

1. Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot D_i, \quad (2.15)$$

де $D_i = 4$ мм – діаметр свердління;

$$t = 0,5 \cdot 4 = 2,0 \text{ мм.}$$

2. Довжина робочого ходу [14]:

$$L_{p.x.} = l_{piz.} + l_{pidv.} + l_{vpiz.} + l_{per.}, \quad (2.16)$$

$$l_{piz.1} = 8,9 \text{ мм}; l_{vpiz., per.} = 1,7 \text{ мм}. l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.} = 8,9 + 1,7 + 0 = 10,6 \text{ мм.}$$

3. Подача свердла [14]:

$$S = S_{от} \cdot K_{sm}, \quad (2.17)$$

де $S_{от} = 0,13$ мм/об.

K_{SM} – коефіцієнт матеріалу заготовки $K_{SM} = 0,85$ для ковкого чавуну.

$$S = 0,13 \cdot 0,85 = 0,11 \text{ мм/об.}$$

4. Період стійкості інструменту:

$$T_M = 15 \text{ хв.}$$

5. Визначаємо швидкість різання [14]:

$$V = V_T \cdot K_{VM} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{VЗ} \cdot K_{VT} \cdot K_{VН} \cdot K_{VЛ} \cdot K_{VВ} \cdot K_{ВП}, \quad (2.18)$$

де $K_{MV} = 0,85$ для чавуну;

$K_{VЖ} = 1,0$ для чавуну з охолодженням;

$K_{VВ} = 0,85$ для чавунного виливка;

$K_{VН} = 1,0$ для швидкорізальної сталі;

$K_{VЗ} = 1,0$ для свердла;

$K_{VЛ} = 1,0$ для свердла;

$K_{VT} = 1,0$ для відношення фактичної стійкості до нормативної, яке дорівнює 1;

$K_{ВП} = 1,0$ для свердління чавуну без покриття.

$$V_T = 27,5 \text{ м/хв.}$$

Підставляємо дані у формулу (2.18):

$$V = 27,5 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 20 \text{ м/хв.}$$

6. Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (2.19)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 20}{\pi \cdot 4} = 1592,4 \text{ хв}^{-1}.$$

7. Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_d = 1400 \text{ хв}^{-1}.$$

8. Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000}, \quad (2.20)$$

$$V_d = \frac{\pi \cdot 4 \cdot 1400}{1000} = 17,6 \text{ м/хв.}$$

9. Сила різання [14]:

$$P = \frac{P_t}{K_{pm}}, \quad (2.21)$$

де $P_t = 509 \text{ Н}$ [14].

K_{pm} – коефіцієнт матеріалу заготовки, $K_{pm} = 0,85$ для чавуну.

$$P = \frac{509}{0,85} = 599 \text{ Н.}$$

10. Потужність різання [14]:

$$N = \frac{N_t}{K_{Nm}}, \quad (2.22)$$

де $N_t = 0,2 \text{ кВт}$ [14].

K_{Nm} – коефіцієнт матеріалу заготовки, $K_{pm} = 0,85$ для чавуну.

$$N_{риз} = \frac{0,2}{0,85} = 0,24 \text{ кВт.}$$

11. Перевіряємо потужність приводу верстата за умовою:

$$N_{риз} \leq N_{шп}. \quad (2.23)$$

Потужність на шпинделі верстата:

$$N_{шп} = N_d \cdot \eta, \quad (2.24)$$

де N_d – потужність приводу головного руху свердлильного верстата з ЧПК – 7,0 кВт;

η – к.к.д. верстата, $\eta = 0,8$.

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

Перевіряємо у мову (2.23):

$$N_{\text{різ}} = 0,24 \text{ кВт} < N_{\text{шп}} = 5,6 \text{ кВт}.$$

Свердління отворів забезпечується.

