

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу механічного оброблення
корпуса 954.147.055 промислового світильника

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

(шифр і назва спеціальності)

Махнач О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Окіпний І.Б.
(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 корпусу 954.147.055 промислового світильника ” студента групи МП-41 Махнача О.В.
Керівник роботи - кандидат техн. наук, доцент Окіпний І.Б.

Мета роботи - вдосконалення базового технологічного процесу механічного оброблення корпусу 954.147.055 для великосерійного типу виробництва.

У першій частині на основі базових якісних та кількісних показників проведено аналіз технологічності конструкції корпусу і встановлено, що деталь «Корпус» 954.147.055 є технологічною. Розглянуто креслення і технічні вимоги до деталі. Проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення фланця корпусу 954.147.055, що відповідає дрібносерійному типу виробництва. Зокрема, технологічний процес передбачає використання переважно універсального металорізального обладнання без впровадження засобів автоматизації виробничих операцій. Для забезпечення базування та затиску заготовок у робочій зоні верстатів застосовуються універсальні та спеціалізовані пристрої, оснащені ручним приводом затискних елементів, що зумовлює збільшення частки допоміжного часу в структурі операційного циклу.

Враховуючи річну програму випуску 144000 шт., що відповідає великосерійному типу виробництва, у проєктному варіанті технологічного процесу передбачено зміни, що сприяють підвищенню продуктивності праці та автоматизації виробничих процесів.

У другій частині проведено порівняння способів виготовлення заготовок корпусу. Застосування способу формування заготовки деталі “Корпус” 954.147.055 литтям під тиском у металеві форми забезпечує вищий коефіцієнт використання матеріалу ніж литтям у піщані форми із машинним формуванням, тому для технологічного проектування процесу виготовлення корпусу вибрано лиття під тиском у металеві форми.

У процесі розроблення технологічного маршруту виконано вибір металорізального обладнання, різальних та вимірювальних інструментів, визначено величини припусків на обробку, розраховано режими різання та встановлено технічно обґрунтовані норми часу. Проведено проектування технологічного процесу механічної обробки деталі, що забезпечує досягнення заданих показників якості поверхонь.

У третій частині для забезпечення одночасного оброблення отворів деталі «Корпус» 954.147.055 на агрегатній операції 015 спроектовано спеціальне оснащення.

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. Вибір способу одержання заготовки.....	
2.2. Вибір технологічних баз.....	
2.3. Проектування технологічного маршруту механічного оброблення деталі.....	
2.4. Визначення припусків на оброблення.....	
2.5. 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. Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом на ділянці виготовлення деталі.....	
4.2. Засоби інформативної сигналізації на виробництві.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

У кваліфікаційній роботі внесено зміни у базовий технологічний процес механічного оброблення корпусу 954.147.055 для великосерійного типу виробництва. Деталь «Корпус» 954.147.055 є складовим конструктивним елементом декількох конструкцій вибухозахищених світлодіодних промислових світильників, що використовуються для забезпечення загального освітлення у вибухонебезпечних зонах. Функціональне призначення деталі «Корпус» 954.147.055 полягає у забезпеченні точного взаємного розташування, фіксації та монтажної сумісності складових елементів світильника. Деталь виготовляється із сплаву АК12. Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055 відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Річна програма випуску деталей відповідає вееликосерійному типу виробництва. Тому у проєктному варіанті технологічного процесу передбачено зміни, спрямовані на підвищення продуктивності праці: для отримання заготовки доцільно застосувати способи лиття підвищеної точності, зокрема лиття під тиском, що забезпечить формування тонкостінних елементів та скорочення припусків механічного оброблення; операцію проточування зовнішнього діаметра, розточування отвору та підрізання торця виконувати на токарному багатошпиндельному горизонтальному напівавтоматі із багатоінструментальним налагодженням; свердління отворів і нарізання в них різьби здійснювати на агрегатних верстатах, оснащених багатоінструментальними налагодженнями та багатошпиндельними головками; для свердління малих отворів із одночасним утворенням фасок використовувати комбіновані свердла зі швидкорізальної сталі; для формування різьби M100×2-7H в у мовах великосерійного типу виробництва доцільно використовувати фрезерування гребінчастою фрезою.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення деталі

Деталь «Корпус» 954.147.055 є складовим конструктивним елементом декількох конструкцій вибухозахищених світлодіодних промислових світильників, що використовуються для забезпечення загального освітлення у вибухонебезпечних зонах класів 1 і 2, а також у пожежонебезпечних зонах класів П-I та П-II. Експлуатація зазначених освітлювальних пристроїв передбачена як у виробничих приміщеннях, так і на відкритих промислових майданчиках підприємств нафтопереробної, газовидобувної, хімічної та інших галузей промисловості, де до обладнання висуваються підвищені вимоги щодо вибухо- та пожежобезпеки.

Функціональне призначення деталі «Корпус» 954.147.055 полягає у забезпеченні точного взаємного розташування, фіксації та монтажної сумісності складових елементів світильника в межах єдиної конструктивної системи. Геометричні параметри та точність виготовлення корпусу впливають на забезпечення герметичності, механічної міцності та відповідності промислового світильника технічним вимогам.

До основних поверхонь корпусу, що підлягають механічному обробленню і забезпечують з'єднання елементів промислового світильника належать: центральний отвір з різьбою M100×2-7H; Ra6,3 – призначений для герметичного приєднання кришки; торець 62h14_(-0,74); Ra12,5 призначений для встановлення ущільнювального елемента та забезпечення необхідної точності встановлення кришки; два зовнішні отвори з різьбою M6-7H; 88±0,2; Ra6,3 – для кріплення кронштейна світильника, за допомогою якого світильник закріплюють на елементах будівельної конструкції; внутрішній отвір з різьбою M6-7H; Ra6,3 – для надійного приєднання гвинта заземлення із струмопровідними частинами; два внутрішні отвори з різьбою M4-7H; Ra6,3 – для встановлення елементів керування світлодіодами світильника; отвір

$\varnothing 14H7(^{+0,018})$; Ra2,5 – для запресовування втулки підведення проводів керування; чотири отвори з різьбою M22×1,5-7H; Ra6,3, та чотири зовнішні торці 118h14($_{-0,87}$); Ra12,5 – для встановлення фланцевих вузлів, які забезпечують герметичне підведення кабелів та їх фіксацію за допомогою сальникових ущільнень, в тому числі для забезпечення транзитного з'єднання світильників. Канавка внутрішня $\varnothing 103H14(^{+0,87})$; 12H14($^{+0,36}$); 45° – технологічний елемент для виходу інструменту при нарізанні різьби M100×2-7H.

Інші поверхні, зокрема бобишки, зовнішня циліндрична не підлягають механічному обробленню, визначають конфігурацію корпусу.

Деталь «Корпус» 954.147.055 відповідно до вимог робочого креслення та технічної документації передбачено виготовляти із ливарного алюмінієвого сплаву АК12 системи Al–Si (алюміній–кремній), який належить до групи силумінів. Міжнародними аналогами зазначеного матеріалу є сплави EN AC-44200/AlSi12(a) (Європейський Союз) та A14130 (США), що широко застосовуються для виготовлення корпусних деталей складної конфігурації методом лиття.

Вміст кремнію у сплаві АК12 забезпечує йому хороші ливарні властивості, зокрема достатню рідкотекучість, що дозволяє формувати тонкостінні елементи корпусу та його складну просторову конфігурацію. Сплав АК12 характеризується низькою схильністю до утворення дефектів, що підвищує якість заготовки та знижує обсяги подальшої механічної обробки.

Корозійна стійкість сплаву АК12 досягається формуванням на його поверхні окисної плівки, яка запобігає його руйнуванню під впливом атмосферних факторів і промислових середовищ. Низька густина алюмінієвого сплаву порівняно зі сталлю забезпечує суттєве зниження маси світильника, що сприяє полегшенню монтажу, транспортування та зменшенню навантаження на елементи кріплення світильника.

Сплав АК12 також має достатньо високу теплопровідність. Це забезпечує ефективне відведення тепла від світлодіодних модулів та електронних компонентів, сприяючи стабілізації температурного режиму роботи виробу,

зменшенню ризику перегріву та підвищенню ресурсу експлуатації світильника.

У таблицях 1.1 та 1.2 наведено детальні відомості щодо хімічного складу сплаву АК12, а також результати механічних випробувань, які характеризують його міцність, твердість, пластичність та інші фізико-механічні показники.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву АК12 ДСТУ 2839-94, %

Алюміній	Кремній	Кальцій	Титан	Мідь	Цинк	Магній	Цирконій
		не більше					
основа	10-13	0,08	0,1	0,6	0,3	0,1	0,1

Таблиця 1.2 – Результати механічних випробувань сплаву АК12 ДСТУ 2839-94

Спосіб лиття	Вид термообробки	Густина, ρ , г/см ³	σ_r , МПа	Відносне видовження, %	Твердість, НВ
в кокіль	—	2,55-2,6	157	2,0	50
під тиском	—		157	1,0	50
в кокіль	відпал		147	3,0	50
під тиском	відпал		147	2,0	50

1.2. Аналіз технічних вимог деталі

Для розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055 на початковому етапі здійснено детальний аналіз технічних вимог, наведених у конструкторській документації, а також оцінювання показників якості оброблюваних поверхонь. Такий аналіз є необхідним для обґрунтованого вибору методів механічного оброблення, визначення послідовності технологічних операцій, призначення технологічних баз та забезпечення заданої точності виготовлення. За результатами проведеного аналізу всі функціональні поверхні корпусу пронумеровано для подальшого формування маршруту обробки та наведено у таблиці 1.3.