12. Основний час свердління:

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_o \cdot n} \cdot i, \quad (2.25)$$

де $i = 4$ – кількість переходів;

$$T_o = \frac{10,6}{0,11 \cdot 1400} \cdot 4 = 0,28 \text{ хв.}$$

Аналогічно проведено розрахунки режимів різання для інших технологічних операцій виготовлення деталі “Маточина” 56.614 і зведено у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання для виконання технологічних операцій виготовлення деталі “Маточина” 56.614

Номер, назва операції, зміст переходу	t, мм	L, мм	i	T _м , хв	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _м , мм/хв	T _о , хв	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005 Токарна з ЧПК										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 5, витримуючи розмір 106,2 _{-0,54}	4,2	23,1	1	60	0,58	355	97,2	205,9	0,11	4,56
Перехід 3 Точити остаточно зов- нішню циліндричну поверхню 3 з остато- чим підрізанням тор- цевої поверхні 2, витримуючи розміри Ø80 _{-0,74} ; 13,8±0,55 послідовно за програмою	3,6	121	1	60	0,58	450	113	261	0,46	4,3

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 4 Точити остаточно зовнішню циліндричну поверхню 4, витримуючи розміри $\varnothing 76_{-0,74}^0$; $3 \pm 0,1$	2,0	78	1	60	0,58	710	170	411,8	0,19	3,8
Перехід 5 Розточити попередньо внутрішні циліндричні поверхні 7, 9 з попереднім підрізанням торцевої поверхні 10, витримуючи розміри $\varnothing 63_{+0,74}^0$; $\varnothing 61_{+0,74}^0$; $51,4 \pm 0,5$ розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 11, витримуючи розміри $\varnothing 55_{+0,74}^0$ послідовно за програмою	2,0 1,0 3,2 2,0	44	1	60	0,54	990	196	534,6	0,08	3,8
Перехід 6 Розточити остаточно внутрішню фаску 6, внутрішню циліндричну поверхню 7, внутрішню фаску 8, внутрішню циліндричну поверхню 9 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 10, витримуючи розміри $1,86 \times 30^\circ$; $\varnothing 64,7_{+0,19}^0$; $1,59 \times 45^\circ$; $\varnothing 61,6_{+0,19}^0$; $50,6 \pm 0,5$ послідовно за програмою	0,8 5 0,3 0,8	37,2	1	60	0,34	990	201,1	336,6	0,11	0,18
010 Токарна з ЧПК										
Перехід 2 Підрізати остаточно торець 23, витримуючи розмір $102_{-0,54}^0$	4,2	14,8	1	60	0,58	355	72	205,9	0,072	4,56

Продовження таблиці 2.8

[illegible]

Продовження таблиці 2.8

[illegible]

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 25 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 26, витримуючи розміри $\varnothing 54^{+0,046}$; $7 \pm 0,2$	0,15	9	1	90	0,1	1200	203	120	0,08	1,1
Перехід 3 Розточити попередньо внутрішню циліндричну поверхню 27 з остаточною підрізанням торцевої поверхні 28, витримуючи розміри $\varnothing 51,9^{+0,046}$; $47 \pm 0,31$	0,15	21	1	90	0,12	1200	196	144	0,16	1,2
Перехід 4 Розточити остаточно внутрішню циліндричну поверхню 27, витримуючи розміри $\varnothing 52^{-0,021}_{-0,051}$	0,05	21	1	90	0,1	1200	196	120	0,18	1,1
025 Вертикально-свердлильна з ЧПК										
Перехід 2 Центрувати чотири отвори 13-16, витримуючи розміри $\varnothing 4^{+0,12}$; $8,9^{+0,15}$ послідовно за програмою	2,0	10,6	4	15	0,11	1400	17,6	154	0,28	1,8
Перехід 3 Свердлити чотири наскрізних отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 13^{+0,43}$ послідовно за програмою	6,5	18	4	30	0,2	1000	20	200	0,31	1,8
Перехід 4 Зенкувати чотири фаски 17-20, витримуючи розмір $1,6 \times 45^\circ$ послідовно за програмою	1,6	5,6	4	30	0,2	355	27,9	71	0,315	1,1

Закінчення таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Перехід 5 Зенкерувати чотири наскрізних отвори 13- 16, витримуючи розмір $\varnothing 13,79^{+0,11}$; послі- довно за програмою	0,395	16	4	35	0,48	710	30,74	340,8	0,18 8	0,55
Перехід 6 Розвернути попередньо чотири отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 13,95^{+0,043}$ послідовно за програмою	0,08	28	4	30	0,95	125	5,5	118,75	0,94	0,52
Перехід 7 Розвернути остаточно чотири отвори 13-16, витримуючи розмір $\varnothing 14^{+0,027}$ послідовно за програмою	0,025	28	4	30	0,6	355	15,6	213	0,53	0,31
030 Горизонтально-протяжна										
Перехід 2 Протягнути шпонковий паз 30, витримуючи розміри 12Js9; 48,3 ^{+0,2}	3,3	1093	1	60	$S_z=0,04$	-	5	-	0,22	0,32

Розрахунок технічних норм часу для 025 свердлильної з ЧПК операції проведено аналітичним методом, а для решти операцій - на основі табличних даних.