З метою проєктування ефективного та технологічно обґрунтованого процесу виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055 на початковому етапі виконано комплексний аналіз вимог робочого креслення, технічних умов та параметрів якості поверхонь, що підлягають механічному обробленню.

Проведення такого аналізу є необхідною передумовою для раціонального вибору способів формоутворення поверхонь, визначення структури та послідовності технологічного маршруту, обґрунтування вибору технологічних баз, а також забезпечення регламентованих показників точності, шорсткості та взаємного розташування поверхонь. На підставі отриманих результатів поверхні корпусу, що піддаються механічному обробленню пронумеровано та наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні вимоги до поверхонь деталі “Корпус” 954.147.055

Номер поверхні	Назва поверхні	Квалітет	Шорсткість
1	2	3	4
1, 2	Два отвори з різьбою М4-7Н; l=10	12	Ra6,3
3	Отвір $\varnothing 14H7^{(+0,018)}$; l=5	7	Ra2,5
4	Фаска 3×45°	14	Ra12,5
5, 6	Два отвори $\varnothing 3,3^{+0,14}$; 82±0,2; l=14 під різьбу М4-7Н	12	Ra6,3
7	Отвір з різьбою М6-7Н; l=10	12	Ra6,3
8	Отвір $\varnothing 4,95^{+0,26}$; l=14 під різьбу М6-7Н	12	Ra6,3
9	Канавка внутрішня $\varnothing 103H14^{(+0,87)}$; 12Н14 $^{(+0,36)}$; 45°	14	Ra12,5
10, 11, 12, 14	Чотири отвори рівномірно розміщені на циліндричній поверхні $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різьбу М22×1,5-7Н	12	Ra6,3
15	Центральний отвір з різьбою М100×2-7Н	11	Ra6,3
16, 17, 18, 19	Чотири фаски 1,5×45°	14	Ra12,5
20, 21	Дві фаски 1×45°	14	Ra12,5
22	Торець 62h14 $_{(-0,74)}$	14	Ra12,5
23, 24, 25, 26	Чотири отвори з різьбою М22×1,5-7Н; l=18 рівномірно розміщені на циліндричній поверхні	12	Ra6,3
27	Центральний отвір $\varnothing 97,9^{+0,4}$ під різьбу М100×2-7Н	12	Ra6,3
28	Фаска 1×45°	14	Ra12,5
29	Отвір з різьбою М6-7Н; l=10	12	Ra6,3
30, 31	Дві фаски 1×45°	14	Ra12,5
32	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 124h14_{(-1,0)}$	14	Ra12,5
33, 34	Два отвори з різьбою М6-7Н; l=10	12	Ra6,3
35	Отвір $\varnothing 4,95^{+0,26}$; l=14 під різьбу М6-7Н	12	Ra6,3

Закінчення таблиці 1.3

1	2	3	4
36, 37, 38, 39	Чотири торці рівномірно розміщені на циліндричній поверхні 118h14 _(-0,87)	14	Ra12,5
40, 41	Два отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}_0$; l=14 під різьбу М6-7Н	12	Ra6,3
42	Фаска 1×45°	14	Ra12,5

1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

Під час аналізу технологічності деталі «Корпус» 954.147.055 враховано річний обсяг виготовлення, що становить 144000 одиниць, який відповідно до прийнятої виробничої класифікації належить до великосерійного типу виробництва. Для зазначених умов доцільним є використання високопродуктивних методів отримання заготовок корпусних деталей, а також застосування спеціалізованого технологічного оснащення з механізованими системами затиску, що забезпечують стабільність положення заготовки та скорочення допоміжного часу.

У процесі технологічного опрацювання виконано детальний аналіз вимог конструкторської документації щодо забезпечення характеристик точності, геометричних параметрів і показників якості поверхонь деталі. Оцінювання параметрів точності та експлуатаційних вимог дозволило визначити доцільні методи механічного оброблення та засоби технологічного забезпечення.

Матеріалом деталі є ливарний алюмінієвий сплав АК12 згідно з ДСТУ 2839-94, який характеризується підвищеною корозійною стійкістю, достатніми механічними властивостями та малою питомою масою порівняно зі сталями. Використання зазначеного сплаву сприяє зниженню маси корпусу, забезпечує можливість формування тонкостінних конструктивних елементів та підвищує ефективність тепловідведення від електротехнічних компонентів виробу. За дотримання встановлених режимів і технологічних параметрів ливарного процесу досягається необхідний рівень герметичності корпусу, що є важливим експлуатаційним показником.

З позиції технологічного забезпечення механічної обробки конструкція корпусу є технологічною, оскільки забезпечує доступність до оброблюваних поверхонь, можливість базування та закріплення заготовки в пристосуваннях під час виконання операцій чорнового і чистового оброблення в межах розробленого технологічного процесу.

Для забезпечення принципу суміщення баз та необхідної точності оброблення поверхонь корпусу на першій операції доцільно провести підрізання торцевої поверхні 22 та розточування внутрішньої циліндричної поверхні 27, що будуть серед основних технологічних баз на наступних операціях. Тому на першій операції необхідно виконати підрізання торця 22 у розмір $62h14_{(-0,74)}$ мм та розточування отвору 27 у розмірі $\varnothing 97,9^{+0,4}$; $24 \pm 0,1$.

З метою забезпечення точності торців, отворів, різьбових поверхонь доцільно застосовувати стандартні різальні інструменти: різці, фрези, свердла, зенкери, розвертки, мітчики тощо. Для оброблення кільцевої канавки необхідне застосування спеціального канавочного різця. Для формування різьби М100×2-7Н в умовах великосерійного типу виробництва доцільно використовувати фрезерування гребінчастою фрезою. Як основне технологічне обладнання можливе використання токарного напівавтомата, свердлильних, фрезерних, агрегатних, різьфрезерних верстатів, використовуючи принцип концентрації операцій.

Отже, за сукупністю якісних характеристик деталей «Корпус» 954.147.055 є технологічно в умовах великосерійного типу виробництва.

Також проведено кількісну оцінку технологічності конструкції деталі на основі таких показників: коефіцієнта точності, коефіцієнта шорсткості та коефіцієнта уніфікації. Розрахунки виконано із використанням даних табл. 1.3.

Коефіцієнт точності обробки:

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

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{7 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 14 \cdot 17 + 12 \cdot 22}{41} = 12,68;$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{12,68} = 0,92.$$

При $K_{\text{т.ч.}} = 0,92 > 0,8$ деталь “Корпус” 954.147.055 є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості:

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

$$B_{\text{ср}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{3 \cdot 17 + 4 \cdot 23 + 5 \cdot 1}{41} = 3,61,$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3,61} = 0,28.$$

При $K_{\text{ш}} = 0,28 > 0,16$ деталь “Корпус” 954.147.055 є технологічною.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{\text{у.е.}} = \frac{N_{\text{у.е.}}}{N_{\text{е}}} = \frac{37}{41} = 0,9.$$

При $K_{\text{у.е.}} = 0,9 > 0,6$ деталь “Корпус” 954.147.055 є технологічною.

Таким чином, за кількісними показниками деталь “Корпус” 954.147.055 є технологічною.

1.4. Аналіз базового технологічного процесу

У таблиці 1.4 наведено номенклатуру основного технологічного обладнання, що використовується для виконання операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055.

У результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055, що реалізується на підприємстві, виявлено характерні ознаки, притаманні дрібносерійному типу виробництва. Зокрема, технологічний процес передбачає використання переважно універсального металорізального обладнання без впровадження засобів автоматизації виробничих операцій.

Таблиця 1.4 – Технологічне обладнання операцій базового технологічного процесу виготовлення корпусу 954.147.055

Операція	Технологічне обладнання	Технологічне оснащення
005 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон чотирьохкулачковий
010 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон чотирьохкулачковий
015 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16K20	Патрон чотирьохкулачковий спірально-рейковий
020 Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6P12	Пристрій спеціальний поворотний із ручним приводом затиску
025-055 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2H125	Кондуктори спеціальні із ручним приводом затиску
060-075 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2H125	Підставки спеціальні із ручним приводом затиску
080-085 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2H125	Підставки спеціальні із ручним приводом затиску
090-115 Різенарізна	Різенарізний верстат 2056	Підставки спеціальні із ручним приводом затиску

Для забезпечення базування та затиску заготовок у робочій зоні верстатів застосовуються універсальні та спеціалізовані пристрої, оснащені ручним приводом затискних елементів, що зумовлює збільшення частки допоміжного часу в структурі операційного циклу. Виконання операцій свердління, утворення фасок і нарізання різьб у отворах реалізується із застосуванням спеціальних пересувних, поворотних кондукторів та допоміжних установчих підставок.

Механічне оброблення поверхонь корпусної деталі здійснюється із використанням стандартних універсальних різальних інструментів, зокрема токарних різців, свердел, зенкерів, мітчиків, фрез та інших типових інструментальних засобів.

1.5. Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу

У першій частині здійснено аналіз технічних вимог та показників якості оброблюваних поверхонь деталі «Корпус» 954.147.055 як складового конструктивного елемента декількох конструкцій вибухозахищених світлодіодних промислових світильників, що використовуються для забезпечення загального освітлення у вибухонебезпечних зонах. За сукупністю якісних характеристик деталей «Корпус» 954.147.055 є технологічно в умовах великосерійного типу виробництва.

Матеріалом деталі є ливарний алюмінієвий сплав АК12 згідно з ДСТУ 2839-94, який характеризується підвищеною корозійною стійкістю, достатніми механічними властивостями та малою питомою масою порівняно зі сталями. Використання зазначеного сплаву сприяє зниженню маси корпусу, забезпечує можливість формування тонкостінних конструктивних елементів та підвищує ефективність тепловідведення від електротехнічних компонентів виробу.

Для забезпечення принципу суміщення баз та необхідної точності оброблення поверхонь корпусу на першій операції доцільно провести підрізання торцевої поверхні та розточування внутрішньої циліндричної поверхні, що будуть серед основних технологічних баз на наступних операціях. Тому на першій операції необхідно виконати підрізання торця 22 у розмір $62h14_{(-0,74)}$ мм та розточування отвору 27 у розміри $\varnothing 97,9^{+0,4}$; $24 \pm 0,1$.

З метою забезпечення точності торців, отворів, різьбових поверхонь доцільно застосовувати стандартні різальні інструменти: різці, фрези, свердла, зенкери, розвертки, мітчики тощо. Для оброблення кільцевої канавки необхідне застосування спеціального канавочного різця.

У результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055, що реалізується на підприємстві, виявлено характерні ознаки, притаманні дрібносерійному типу виробництва. Зокрема, технологічний процес передбачає використання переважно універсального металорізального обладнання без впровадження засобів автоматизації виробничих операцій.

Річна програма випуску, що становить 144 000 шт. відповідно до завдання, характеризує великосерійний тип виробництва. У зв'язку з цим під час розроблення проектного технологічного процесу доцільно передбачити такі удосконалення:

- для отримання заготовки доцільно застосувати способи лиття підвищеної точності, зокрема лиття під тиском, що забезпечить формування тонкостінних елементів та скорочення припусків механічного оброблення;

- операцію проточування зовнішнього діаметра, розточування отвору та підрізання торця виконувати на токарному багатошпиндельному горизонтальному напівавтоматі із багатоінструментальним налагодженням;

- свердління отворів і нарізання в них різьби здійснювати на агрегатних верстатах, оснащених багатоінструментальними налагодженнями та багатошпиндельними головками;

- для свердління малих отворів із одночасним утворенням фасок використовувати комбіновані свердла зі швидкорізальної сталі.

- для формування різьби M100×2-7H в у мовах великосерійного типу виробництва доцільно використовувати фрезерування гребінчастою фрезою.

Запропоновані зміни базового технологічного процесу сприятимуть підвищенню продуктивності та рівня автоматизації виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055 в умовах великосерійного виробництва.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Вибір способу одержання заготовки

Матеріал деталі “Корпус” 954.147.055 сплав АК 12. Вміст кремнію у цьому сплаві забезпечує йому хороші ливарні властивості, зокрема достатню рідкотекучість, що дозволяє формувати тонкостінні елементи корпусу та його складну просторову конфігурацію. Також цей сплав характеризується низькою схильністю до утворення дефектів, що підвищує якість заготовки та знижує обсяги подальшої механічної обробки, тому для виготовлення заготовки корпусу доцільно використовувати різні методи литва.

В межах кваліфікаційної роботи вибрано раціональний спосіб виготовлення заготовки методом порівняння з двох альтернативних варіантів за показником коефіцієнта використання матеріалу. До цих варіантів віднесено такі методи одержання заготовки:

1. Лиття у піщані форми із машинним формуванням;
2. Лиття під тиском у металеві форми.

Для першого варіанту забезпечується 11-й клас точності розмірів і 3-й ряд припусків. Для другого варіанту забезпечується 7-й клас точності розмірів та 1-й ряд припусків.

Після цього виконано проектування заготовок для двох вказаних варіантів із вибором припусків для поверхонь, що піддаються механічному обробленню. Масу заготовки визначено додаванням маси припусків до маси готової деталі, що становить 0,52 кг, оскільки заготовка має складну просторову конструкцію.

Вибрані величини припусків для деталі «Корпус» 954.147.055 представлено у табл. 2.1.

Ескізи запропонованих варіантів заготовок зображено на рис. 2.1 (лиття у піщані форми із машинним формуванням) та на рис. 2.2 (лиття під тиском у металеві форми).

Таблиця 2.1 – Припуски механічного оброблення деталі «Корпус»
954.147.055

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 у піщані форми із машинним формуванням				
Центральний отвір $\varnothing 97,9^{+0,4}$ під різьбу М100×2-7Н	Ra6,3	4,2	$5,0 \times 2 = 10,0$	$\varnothing 87,9 \pm 2,1$
Торець 62h14 _(-0,74)	Ra12,5	3,8	4,5	$66,5 \pm 1,9$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 124h14_{(-1,0)}$	Ra12,5	4,8	$5,2 \times 2 = 10,4$	$\varnothing 134,4 \pm 2,4$
Отвір $\varnothing 14H7^{(+0,018)}$	Ra2,5	2,4	$3,8 \times 2 = 7,6$	$\varnothing 6,4 \pm 1,2$
Отвір $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різьбу М22×1,5-7Н	Ra6,3	3,0	$4,0 \times 2 = 8,0$	$\varnothing 12,5 \pm 1,5$
Чотири торці рівномірно розміщені на циліндричній поверхні 118h14 _(-0,87)	Ra12,5	4,8	$5,2 \times 2 = 10,4$	$128,4 \pm 2,4$
2) лиття під тиском у металеві форми				
Центральний отвір $\varnothing 97,9^{+0,4}$ під різьбу М100×2-7Н	Ra6,3	1,0	$1,2 \times 2 = 2,4$	$\varnothing 95,5 \pm 0,5$
Торець 62h14 _(-0,74)	Ra12,5	0,8	1,2	$63,2 \pm 0,4$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 124h14_{(-1,0)}$	Ra12,5	1,0	$1,4 \times 2 = 2,8$	$\varnothing 126,8 \pm 0,5$
Отвір $\varnothing 14H7^{(+0,018)}$	Ra2,5	0,6	$1,1 \times 2 = 2,2$	$\varnothing 11,8 \pm 0,3$
Отвір $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різьбу М22×1,5-7Н	Ra6,3	0,7	$1,0 \times 2 = 2,0$	$\varnothing 18,5 \pm 0,35$
Чотири торці рівномірно розміщені на циліндричній поверхні 118h14 _(-0,87)	Ra12,5	1,0	$1,4 \times 2 = 2,8$	$120,8 \pm 0,5$

Масу заготовки визначаємо як суму маси припусків та маси готової деталі:

$$Q = q + m_{\text{пр}}; \quad (2.1)$$

$$m_{\text{пр}} = V_{\text{пр}} \cdot \rho, \quad (2.2)$$

де $\rho = 2,6 \text{ г/см}^3$.

Об'єми припусків окремих елементів заготовки:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot (D - d)^2 \cdot H}{4}, \quad (2.3)$$

де D, d, H– номінальні розміри припусків, мм.

Отже, об'єми припусків окремих елементів заготовки, одержаної лиття у піщані форми із машинним формуванням:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (134,4^2 - 124^2) \cdot 9}{4} = 18996 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (97,9^2 - 87,9^2) \cdot 24}{4} = 35022 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (112^2 - 87,9^2) \cdot 4,5}{4} = 17027 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (14^2 - 6,4^2) \cdot 5}{4} = 609 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot (38^2 - 12,5^2) \cdot 5,2}{4} = 21037 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot (20,5^2 - 12,5^2) \cdot 18}{4} = 14929 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 14}{4} \cdot 4 = 1583 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 14}{4} \cdot 2 = 352 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{прі}};$$

$$V_{\text{пр}} = 109\,555 \text{ мм}^3 = 109,56 \text{ см}^3.$$

Для заготовки одержаної литтям під тиском у металеві форми:

$$V_{\text{пр1}} = \frac{\pi \cdot (126,8^2 - 124^2) \cdot 9}{4} = 4964 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр2}} = \frac{\pi \cdot (97,9^2 - 95,5^2) \cdot 24}{4} = 8749 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр3}} = \frac{\pi \cdot (112^2 - 95,5^2) \cdot 1,2}{4} = 3227 \text{ мм}^3$$

$$V_{\text{пр4}} = \frac{\pi \cdot (14^2 - 11,8^2) \cdot 5}{4} = 223 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр5}} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot (38^2 - 18,5^2) \cdot 1,4}{4} = 1542 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр6}} = \frac{4 \cdot \pi \cdot (20,5^2 - 18,5^2) \cdot 18}{4} = 4411 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр7}} = \frac{\pi \cdot 6^2 \cdot 14}{4} \cdot 4 = 1583 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр8}} = \frac{\pi \cdot 4^2 \cdot 14}{4} \cdot 2 = 352 \text{ мм}^3;$$

$$V_{\text{пр}} = \sum V_{\text{прi}} ;$$

$$V_{\text{пр}} = 25\,051 \text{ мм}^3 = 25,051 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу припусків:

– лиття у піщані форми із машинним формуванням:

$$m_{\text{пр1}} = 109,56 \cdot 2,6 = 284,9 \text{ г} = 0,285 \text{ кг}.$$

– для лиття під тиском у прес-форму:

$$m_{\text{пр2}} = 25,051 \cdot 2,6 = 65,13 \text{ г} \approx 0,065 \text{ кг}.$$

Визначаємо масу заготовок:

– лиття у піщані форми із машинним формуванням:

$$Q_1 = 0,52 + 0,285 = 0,805 \text{ кг}.$$

– лиття під тиском у металеві форми:

$$Q_2 = 0,52 + 0,065 = 0,585 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в}} = \frac{q}{Q}, \quad (2.4)$$

– лиття у піщані форми із машинним формуванням:

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{0,52}{0,805} = 0,65;$$

– лиття під тиском у металеві форми:

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{0,52}{0,585} = 0,89.$$

Отже, застосування способу формування заготовки деталі “Корпус” 954.147.055 литтям під тиском у металеві форми забезпечує вищий коефіцієнт використання матеріалу ніж литтям у піщані форми із машинним формуванням, тому для технологічного проектування процесу виготовлення корпусу вибрано лиття під тиском у металеві форми.

2.2. Вибір технологічних баз

Для забезпечення точності технологічного процесу механічного оброблення деталі “Корпус” 954.147.055 використано чорнові та чистові базові поверхні. Для забезпечення принципу суміщення баз та необхідної точності оброблення поверхонь корпусу на першій операції запропоновано провести підрізання торцевої поверхні 22 та розточування внутрішньої циліндричної поверхні 27, що будуть серед основних технологічних баз на наступних операціях.

Схеми базування деталі “Корпус” 954.147.055 відображено у таблиці 2.2.

На першій операції використовуємо як базові зовнішню циліндричну поверхню з упором в торець.

На другій операції використовуємо як базові зовнішню циліндричну поверхню з упором в торець 22 з орієнтацією по отвору, застосовуючи рухому оправку.

На третій операції використовуємо як базові внутрішню циліндричну поверхню 27 з упором в торець 22 з орієнтацією по бобишках.

На четвертій і п'ятій операціях використовуємо як базові внутрішню циліндричну поверхню 27 з упором в торець 22 з орієнтацією по отвору, застосовуючи рухому оправку.

На шостій, сьомій та восьмій операціях використовуємо як базові отвір 3 з упором в торець з орієнтацією по бобищі.

2.3. Проектування технологічного маршруту механічного оброблення деталі

У процесі технологічного проектування механічного оброблення деталі “Корпус” 954.147.055 проаналізовано два альтернативні варіанти забезпечення заданих параметрів точності оброблюваних поверхонь. На основі порівняльного аналізу та синтезу прийнятих технологічних рішень сформовано раціональний операційний технологічний процес виготовлення корпусу, адаптований до умов великосерійного типу виробництва із використанням токарного горизонтального напівавтомата, агрегатних напівавтоматів та різьфрезерного напівавтомата.

Способи механічного оброблення поверхонь деталі “Корпус” 954.147.055 для досягнення заданих параметрів точності представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Маршрути оброблення поверхонь деталі “Корпус”
954.147.055

№ 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, 2	Два отвори з різьбою М4-7Н; l=10	12	Ra6,3	Нарізання різьби мітчиком	—
3	Отвір $\varnothing 14H7^{(+0,018)}$; l=5	7	Ra2,5	Зенкерування Розвертання чорнове Розвертання чистове	Розсвердлювання Розвертання чорнове Розвертання чистове
4	Фаска 3×45°	14	Ra12,5	Напівчистове розточування	—
5, 6	Два отвори $\varnothing 3,3^{+0,14}$; 82±0,2; l=14 під різьбу М4-7Н	12	Ra6,3	Свердління із застосуванням кондуктора	Центрування Свердління
7	Отвір з різьбою М6-7Н; l=10	12	Ra6,3	Нарізання різьби мітчиком	—
8	Отвір $\varnothing 4,95^{+0,26}$; l=14 під різьбу М6-7Н	12	Ra6,3	Свердління із застосуванням кондуктора	Центрування Свердління
9	Канавка внутрішня $\varnothing 10H14^{(+0,87)}$; 12H14 $^{(+0,36)}$; 45°	14	Ra12,5	Напівчистове розточування	—

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
10, 11, 12, 14	Чотири отвори рівномірно розміщені на циліндричній поверхні $\varnothing 20,5^{+0,3}$ під різьбу M22×1,5-7H	12	Ra6,3	Розсвердлю- вання	Зенкерування
15	Центральний отвір з різьбою M100×2-7H	11	Ra6,3	Фрезерування різьби гребінчастою фрезою	Нарізання різьби різцем
16, 17, 18, 19	Чотири фаски 1,5×45°	14	Ra12,5	Формування під час свердління комбінованим інструментом	Зенкування
20, 21	Дві фаски 1×45°	14	Ra12,5	Формування під час свердління комбінованим інструментом	Зенкування
22	Торець 62h14 _(-0,74)	14	Ra12,5	Напівчистове точіння поперечною подачею	—
23, 24, 25, 26	Чотири отвори з різьбою M22×1,5-7H; l=18 рівномірно розміщені на циліндричній поверхні	12	Ra6,3	Нарізання різьби мітчиком	—
27	Центральний отвір $\varnothing 97,9^{+0,4}$ під різьбу M100×2-7H	12	Ra6,3	Напівчистове розточування	—
28	Фаска 1×45°	14	Ra12,5	Формування під час свердління комбінованим інструментом	Зенкування
29	Отвір з різьбою M6-7H; l=10	12	Ra6,3	Нарізання різьби мітчиком	—

Закінчення таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
30, 31	Дві фаски $1 \times 45^\circ$	14	Ra12,5	Формування під час свердління комбінованим інструментом	Зенкування
32	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 124h14_{(-1,0)}$	14	Ra12,5	Напівчистове проточування	Напівчистове проточування широким різцем
33, 34	Два отвори з різьбою М6-7Н; $l=10$	12	Ra6,3	Нарізання різьби мітчиком	—
35	Отвір $\varnothing 4,95^{+0,26}_{-0,26}$; $l=14$ під різьбу М6-7Н	12	Ra6,3	Свердління із застосуванням кондуктора	Центрування Свердління
36, 37, 38, 39	Чотири торці рівномірно розміщені на циліндричній поверхні $118h14_{(-0,87)}$	14	Ra12,5	Фрезерування торцевою фрезою послідовне	Фрезерування дисковою двохсторонньою фрезою попарно
40, 41	Два отвори $\varnothing 4,95^{+0,26}_{-0,26}$; $l=14$ під різьбу М6-7Н	12	Ra6,3	Свердління із застосуванням кондуктора	Центрування Свердління
42	Фаска $1 \times 45^\circ$	14	Ra12,5	Формування під час свердління комбінованим інструментом	Зенкування

Для умов великосерійного виробництва, на основі проведеного синтезу та порівняльного аналізу альтернативних маршрутів формоутворення поверхонь деталі, сформовано раціональний маршрут механічного оброблення деталі. У проєктному варіанті технологічного процесу передбачено заміну токарно-гвинторізних операцій 005–020, що виконувалися на універсальному устаткуванні, на токарну напівавтоматну операцію 005, що забезпечує підвищення та продуктивності оброблення.

Крім того, вертикально-свердлильні та різенарізні операції запропоновано реалізовувати на спеціалізованих агрегатних верстатах замість універсального обладнання, що дозволяє скоротити основний і допоміжний час, а також підвищити стабільність технологічного процесу. З метою інтенсифікації оброблення внутрішню різьбу M100×2–7H рекомендовано отримувати методом фрезерування гребінчастою фрезою замість традиційного нарізання різцем за п'ять проходів, що сприяє підвищенню продуктивності. Для виконання операцій свердління малих отворів із одночасним формуванням фасок доцільно застосовувати комбінований інструмент зі швидкорізальної сталі, який забезпечує суміщення декількох переходів в одній операції, на відміну від використання стандартного інструменту, що потребує послідовного виконання окремих технологічних переходів.

005 Токарна напівавтоматна

Позиція II. Підрізання остаточне торця 2 у розмір 62h14_(-0,74) з поперечного супорта.

Позиція III. Розточування остаточне отвору 27 з підрізанням внутрішнього торця у розмірі $\varnothing 97,9^{+0,4}$; 24±0,1 з поздовжнього супорта.

Позиція IV. Розточування остаточне внутрішньої фаски 4 у розмір 3×45° з поздовжнього супорта.

Позиція V. Проточування остаточне зовнішньої циліндричної поверхні 32 у розмір $\varnothing 124h14_{(-1,0)}$.

Позиція VI. Розточування остаточне внутрішньої канавки 9 у розмірі $\varnothing 103H14^{(+0,87)}$; 12H14^(+0,36); 45° з поздовжнього супорта.