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

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ц}} + T_{\text{до}}) \cdot \left(1 + \frac{K}{100}\right), \quad (2.26)$$

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

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}}, \quad (2.27)$$

T_o – основний час роботи свердлильного верстата з ЧПК в автоматичному циклі;

$$T_o = \sum_{i=1}^n \frac{L_i \cdot i}{S_i}, \quad (2.28)$$

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

S_i – подача інструменту, мм/хв;

T_d – час на виконання допоміжних автоматичних дій;

$$T_d = T_{di} + T_{dx}, \quad (2.29)$$

де T_{di} – час зняття та встановлення інструмента в автоматичному циклі;

$$T_{di} = (T_{\pi} + T_{\phi}) \cdot k, \quad (2.30)$$

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

k – кількість інструментів в наладці;

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

T_{dx} – час виконання переміщень без виконання процесу різання;

$$T_{dx} = \sum_{i=1}^n \frac{L_{xi}}{S_{\pi}}, \quad (2.31)$$

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

S_{π} – подача холостого ходу; для свердлильного верстата з ЧПК $S_{\pi} = 4000$ мм/хв.

025 Свердлильна з ЧПК.

Визначаємо основний час роботи свердлильного верстата з ЧПК в автоматичному циклі:

$$T_o = 0,28 + 0,31 + 0,315 + 0,188 + 0,94 + 0,53 = 2,563 \text{ хв.}$$

Визначаємо час виконання переміщень без виконання процесу різання (2.31):

$$T_{\text{дх}} = \frac{2334}{4000} = 0,58 \text{ хв.}$$

Час зняття та встановлення інструмента в автоматичному циклі (2.30):

$$T_{\text{ді}} = (0,016 + 0,016) \cdot 6 = 0,192 \text{ хв.}$$

Час на виконання допоміжних автоматичних дій (2.29):

$$T_{\text{д}} = 0,192 + 0,58 = 0,772 \text{ хв.}$$

Час роботи токарного верстата з ЧПК в автоматичному циклі (2.27):

$$T_{\text{ц}} = 2,563 + 0,772 = 3,335 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час ручної роботи:

$$T_{\text{до}} = T_{\text{доу}} + T_{\text{доп}} + T_{\text{дов}}, \quad (2.32)$$

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 $T_{\text{доу}} = 0,25 \text{ хв. [1]}$.

Час на виконання операції [1].

– встановлення деталі та інструмента по координатах, підналагодження:

$t_1 = 0,6 \text{ хв;}$

– перевірка переміщення інструментів: $t_2 = 0,2 \text{ хв;}$

– встановлення і знімання щитка для захисту від емульсії: $t_3 = 0,04 \text{ хв.}$

$$T_{\text{доп}} = 0,6 + 0,2 + 0,04 = 0,84 \text{ хв.}$$

4.3. Час для контролю розмірів:

– $\varnothing 14^{+0,027}$ — калібр-пробкою двохстороннім двохграничним – $t_{1в} = 0,11 \text{ хв;}$

– $\varnothing 98 \pm 0,15$ – калібром на розміщення спеціальним – $t_{2в} = 0,2 \text{ хв;}$

– $1,6 \times 45^\circ$ – кутоміром універсальним – $t_{3B} = 0,2$ хв.

$$T_{\text{дов}} = \sum t_{\text{ів}} = 0,11 + 0,2 + 0,2 = 0,51 \text{ хв.}$$

При контролі 30%:

$$T_{\text{довд}} = T_{\text{дов}} \cdot 0,3 = 0,51 \cdot 0,3 = 0,153 \text{ хв.}$$

Загальний допоміжний час:

$$T_{\text{до}} = 0,25 + 0,84 + 0,153 = 1,243 \text{ хв.}$$

5. Оперативний час:

$$T_{\text{оп.}} = T_{\text{ц}} + T_{\text{доп}}, \quad (2.33)$$

$$T_{\text{оп.}} = 3,335 + 1,243 = 4,578 \text{ хв.}$$

6. Штучний час (2.23):

$$T_{\text{ш}} = 4,578 \cdot \left(1 + \frac{9}{100}\right) = 4,99 \text{ хв.}$$

7. Штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шк}} = T_{\text{ш}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n}, \quad (2.34)$$

де $n = 37$ шт, $T_{\text{пз}} = 56,8$ хв.

$$T_{\text{шт.к.}} = 4,99 + \frac{56,8}{37} = 6,53 \text{ хв.}$$

005 Токарна з ЧПК

1. Основний час: $T_o = 0,11 + 0,46 + 0,19 + 0,08 + 0,11 = 0,95$ хв.