Перевірити розміри. Контроль 30%

010 Горизонтально-фрезерна

Перехід 2. Фрезерування остаточне двох торців 36, 37 у розмір 118h14_(-0,87) одночасне.

Перехід 3. Повернути деталь на 90°

Перехід 4. Фрезерування остаточне двох торців 38, 39 у розмір 118h14_(-0,87) одночасне.

Перевірити розміри. Контроль 30%

015 Агрегатна

Позиція II. Розсвердлювання отвору 10 та одночасне формування фаски 16 з вертикальної багатошпindel'ної головки IIa у розмірі $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$; свердління двох отворів 5, 6 одночасне та одночасне формування двох фасок 20, 21 та свердління одночасне отвору 8 та одночасне формування фаски 28, у розмірі $\varnothing 3,3^{+0,14}$; $82 \pm 0,2$; $l=14$; $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$ з горизонтальної багатошпindel'ної головки IIб.

Позиція III. Нарізання різьби 23 з вертикальної багатошпindel'ної головки IIIa у розмірі M22 $\times$ 1,5-7H; $l=18$; нарізання різьби 1, 2, 29 в трьох отворах у розмірі M6-7H; $l=10$; M4-7H; $l=10$ з горизонтальної багатошпindel'ної головки IIIб одночасне.

Перевірити розміри.

020 Агрегатна операція

Позиція II. Свердління двох отворів 40, 41 та одночасне формування двох фасок 30, 31 з вертикальної багатошпindel'ної головки IIa у розмірі $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$; $1 \times 45^\circ$ $88 \pm 0,2$; розсвердлювання отвору 11 та одночасне формування фаски 17 з горизонтальної багатошпindel'ної головки IIб у розмірі $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$ одночасне.

Позиція III. Нарізання різьби одночасне у двох отворах 33, 34 з багатошпindel'ної головки IIIa у розмірі M6-7H; $l=10$; нарізання різьби 24 з багатошпindel'ної головки IIIб у розмірі M22 $\times$ 1,5-7H; $l=18$ одночасне.

Позиція IV. Зенкерування отвору 3 з вертикальної силової головки IVa, у розмір $\varnothing 13,798^{+0,18}$.

Позиція V. Розвертання попереднє отвору 3 з вертикальної силової головки Va у розмір $\varnothing 13,998^{+0,043}$.

Позиція VI. Розвертання остаточне отвору 3 з вертикальної силової головки VIa у розмір $\varnothing 14H7(^{+0,018})$.

Перевірити розміри. Контроль 30%.

025 Агрегатна операція

Позиція II. Розсвердлювання отворів 12, 14 та одночасне формування фасок 18, 19 з вертикальної багатошпindelьної головки IIa у розміри $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$ одночасне.

Позиція III. Нарізання різьби 25, 26 з вертикальної багатошпindelьної головки IIIa у розміри $M22 \times 1,5-7H$; $l=18$ одночасне.

Перевірити розміри. Контроль 30%.

030 Вертикально-свердлильна

Перехід 2. Свердління отвору 35 та одночасне формування фаски 42 у розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$; $1 \times 45^\circ$

035 Різенарізна операція

Перехід 2. Нарізання різьби в отворі 7 у розміри $M6-7H$; $l=10$.

040 Різефрезерна операція

Перехід 2. Фрезерування внутрішньої різьби 25 у розмір $M100 \times 2-7H$.

Операція 045 Контроль.

2.4. Визначення припусків на оброблення

Розрахунок і вибір припусків механічного оброблення деталі “Корпус” 954.147.055 у проектному технологічному процесі проведено табличним та аналітично-розрахунковим методами. Результати представлено у таблиці 2.4.

Також результати розрахунку припусків оброблення отвору $\varnothing 14H7^{(+0,018)}$, Ra 1,6 на 020 агрегатній операції із базуванням і затиском деталі у розробленому пристосуванні представлено на рис. 2.3.

Таблиця 2.4 – Припуски на оброблення поверхонь деталі “Корпус”
954.147.055

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
Торець 62h14 _(-0,74)					
Напівчистове точіння	14	Ra12,5	0,74	1,2	62 _{-0,74}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,8	-	63,2±0,4
Отвір Ø97,9 ^{+0,4} під різьбу M100×2-7H					
Розточування напівчистове	11	Ra6,3	0,4	1,2 × 2 = 2,4	Ø97,9 ^{+0,4}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,0	—	Ø95,5±0,5
Отвір Ø20,5 ^{+0,3} під різьбу M22×1,5-7H					
Розсвердлювання	14	Ra6,3	0,3	1,0 × 2 = 2,0	Ø20,5 ^{+0,3}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	0,7	—	Ø18,5 ±0,35
Зовнішня циліндрична поверхня Ø124h14 _(-1,0)					
Точіння напівчистове	14	Ra12,5	1,0	1,4 × 2 = 2,8	Ø124 _{-1,0}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,0	-	Ø126,8±0,5
Торці 118h14 _(-0,87)					
Фрезерування напівчистове	14	Ra12,5	0,87	1,4 × 2 = 2,8	118 _{-0,87}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 50	1,0	—	120,8±0,5
Канавка Ø103H14 ^(+0,87)					
Розточування напівчистове	14	Ra12,5	0,87	2,55 × 2 = 5,1	Ø103 ^{+0,87}
Попередньо-оброблена поверхня	13	Ra6,3	0,4	—	Ø97,9 ^{+0,4}

Габаритні розміри заготовки: 63,2±0,4× Ø126,8±0,5.

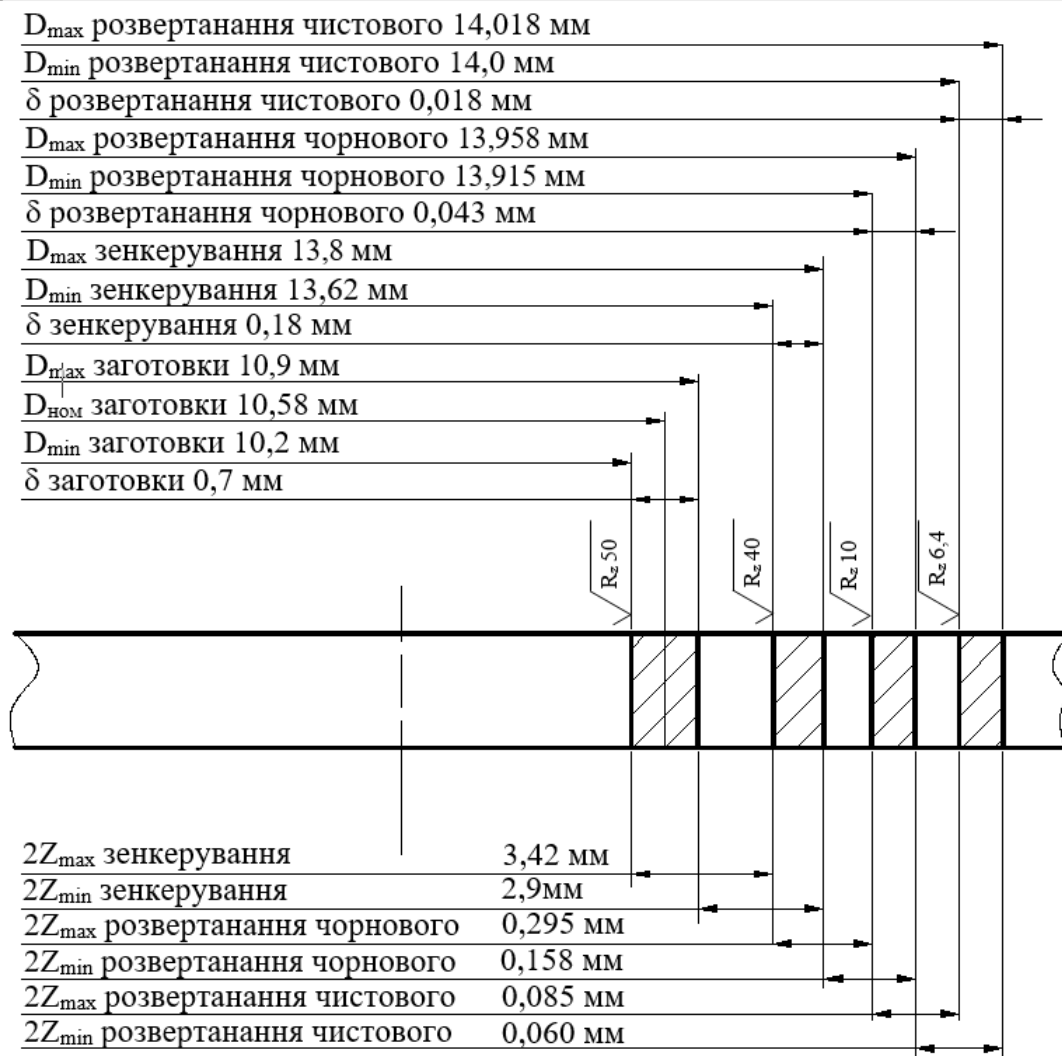


Рисунок 2.3 – Схема розташування припусків на механічне оброблення
отвору $\varnothing 14H7(^{+0,018})$

2.5. Розрахунок і вибір режимів оброблення та технічних норм часу

Режими різання визначено на основі табличних даних довідників, а для 2-ї позиції 020 агрегатної операції оброблення деталі “Корпус” 954.147.055 визначення режимів різання проведено розрахунковим методом.