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к}} = \Psi_{\text{к}} \cdot T_o. \quad (2.35)$$

$$T_{\text{шт.к005}} = 2,14 \cdot 0,95 = 2,03 \text{ хв.}$$

010 Токарна з ЧПК

1. Основний час: $T_o = 0,072 + 0,29 + 0,02 + 0,054 + 0,098 = 0,534$ хв.

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к010}} = 2,14 \cdot 0,534 = 1,14 \text{ хв.}$$

015 Алмазно-розточувальна.

1. Основний час: $T_o = 0,12 + 0,13 + 0,16 = 0,41 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к015}} = 4 \cdot 0,41 = 1,64 \text{ хв.}$$

020 Алмазно-розточувальна.

1. Основний час: $T_o = 0,08 + 0,16 + 0,18 = 0,42 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к020}} = 4 \cdot 0,42 = 1,68 \text{ хв.}$$

030 Горизонтально-протяжна.

1. Основний час: $T_o = 0,22 \text{ хв.}$

2. Штучно-калькуляційний час [1]:

$$T_{\text{шт.к030}} = 4 \cdot 0,22 = 0,88 \text{ хв.}$$

У таблиці 2.7 представлено результати розрахунку норм часу.

Таблиця 2.7 – Технічні норми часу виготовлення деталі “Маточина” 56.614

Номер та назва операції	T _o , 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 Токарна з ЧПК	0,95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	37	2,03
010 Токарна з ЧПК	0,534	—	—	—	—	—	—	—	—	—		1,14
015 Алмазно-розточувальна	0,41	—	—	—	—	—	—	—	—	—		1,64
020 Алмазно-розточувальна	0,42	—	—	—	—	—	—	—	—	—		1,68
025 Свердлильна з ЧПК	2,563	0,25	0,84	0,153	4,578	0,412			4,99	56,8		6,53
030 Горизонтально-протяжна	0,22	-	-	-	-	-			-	-		0,88

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок точності пристосування для механічного оброблення деталі

Для обробки отворів деталі “Маточина” 56.614 на 025 свердлильній з ЧПК операції розроблено спеціальний пристрій для базування та затиску заготовки, що встановлюється столі свердлильного верстата з ЧПК. У пристрої відсутні кондукторні втулки, оскільки місця формування отворів визначається системою позиціювання верстата з ЧПК. Перед переходом свердлінням отворів відбувається їх центрування, що зменшує похибку свердління.

Пристрій призначений оброблення чотирьох отворів 13-16 послідовно за програмою, витримуючи розміри $\varnothing 14^{+0,027}$; $1,6 \times 45^\circ \varnothing 98 \pm 0,15$; $\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \oplus & \varnothing 0,3 & \textcircled{M} & A \\ \hline \end{array}$.

Деталь базують на оправку 5 внутрішньою циліндричною поверхнею $\varnothing 65H8 (+0,046)$ мм та торцевою плоскою поверхнею $102_{-0,54}$. Остання степінь вільності деталі усувається за рахунок базування по внутрішньому пазу шириною 12 мм за допомогою шпонки 6. Затиск заготовки здійснюється передачею зусилля від пневмоциліндра двохсторонньої дії через шток 15 із клином, що є у взаємодії із роликом 16, тяги 18 та 7 швидкозмінною шайбою 8 по зовнішній торцевій поверхні заготовки.

Креслення пристрою представлено у графічній частині.

Похибку встановлення заготовки деталі “Маточина” 56.614 у пристрої знаходимо за формулою [15]:

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

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

$$\Delta \varepsilon_1 \leq \Delta \varepsilon_{1d}. \quad (3.2)$$

Точність взаємного розміщення отворів залежить від точності базування заготовки, точності пристрою і свердлильного верстата з ЧПК а також від величини зміщення свердла. Допуск на взаємне розміщення отворів дорівнює 0,3 мм.

На основі аналізу конструкції пристосування та схеми базування визначено, що похибка базування $\Delta\epsilon_{61}$ дорівнює максимальному зазору між отвором деталі та циліндричною поверхнею оправки. Зовнішній діаметр оправки виготовлено із розміром $\varnothing 65f7(-0,03, -0,06)$, при діаметр отвору деталі, по якому виконується базування дорівнює $\varnothing 65H8(+0,046)$. Визначаємо максимальний зазор між отвором деталі та циліндричною поверхнею оправки

$$\Delta\epsilon_{61}=65,046-64,94=0,106 \text{ мм.}$$

Похибка базування деталі у пристрої у вертикальному напрямку дорівнює допуску на торцеву поверхню $102_{-0,54}$ мм : $\Delta\epsilon_{62}=0,54$ мм, проте вона не впливає на точність розташування отворів.

Похибка закріплення із приводом від пневмоциліндра швидкозмінною шайбою по чисто обробленій поверхні отвору $\Delta_3 = 60$ мкм.

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

Розраховуємо похибку встановлення заготовки деталі “Маточина” 56.614 у пристрої:

$$\Delta\epsilon_1 = \sqrt{0,106^2 + 0,06^2 + 0,02^2} = 0,123 \text{ мм.}$$

Визначаємо допустиму похибку при обробленні отворів в розміри $\varnothing 14^{+0,027}$; $\varnothing 98 \pm 0,15$; $\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \oplus & \varnothing 0,3 & \textcircled{M} & A \\ \hline \end{array}$.:

$$\Delta\epsilon_{10} = \delta_{\min} , \quad (3.3)$$

де $\delta_{\min}$ – мінімальний допуск розмірів, $\delta = 0,3$ мм.

Перевіряємо виконання умови (3.2):

$$0,123 \text{ мм} < 0,3 \text{ мм} .$$

Отже, необхідна точність встановлення заготовки у пристрої буде

забезпечена.

3.2. Розрахунок силових параметрів пристосування для механічного оброблення деталі

Розрахунок силових параметрів під час затиску заготовки деталі “Маточина” 56.614 в процесі проектування пристрою проведено для переходу послідовного свердління чотирьох отворів за програмою, витримуючи розміри $\varnothing 13$; $\varnothing 98 \pm 0,15$; оскільки на цьому переході виникають найбільші значення моментів різання із всіх переходів 025 операції.

На рис. 3.1 представлено схему, що використано для розрахунку силових параметрів під час затиску заготовки деталі.

Для затиску заготовки використовуються швидкозмінна шайба з приводом від пневмоциліндра двохсторонньої дії через клиновий механізм. Між швидкозмінною шайбою та торцевою поверхнею заготовки, а також між плитою пристрою та торцевою поверхнею заготовки виникає сила затиску Q заготовки у місці їх контакту, що визначається як сили тертя між шайбою, плитою та заготовкою із коефіцієнтом тертя $f=0,25$. В процесі свердління отворів виникає момент різання $M_{кр}$, що діє на заготовку.

На основі розрахункової схеми рис. 3.1 запишемо рівняння рівноваги крутних моментів:

$$Qf \left(\frac{(R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{(R_4^3 - R_3^3)}{3(R_4^2 - R_3^2)} \right) = kM_{кр}, \quad (3.4)$$

де $R_2=29$ мм;

$R_1=28$ мм;

$R_4=38$ мм;

$R_1=32,5$ мм;

$k=2,5$ – коефіцієнт запасу.

Із рівняння (3.4) визначаємо силу затиску заготовки:

$$Q = \frac{kM_{кр}}{f \left(\frac{(R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)} + \frac{(R_4^3 - R_3^3)}{3(R_4^2 - R_3^2)} \right)}. \quad (3.5)$$

Момент різання $M_{кр}$, що виникає в процесі свердління отворів визначаємо за формулою [14]:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.6)$$

де $C_M=0,021$, $q=2,0$, $y=0,8$ [14];

S – подача свердла, $S=0,2$ мм/об;

$D=13$ мм – діаметр свердла;

K_p – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки.

$$K_p = \left(\frac{HB}{150} \right)^n = \left(\frac{163}{150} \right)^{0,6} = 1,05.$$