Операція 020 Агрегатна. Позиція II. Свердління двох отворів 40, 41 та одночасне формування двох фасок 30, 31 з вертикальної багатошпindelної головки IIa у розмірі $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$; $1 \times 45^\circ 88 \pm 0,2$; розсвердлювання отвору 11 та одночасне формування фаски 17 з горизонтальної багатошпindelної головки IIб у розмірі $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$ одночасне.

1. Визначаємо глибини різання:

Позиція II: $t_{IIa1,2} = 2,5$ мм; $t_{IIб1} = 1,0$ мм.

2. Довжина робочого ходу багатошпиндельних головок [14]:

$$L_{p.x.} = l_{різ.} + l_{підв.} + l_{вріз.} + l_{перебігу} + l_{дод.}, \quad (2.5)$$

Позиція II: $l_{різ. IIa1,2} = 14$ мм; $l_{підв, вріз., пер. IIa1,2} = 5$ мм.

$l_{різ. IIб1} = 18$ мм; $l_{підв, вріз., пер. IIб1} = 12$ мм.

$$L_{p.x. IIa1,2} = 14 + 5 = 19 \text{ мм.}$$

$$L_{p.x. IIб1} = 18 + 12 = 30 \text{ мм.}$$

Вибираємо найбільше значення робочого ходу багатошпиндельної головки $L_{p.x. IIб1,2} = 30$ мм.

3. Подача багатошпиндельних головок:

Позиція II: $S_{oIIa1,2} = 0,12$ мм/об;

$S_{oIIб1} = 0,2$ мм/об.

4. Період стійкості інструментів:

$$T_p = T_M \cdot \lambda, \quad (2.6)$$

де $T_M = 200$ хв. [14] для багатоінструментальних наладок.

Коефіцієнт часу різання:

$$\lambda = \frac{L_{різ.}}{L_{p.x.}}, \quad (2.7)$$

$$\lambda_{IIa} = \frac{14}{19} = 0,74;$$

$$\lambda_{IIб} = \frac{18}{30} = 0,6.$$

Стійкість інструментів (2.6):

$$T_{pIIa} = 200 \cdot 0,74 = 148 \text{ хв};$$

$$T_{pIIб} = 200 \cdot 0,6 = 120 \text{ хв.}$$

5. Швидкість різання.

Для вертикальної багатошпиндельної головки IIa [14]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.8)$$

де $C_v = 36,3$ q = 0,25; $y = 0,55$; $m = 0,125$ [14];

$D = 5$ мм;

$T = 200$ хв;

$S = 0,12$ мм/об.

Поправочний коефіцієнт швидкості різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}, \quad (2.9)$$

де $K_{mv} = 0,8$ для сплаву АК12 [14];

$K_{iv} = 1,0$ для свердла із швидкорізальної сталі Р6М5 [14];

$K_{lv} = 0,9$ при свердлінні отвору до $3,6D$ [14].

Підставляємо дані у рівняння (2.9):

$$K_v = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,72.$$

Підставляємо дані у рівняння (2.8):

$$V = \frac{36,3 \cdot 5^{0,25}}{200^{0,125} \cdot 0,12^{0,55}} \cdot 0,72 = 65,2 \text{ м/хв.}$$

Швидкість різання для горизонтальної багатошпиндельної головки Пб [14]:

$$V = V_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.10)$$

де $V_{Пб} = 76$ м/хв. [14];

$K_1 = 1,0$ для сплаву АК12 [14];

$K_2 = 0,9$ при стійкості свердла 120 хв [14];

$K_3 = 1,0$ при свердлінні отвору до $5D$ [14];

$$V_{Пб} = 76 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 68,4 \text{ м/хв.}$$

6. Частота обертання шпинделя [14]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (2.11)$$

Позиція II:

$$n_{IIa} = \frac{1000 \cdot 65,2}{\pi \cdot 5} = 4153 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{IIб} = \frac{1000 \cdot 68,4}{\pi \cdot 20,5} = 1063 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо $n_{дIIa} = 2036 \text{ хв}^{-1}$. $n_{дIIб \max} = 1063 \text{ хв}^{-1}$;

7. Подачі інструментів [14]:

$$S_m = S_o \cdot n, \quad (2.12)$$

Позиція II:

$$S_{mIIa} = 0,12 \cdot 2036 = 244 \text{ мм/хв};$$

$$S_{mIIб} = 0,2 \cdot 1063 = 212 \text{ мм/хв}.$$

Приймаємо хвилинну подачу багатошпіндельної головки за найменшим значенням, тобто по $S_{mIIб} = 212 \text{ мм/хв}$.

8. Коректуємо частоту обертання інструментів:

$$n = \frac{S_m}{S_o}, \quad (2.13)$$

Позиція II:

$$n_{IIa} = \frac{212}{0,12} = 1767 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо $n_{дIIa} = 1767 \text{ хв}^{-1}$.

$$n_{IIб} = \frac{212}{0,2} = 1060 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо $n_{дIIб} = 1060 \text{ хв}^{-1}$.

9. Коректуємо швидкість різання [14]:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n_d}{1000}, \quad (2.14)$$

де n_d – дійсна частота обертання шпинделя;

Позиція II:

$$V_{\text{дПа}} = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 1767}{1000} = 27,7 \text{ м/хв.}$$

$$V_{\text{дПб}} = \frac{\pi \cdot 20,5 \cdot 1060}{1000} = 68,2 \text{ м/хв.}$$

10. Осьова сила різання:

Позиція II:

- для свердління [14]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (2.15)$$

де $D_{\text{Па}} = 5 \text{ мм};$

$S_{\text{Па}} = 0,12 \text{ мм/об};$

$C_p = 9,8; y = 0,7; q = 1,0$ [14];

- для розсвердлювання [14]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p, \quad (2.16)$$

де $t_{\text{Пб}} = 1,0 \text{ мм};$

$S_{\text{Пб}} = 0,2 \text{ мм/об};$

$C_p = 9,8; y = 0,7; x = 1,0$ [14];

$$K_p = K_{\text{мр}}, \quad (2.17)$$

де $K_{\text{мр}} = 1,0$ для сплаву АК12 [14];

$$K_p = 1,0.$$

Підставляємо дані у рівняння (2.15) та (2.16) при цьому багатошпиндельна головка Па має 2 свердла $\varnothing 5,0 \text{ мм};$ багатошпиндельна головка Пб має свердло $\varnothing 20,5$:

$$P_{\text{оПа}} = 2 \cdot 10 \cdot 9,8 \cdot 5,0^{1,0} \cdot 0,12^{0,7} \cdot 1,0 = 222 \text{ Н};$$

$$P_{\text{оПб}} = 10 \cdot 9,8 \cdot 1^{1,0} \cdot 0,2^{0,7} \cdot 1,0 = 31,76 \text{ Н}.$$

11. Потужність різання [14]:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{табл.}} \cdot K_N \cdot \frac{n}{1000}, \quad (2.18)$$

де $K_N = 1,0$ для сплаву АК12 [14].

Позиція II: $N_{\text{табл.ІІб}} = 0,4 \text{ кВт}$ [14]; $N_{\text{табл.ІІа}} = 0,15 \text{ кВт}$ [14];

$$N_{\text{різІІа}} = 0,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{1767}{1000} \cdot 2 = 0,53 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{різІІб}} = 0,4 \cdot 1,0 \cdot \frac{1060}{1000} = 0,42 \text{ кВт}.$$

12. Сумарна потужність другої позиції:

$$N_{\Sigma} = \frac{\sum N_{\text{різ.і}}}{\eta}, \quad (2.19)$$

де $\eta = 0,75$.

$$N_{\Sigma\text{II}} = \frac{0,53 + 0,42}{0,75} = 1,27 \text{ кВт}.$$

13. Основний час на другій позиції:

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_o \cdot n} \cdot i, \quad (2.20)$$

Позиція II:

$$T_{\text{оІІа}} = \frac{19}{0,12 \cdot 1767} \cdot 1 = 0,09 \text{ хв};$$

$$T_{\text{оІІб}} = \frac{30}{0,2 \cdot 1060} \cdot 1 = 0,14 \text{ хв}.$$

Також визначено режими різання для інших операцій технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 954.147.055, що зведені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Режими різання операцій технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус” 954.147.055

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 напівавтоматна										
Позиція II Підрізання остаточне торця 2 у розмір 62h14 _(-0,74) з поперечного супорта.	1,2	12	1	110	0,5	200	72	100	0,12	1,2
Позиція III Розточування остаточне отвору 27 з підрізанням внутрішнього торця у розміри Ø97,9 ^{+0,4} ; 24±0,1 з поздовжнього супорта	1,2	32	1	110	0,5	200	65	100	0,32	1,2
Позиція IV Розточування остаточне внутрішньої фаски 4 у розмір 3×45° з поздовжнього супорта.	3,0	5	1	110	0,2	200	65	40	0,1	1,5
Позиція V Проточування остаточне зовнішньої циліндричної поверхні 32 у розмір Ø124h14 _(-1,0) .	1,4	19	1	110	0,4	200	85	80	0,24	1,4