Відповідно, момент різання $M_{кр}$, що виникає в процесі свердління отвору:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,021 \cdot 13^2 \cdot 0,2^{0,8} \cdot 1,05 = 10,28 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Силу затиску заготовки визначаємо за формулою (3.4):

$$Q = \frac{2,5 \cdot 10,28}{0,25 \left(\frac{(0,029^3 - 0,028^3)}{3(0,029^2 - 0,028^2)} + \frac{(0,038^3 - 0,0325^3)}{3(0,038^2 - 0,0325^2)} \right)} = 3295 \text{ Н}.$$

Перевіряємо умову затиску заготовки:

$$Q \leq W, \quad (3.7)$$

де W – сила на штоці пневмоциліндра із змінами клиновим передавально-підсилювальним механізмом.

Із розрахункової схеми рис. 3.1, враховуючи клиновий механізм, отримано формулу:

$$W = \frac{F_1}{\operatorname{tg}(\beta + \varphi)} \cdot \eta, \quad (3.8)$$

де β - кут робочої частини клина, $\beta = 10^\circ$;

φ – кут тертя між клином і поверхнею ковзання, $\varphi = 10^\circ$;

$\eta = 0,9$.

F_1 – сила на штоці пневмоциліндра.

Сила на штоці пневмоциліндра [15]:

$$F_1 = 0,785 \cdot D_1^2 \cdot p \cdot \eta, \quad (3.9)$$

де $D = 85$ мм діаметри циліндра.

Із формули (3.9) отримано:

$$F_1 = 0,785 \cdot 0,085^2 \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2041,8 \text{ Н.}$$

Тоді

$$W = \frac{2041,8}{\operatorname{tg}(10 + 10)} \cdot 0,9 = 5104 \text{ Н.}$$

Перевіряємо виконання умови (3.7): $Q = 3295 \text{ Н} < W = 5104 \text{ Н}$. Оскільки умова (3.7) виконується, відповідно затиск заготовки деталі “Маточина” 56.614 буде забезпечено.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Інженерно-технічний аналіз потенційних виробничих ризиків проєктованого верстата (установки) та комплекс інженерно-організаційних заходів щодо їх мінімізації

В процесі проєктування та подальшої експлуатації технологічного обладнання важливим аспектом забезпечення безпеки є своєчасне виявлення та усунення потенційних небезпек, які можуть виникати внаслідок конструктивних, технологічних або експлуатаційних недоліків. До таких небезпек належать: техногенні аварії, професійні травмування персоналу, деградація робочого середовища тощо.

Життєвий цикл машини (відповідно до стандарту ISO 12100:2010) включає такі етапи:

- дослідження і технічне обґрунтування;
- розробка технічного проєкту;
- інженерно-технологічне опрацювання та підготовка до виробництва;
- виготовлення, контроль якості, випробування;
- транспортування і введення в експлуатацію;
- експлуатація та обслуговування.

На кожному з цих етапів необхідно забезпечувати дотримання принципів "вбудованої безпеки" (design-in safety), передбачених нормами охорони праці, ергономіки та промислової безпеки.

1. Ризики, зумовлені конструкторськими недоліками:

- Невиконання нормативних вимог до безпечної конструкції машин (згідно з ДСТУ EN ISO 13857:2019, ДСТУ EN ISO 14121-1:2008), включаючи відсутність або недостатність інкапсуляції рухомих частин, які створюють ризик контакту;
- Неврахування допустимих граничних значень шуму та вібрацій згідно з ДСН 3.3.6.037-99 (перевищення рівнів віброакустичних впливів у зоні дії

оператора);

- Відсутність інженерних заходів з електробезпеки: захисту від дотику до струмопровідних частин, невиконання вимог щодо заземлення, занулення, використання джерел живлення з напругою безпечного рівня (до 36 В) для ручного електроінструменту;
- Відсутність попереджувальних знаків безпеки та візуальної ідентифікації зон небезпеки, що суперечить вимогам ДСТУ ISO 3864-1:2022;
- Некоректне маркування рухомих та нерухомих частин машини, зокрема недотримання вимог до колірною кодування.

2. Ризики, пов'язані з технологічними недоліками:

- Відсутність технічних рішень щодо захисту гідросистем від проникнення забруднень через відкриті з'єднання трубопроводів;
- Низька якість виконання зварних або болтових з'єднань, що веде до втрати герметичності або міцності конструкції;
- Використання матеріалів із недостатньою зносостійкістю та корозійною стійкістю;
- Відсутність демпфуючих елементів у вузлах з високим динамічним навантаженням.