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція VI Розточування остаточне внутрішньої канавки 9 у розміри $\varnothing 103H14^{(+0,87)}$; $12H14^{(+0,36)}$; 45° з поздовжнього супорта	10	12	1	110	0,2	200	64	40	0,3	2,1
010 Горизонтально-фрезерна										
Перехід 2 Фрезерування остаточне двох торців 36, 37 у розмір $118h14_{(-0,87)}$ одночасне.	1,4	44	1	150	0,1 мм/ зуб	750	290	—	0,12	2,4
Перехід 2 Повернути деталь на 90°										
Перехід 4 Фрезерування остаточне двох торців 38, 39 у розмір $118h14_{(-0,87)}$ одночасне.	1,4	44	1	150	0,1 мм/ зуб	750	290	—	0,12	2,4
015 Агрегатна										
Позиція II Розсвердлювання отвору 10 та одночасне формування фаски 16 з вертикальної багатошпин- дельної головки Па у розміри $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$;	1,0	30	1	120	0,2	1060	68,2	212	0,14	0,42

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
свердління двох отворів 5, 6 одночасне та одночасне формування двох фасок 20, 21 та свердління одночасне отвору 8 та одночасне формування фаски 28, у розміри $\varnothing 3,3^{+0,14}_{-}$; $82 \pm 0,2$; $l=14$; $\varnothing 4,95^{+0,26}_{-}$; $l=14$ з горизонтальної багатошпindelьної головки ІІб.	1,65 2,5	19	1	190	0,1	2010	19	201	0,09	0,8
Позиція III Нарізання різьби 23 _з вертикальної багатошпindelьної головки ІІа у розміри M22×1,5-7H; $l=18$; нарізання різьби 1, 2, 29 в трьох отворах у розміри М6-7H; $l=10$; М4-7H; $l=10$ _з горизонтальної багатошпindelьної головки ІІб одночасне.	0,433 0,202 0,54	28 14 14	1 1	190 190 120	1,5 0,7 1,0	160 343 240	11 4,2 4,5	240 240 240	0,12 0,06 0,06	0,29 0,12 0,1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
свердління двох отворів 5, 6 одночасне та одночасне формування двох фасок 20, 21 та свердління одночасне отвору 8 та одночасне формування фаски 28, у розміри $\varnothing 3,3^{+0,14}$; $82 \pm 0,2$; $l=14$; $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$ з горизонтальної багатошпindelьної головки Пб.	1,65 2,5	19	1	190	0,1	2010	19	201	0,09	0,8
Позиція III Нарізання різьби 23 з вертикальної багатошпindelьної головки IIIа у розміри M22×1,5-7H; l=18; нарізання різьби 1, 2, 29 в трьох отворах у розміри M6-7H; l=10; M4-7H; l=10 з горизонтальної багатошпindelьної головки IIIб одночасне.	0,433 0,202 0,54	28 14 14	1 1	190 190 120	1,5 0,7 1,0	160 343 240	11 4,2 4,5	240 240 240	0,12 0,06 0,06	0,29 0,12 0,1

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
020 Агрегатна										
Позиція II Свердління двох отворів 40, 41 та одночасне формування двох фасок 30, 31 з вертикальної багатошпиндельної головки Па у розмірі $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$; $1 \times 45^\circ 88 \pm 0,2$;	2,5	19	1	148	0,12	1767	27,7	212	0,09	0,53
розсвердлювання отвору 11 та одночасне формування фаски 17 з горизонтальної багатошпиндельної головки Пб у розмірі $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$ одночасне.	1,0	30	1	120	0,2	1060	68,2	212	0,14	0,42
Позиція III Нарізання різьби одночасне у двох отворах 33, 34 з багатошпиндельної головки IIIa у розмірі M6-7H; $l=10$; нарізання різьби 24 з багатошпиндельної головки IIIб у розмірі M22 $\times$ 1,5-7H; $l=18$ одночасне.	0,54	14	1	120	1,0	240	4,5	240	0,06	0,1
	0,433	28	1	190	1,5	160	11	240	0,12	0,29

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція IV. Зенкерування отвору 3 з вертикальної силової головки IVa, у розмір $\varnothing 13,798^{+0,18}$.	1,61	20	1	35	0,3	600	22	180	0,11	0,15
Позиція V. Розвертання попереднє отвору 3 з вертикальної силової головки Va у розмір $\varnothing 13,998^{+0,043}$.	0,169	20	1	35	0,8	220	8	176	0,11	0,14
Позиція VI. Розвертання остаточне отвору 3 з вертикальної силової головки VIa у розмір $\varnothing 14H7(^{+0,018})$.	0,0425	20	1	35	0,6	260	12	156	0,13	0,1
025 Агрегатна										
Позиція II Розсвердлювання отворів 12, 14 та одночасне формування фасок 18, 19 з вертикальної багатошпindelьн ої головки IIa у розміри $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$ одночасне.	1,0	30	1	120	0,2	1060	68,2	212	0,14	0,42

Закінчення таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Позиція III										
Нарізання різьби 25, 26 з вертикальної багатошпindel'ної головки IIIa у розміри M22×1,5-7H; l=18 одночасне.	0,433	28	1	190	1,5	160	11	240	0,12	0,29
030 Вертикально-свердлильна										
Перехід 2 Свердління отвору 35 та одночасне формування фаски 42 у розміри $\varnothing 4,95^{+0,26}$; l=14; $1 \times 45^\circ$	2,5	19	1	148	0,12	1767	27,7	212	0,09	0,53
035 Різенарізна										
Перехід 2 Нарізання різьби в отворі 7 у розміри M6-7H; l=10.	0,54	14	1	120	1,0	240	4,5	240	0,06	0,1
040 Різефрезерна										
Перехід 2 Фрезерування внутрішньої різьби 25 у розмір M100×2-7H.	1,08	320	1	120	0,1 мм/зуб	240	76	380	0,84	3,4

Технічні норми часу розраховано, використовуючи табличні даних довідників з нормування праці, при цьому на 015 агрегатну операцію оброблення деталі “Корпус” 954.147.055 технічні норми часу визначено розрахунковим методом.

Штучний час роботи агрегатного напівавтомата [1]:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{ц}} + T_{\text{доп.}} + T_{\text{тех.обсл.}} + T_{\text{орг.обсл.}} + T_{\text{відп.}}, \quad (2.21)$$

Час циклу роботи напівавтомата:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{р.х.}} + t_{\text{х.х.}}, \quad (2.22)$$

де $t_{\text{р.х.}}$ – час робочих ходів;

$t_{\text{х.х.}}$ – час на швидкі переміщення.

Час робочих ходів визначається найбільшим часом на позиціях агрегатного верстата, тобто на позиції Па $t_{\text{р}} = 0,14$ хв.

Час на швидкі переміщення визначається як сума часу прискореного руху 6 с. та часу витраченого на поворот стола, тобто 2,2 с.

$$t_{\text{х.х.}} = 6 + 2,2 = 8,2 \text{ с} = 0,14 \text{ хв.}$$

Час циклу агрегатного напівавтомата:

$$T_{\text{ц015}} = 0,14 + 0,14 = 0,28 \text{ хв.}$$

Час на допоміжні переходи:

– час на базування, закріплення та зняття деталі із пристосування:

$$t_{\text{вст.зн.}} = 0,08 \text{ хв. [1];}$$

– час на вимірювання:

$82 \pm 0,2$ – вимірювання калібром розміщення $(80 \pm 0,2)$ спеціальним –
 $t_{\text{вим.1}} = 0,18 \text{ хв. [1];}$

М4-7Н – вимірювання калібр-пробкою різьбовою М4-7Н
 $t_{\text{вим.2}} = 0,45 \cdot 2 = 0,9 \text{ хв. [1].}$

М6-7Н – вимірювання калібр-пробкою різьбовою М6-7Н $t_{\text{вим.3}} = 0,45 \text{ хв. [1].}$

М22×1,5-7Н – вимірювання калібр-пробкою різьбовою М22×1,5-7Н
 $t_{\text{вим.4}} = 0,45 \text{ хв. [1].}$

Сумарний час, що витрачається на вимірювання:

$$T_{\text{доп.вим.}} = 0,17 + 0,9 + 0,45 + 0,45 = 1,98 \text{ хв.}$$

Час вимірювань при 30%-му контролі:

$$T_{\text{доп.вим.дійсн.}} = T_{\text{доп.вим.}} \cdot 0,3 = 1,98 \cdot 0,3 = 0,59 \text{ хв.}$$

Час на виконання допоміжних переходів, що не перекриті часом циклу роботи агрегатного верстата.

$$T_{\text{доп.не}} = (t_{\text{вст.зн.}} + T_{\text{доп.вим.дійсн.}}) - T_{\text{ц}} \quad (2.23)$$

$$T_{\text{доп.не}} = (0,08 + 0,59) - 0,28 = 0,39 \text{ хв.}$$

Час на виконання технічного обслуговування [1]:

$$T_{\text{тех.обсл.}} = t_p \cdot 2\% = 0,14 \cdot 0,02 = 0,003 \text{ хв.}$$

Час на виконання організаційного обслуговування [1]:

$$T_{\text{орг.обсл.}} = T_{\text{ц}} \cdot 2,4\% = 0,28 \cdot 0,024 = 0,007 \text{ хв.}$$