3. Ризики на етапі логістики та введення в експлуатацію:

- Невірно спроектована або недостатньо міцна транспортна тара/упаковка, що не забезпечує захист вузлів при транспортуванні;
- Пошкодження корпусів приводів, опорних елементів, приводів передач (ланцюгових, ремінних) через відсутність амортизаційних або фіксувальних пристроїв;
- Відсутність герметизації у місцях стикування вузлів та патрубків, що призводить до потрапляння пилу та сторонніх частинок у вузли гідроприводу;
- Недотримання правил складування, що викликає деформації конструкцій, розгерметизацію системи змазування та охолодження, зниження експлуатаційної надійності.

4. Експлуатаційні ризики та чинники професійної небезпеки:

- Прискорене зношування елементів через порушення регламенту технічного обслуговування;
- Самовільне опускання робочих органів навісного обладнання через заклинювання гідроциліндрів;
- Порушення ергономічних принципів організації робочого місця оператора: нераціональне розміщення органів керування, відсутність амортизованого сидіння, відсутність оглядових дзеркал або камер заднього виду;
- Перевищення граничних допустимих рівнів температур, вологи та запиленості у зоні керування технікою.

5. Заходи щодо усунення або мінімізації ідентифікованих небезпек:

- Впровадження принципів «інтегрованої безпеки» при проектуванні — закладення технічних рішень, які виключають або значно знижують ймовірність виникнення аварійної ситуації (fail-safe, redundancy);
- Оснащення машин сучасними системами попереджувальної сигналізації та аварійної зупинки (emergency stop) відповідно до стандартів безпеки керувальних систем (ISO 13850);
- Використання вбудованих сенсорів, що контролюють навантаження, температуру, тиск, що дозволяє проводити діагностику у режимі реального часу;
- Стандартизація технічного обслуговування та інструкцій з експлуатації відповідно до EN 60204-1 (електрообладнання машин);
- Підготовка персоналу відповідно до вимог ISO 45001:2018 з акцентом на ризикоорієнтоване мислення та дотримання інструкцій з охорони праці.

4.2. Аналіз умов праці на робочому місці оператора ЕОМ з урахуванням технічних та санітарно-гігієнічних нормативів

Обслуговування обчислювального центру включає інсталяцію та конфігурацію необхідного програмного забезпечення з подальшою його експлуатацією в інтерактивному (діалоговому) режимі роботи з електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ). У разі потреби оператори також виконують розробку допоміжних програмних модулів для підвищення продуктивності системи та оптимізації витрат ресурсів.

З точки зору організації безпечних та ефективних умов праці, робоче місце оператора повинно відповідати низці технічних і ергономічних вимог. До них належать: забезпечення оптимального рівня освітленості дисплея та навколишнього простору (з урахуванням норм освітленості для зорової роботи високої точності), бездоганна електробезпеність устаткування, відповідність вимогам пожежної безпеки приміщення, підтримка параметрів мікроклімату в межах санітарно-гігієнічних нормативів (температура, вологість, швидкість руху повітря), а також ергономічне пристосування робочого місця.

Основні небезпечні фактори, що можуть негативно впливати на оператора, включають можливість ураження електричним струмом при виході з ладу електрообладнання, порушення заземлення або нехтування правилами техніки безпеки; експлуатацію в мікрокліматичних умовах із параметрами за межами нормативів; недостатню або надмірну освітленість робочої зони, що може викликати зорове перенапруження та зниження продуктивності.

Приміщення обчислювального вузла класифікується як зона з низьким рівнем небезпеки, оскільки воно характеризується низьким пиловим навантаженням, сухим повітрям, стабільною температурою і відсутністю заземлених металоконструкцій, що відповідає вимогам до електробезпеки. Персональні ЕОМ відносяться до першого класу за системою захисту від ураження електричним завдяки ізольованим корпусам з полімера і обов'язковому наявності заземлення із захищеними контактами.

Електроустановки ЕОМ експлуатуються при робочій напрузі до 1000 В, що регламентовано Правилами влаштування електроустановок.

До роботи з даним устаткуванням допускаються особи, які пройшли відповідну технічну підготовку та мають кваліфікаційні групи III–IV з техніки безпеки.

Ключові параметри метеорологічних умов, що впливають на операторів, включають: температуру повітря, відносну вологість, швидкість повітряних потоків та теплове випромінювання, які визначають ефективність теплообміну організму. Конвективний рух повітря у робочій зоні утворюється природним чином з швидкістю 0,01–0,05 м/с. Вентилятор внутрішнього охолодження ЕОМ забезпечує додаткову циркуляцію повітря приблизно 0,09–0,10 м/с поблизу забірної шахти корпусу ($Q=32 \text{ м}^3/\text{год}$), що відповідає оптимальним параметрам мікроклімату.

Вологовиділення у приміщенні забезпечують також оператори, які перебувають у кабінеті, максимальна кількість одночасно присутніх не перевищує чотири особи.

Мінімальна площа на робоче місце в обчислювальних кабінетах становить не менше 3 м², а кратність повітрообміну має складати 30 м³/год на одного працівника, що гарантує підтримання належного рівня вологості та концентрації шкідливих речовин у повітрі.

За класифікацією візуальної роботи діяльність оператора ЕОМ належить до категорії робіт із малою точністю (V розряд), де мінімальний розмір розрізняваного об'єкта становить від 1 до 5 мм, з високою контрастністю символів на дисплеї на темному фоні. Приміщення віднесено до 1 групи за умовами освітлення, які потребують коефіцієнта природної освітленості (КЕО) не менше 0,5% при комбінованому освітленні та рівня штучної освітленості не менше 150 лк. Вимірний рівень освітлення в межах 400–500 лк підтверджує дотримання цих стандартів.

Рівні звукового тиску в робочих приміщеннях регламентовані в октавних смугах частот, де нормативний рівень звуку для операторського робочого місця

не повинен перевищувати 50 дБА. Основними джерелами шуму в кабінеті є електродвигуни внутрішніх вентиляторів, працюючі принтери та дискові накопичувачі. Вентилятори формують постійний шум, інші пристрої — імпульсний шум. Згідно з вимірами відділу охорони праці, сумарний рівень звуку становить 28,3 дБА, що є безпечним і відповідає нормативам.

Ергономічні параметри робочого місця і включають: висоту робочої поверхні (765 мм для операторів ростом 175 см), висоту простору для ніг (655 мм), та висоту сидіння (450 мм), що забезпечує оптимальне положення тіла, знижує втомлюваність та підвищує продуктивність.

Для гарантування електробезпеки необхідно реалізувати такі заходи:

- встановлення розподільчих щитів із розетками, оснащеними заземленими контактами;
- організація і регулярна перевірка системи заземлення для всього електрообладнання;
- проведення щорічного атестаційного тестування з техніки безпеки з оформленням відповідної документації.

Щодо підтримки оптимальних мікрокліматичних умов рекомендується:

- організувати природну вентиляцію за допомогою дефлекторів для забезпечення нормативного повітрообміну;
- впровадити централізовану систему опалення для підтримки комфортної температури взимку;
- забезпечити комбіноване штучне освітлення, що відповідає вимогам зорової роботи.

У сфері пожежної безпеки необхідно розробити та впровадити схему евакуації персоналу з приміщення у разі пожежі.

З метою покращення ергономіки робочого місця рекомендовано замінити нерегульовані сидіння на крісла з регульованими параметрами та адаптувати робочі столи до стандартів для операторів ЕОМ.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра визначено, що деталь “Маточина” 56.614 застосовується як робочий елемент машини для покриття насіння сільськогосподарських культур поживними та захисними елементами. Маточина призначена для передачі обертового руху та крутного моменту між валами робочих елементів машини. Деталь відповідно до креслення виготовляється із ковкого чавуну КЧ 37-12Ф.

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 використовується відносно меншої вартості метод литва в піщані форми з формуванням за дерев’яними моделями; токарна обробка поверхонь виконується на токарних верстатах з ЧПК замість звичайних токарно-гвинторізних верстатів; оброблення чотирьох отворів виконується на свердлильному верстаті з ЧПК замість координатно-розточного верстата; фінішне оброблення центральних отворів, що передбачають допуск на торцеве биття та співвісність виконується відносно бази А, застосовуючи розтискні цанги із базуванням по центральному отвору; застосовуються інструменти та технологічне оснащення для верстатів з ЧПК, а також із механізованим приводом затиску.

Вдосконалення технологічного процесу дозволяють підвищити продуктивність та точність виготовлення деталі “Маточина” 56.614.

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.