Час на виконання особистих потреб [1]:

$$T_{\text{відп.}} = T_{\text{ц}} \cdot 6\% = 0,28 \cdot 0,06 = 0,017 \text{ хв.}$$

Штучний час роботи агрегатного напівавтомата (2.21):

$$T_{\text{шт.015}} = 0,28 + 0,39 + 0,003 + 0,007 + 0,017 = 0,70 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час роботи агрегатного напівавтомата:

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт.}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{n}, \quad (2.24)$$

де $n = 1520$ шт – величина партії деталей.

$$T_{\text{п.з.}} = 57 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт.к015}} = 0,7 + \frac{57}{1520} = 0,74 \text{ хв.}$$

005 Токарна напівавтоматна

Основний час: $T_{005} = 0,32 \text{ хв.}$

Штучний час [1]:

$$T_{\text{шт.}} = \Psi_k \cdot (T_o + T_{\text{вст.}}), \quad (2.25)$$

$$T_{\text{шт.005}} = 1,35 \cdot (0,32 + 0,08) = 0,54 \text{ хв.}$$

010 Горизонтально-фрезерна

Основний час: $T_{010} = 0,24 \text{ хв.}$

Штучний час (2.25):

$$T_{\text{шт.010}} = 1,5 \cdot (0,24 + 0,08) = 0,48 \text{ хв.}$$

020 Агрегатна операція.

Основний час: $T_{o020} = 0,14$ хв.

Штучний час (2.25):

$$T_{шт.020} = 1,8 \cdot (0,14 + 0,08) = 0,40 \text{ хв.}$$

025 Агрегатна операція

Основний час: $T_{o025} = 0,14$ хв.

Штучний час (2.25):

$$T_{шт.025} = 1,8 \cdot (0,14 + 0,08) = 0,40 \text{ хв.}$$

030 Вертикально-свердлильна операція

Основний час: $T_{o030} = 0,09$ хв.

Штучний час (2.25):

$$T_{шт.030} = 1,25 \cdot (0,09 + 0,08) = 0,21 \text{ хв.}$$

035 Різенарізна операція

Основний час: $T_{o035} = 0,06$ хв.

Штучний час (2.25):

$$T_{шт.035} = 1,4 \cdot (0,06 + 0,08) = 0,2 \text{ хв.}$$

040 Різефрезерна операція

Основний час: $T_{o040} = 0,84$ хв.

Штучний час (2.25):

$$T_{шт.040} = 1,4 \cdot (0,84 + 0,08) = 1,29 \text{ хв.}$$

Технічні норми часу технологічного процесу виготовлення деталі “Корпус”
954.147.055 зведені у таблиці 2.6.

деталі “Корпус” 954.147.055

[illegible]

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок точності пристосування для механічного оброблення деталі

Для забезпечення одночасного оброблення отворів деталі «Корпус» 954.147.055 на агрегатній операції 015 спроектовано спеціальне оснащення. Конструкція оснащення дозволяє його встановлення на поворотному столі агрегатного верстата за допомогою пазів та болтів, що забезпечує його точне позиціонування відносно багатопиндельних головок верстата.

Для забезпечення необхідної продуктивності виготовлення корпусів в умовах великосерійного типу виробництва, на поворотному столі агрегатного верстата одночасно розміщується чотири таких пристрої, що дозволяє одночасне оброблення трьох заготовок із різними технологічними переходами.

Пристрій призначений для розсвердлювання отвору у розмірі $\varnothing 20,5^{+0,3}$; $l=18$; $1,5 \times 45^\circ$; свердління двох отворів у розмірі $\varnothing 3,3^{+0,14}$; $82 \pm 0,2$; $l=14$; $\varnothing 4,95^{+0,26}$; $l=14$, нарізання різьби $M22 \times 1,5-7H$; $l=18$; нарізання різьби в трьох отворах у розмірі $M6-7H$; $l=10$; $M4-7H$; $l=10$.

Для реалізації передбачених технологічним процесом операцій механічного оброблення деталі її установа в пристосуванні здійснюється за схемою базування по зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 112$ та торцевій поверхні $20_{-0,3}$ із використанням установчої бази поз. 30. Просторове орієнтування заготовки забезпечується за допомогою бокового отвору $\varnothing 18,5$, у який входить зрізаний установчий палець поз. 29, що виконує функцію фіксації кутового положення деталі.

Функціонування пристрою відбувається таким чином. У початковому стані, коли оснащення знаходиться в зоні завантаження та розвантаження поворотного столу агрегатного верстата, оператор за допомогою рукоятки поз. 36 переміщує зрізаний палець поз. 29 у нижнє положення. Після цього деталь установлюють на базову поверхню поз. 30 із забезпеченням контакту по визначених технологічних базах та повертають до суміщення осі отвору $\varnothing 18,5$ з

віссю установчого пальця. Після відпускання рукоятки під дією пружини поз. 33 палець автоматично переміщується вгору та входить у отвір деталі, забезпечуючи її точне орієнтування відносно осей пристрою.

Подальше закріплення деталі реалізується пневматичним приводом. Через систему керування стиснене повітря подається у верхню порожнину гільзи поз. 38, що спричиняє осьове переміщення поршня поз. 1 разом зі штоком поз. 9 у напрямку вниз. Передача зусилля здійснюється через клиновий механізм та ролик поз. 16, внаслідок чого повзун поз. 12, з'єднаний із колонкою поз. 23 і притискним елементом поз. 26, зміщується вліво та створює необхідне затискне зусилля, забезпечуючи надійну фіксацію деталі в пристосуванні.

Після завершення операції базування та закріплення поворотний стіл агрегатного верстата повертає пристрій із закріпленою деталлю на відповідні технологічні позиції для виконання механічного оброблення. По завершенні виробничого циклу оснащення повертається у зону завантаження-розвантаження, де через систему керування стиснене повітря подається в нижню порожнину гільзи поз. 38. У результаті поршень поз. 1 разом зі штоком поз. 2 переміщується у верхнє положення, а повзун поз. 12 із притискним елементом поз. 26 під дією пружини поз. 15 відходить вправо, здійснюючи розтискання та звільнення деталі.

Для зняття обробленої деталі оператор повторно відводить зрізаний палець поз. 29 у нижнє положення за допомогою рукоятки поз. 36, після чого виконується зняття деталі з пристосування. Подальший технологічний цикл повторюється в аналогічній послідовності.

Креслення розробленого затискного пристрою наведено у графічній частині роботи.

Похибка встановлення заготовки деталі «Корпус» 954.147.055 у пристрої визначається на основі розрахункового рівняння, яке враховує сумарний вплив похибок базування, закріплення та виготовлення елементів оснащення [15]:

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

Необхідна точність базування заготовки у затискному пристрої забезпечується за умови, що сумарна похибка встановлення не перевищує допустимого допуску на розміри, сформовані під час механічного оброблення [15]. Дотримання вимог точності визначається виконанням відповідної умови [15]:

$$\Delta \varepsilon_1 \leq T. \quad (3.2)$$

На агрегатній операції 015 виконують оброблення різьбових отворів деталі «Корпус» 954.147.055. Основною вимогою є забезпечення точності їх координатного положення та взаємного просторового розміщення відносно базових поверхонь корпусу. Точність взаємного розташування отворів визначається кінематичною і геометричною точністю свердлильної насадки та кондукторного оснащення, тоді як допустиме відхилення їх положення відносно конструктивних елементів деталі, згідно з конструкторською документацією, становить $T = 0,4$ мм.

Враховуючи конструктивне виконання пристосування та прийняту схему базування, величина похибки Δ_6 у радіальному напрямку визначається значенням максимального зазору між установчою базою пристосування та базовою поверхнею заготовки. Оскільки посадковий елемент пристосування виготовлений із розміром $\varnothing 112H7^{+0,035}$, а базова поверхня деталі має граничний розмір $\varnothing 112_{-0,2}$, то максимальне значення радіального зазору становить: $\Delta_{61} = 0,235$ мм. Таким чином, зазначена величина приймається як похибка базування у радіальному напрямку.

Осьова похибка базування Δ_{62} обумовлюється допуском на торцеву базову поверхню розміром $20_{-0,3}$, яка використовується як опорна технологічна база. Відповідно, її значення визначається полем допуску цього розміру і становить $\Delta_{62} = 0,3$ мм. Отримані значення похибок базування враховуються при оцінюванні сумарної похибки встановлення деталі в пристосуванні та перевірці забезпечення необхідної точності механічного оброблення.

Похибка закріплення заготовки $\Delta_3 = 70$ мкм.

Похибка пристосування $\Delta_{\Pi} = 30$ мкм.

Похибка встановлення заготовки деталі «Корпус» 954.147.055 у пристрої (3.1):

$$\Delta \epsilon_1 = \sqrt{0,235^2 + 0,07^2 + 0,03^2} = 0,25 \text{ мм.}$$

Перевіряємо виконання умови (3.2):

$$0,25 \text{ мм} < 0,4 \text{ мм}$$

Отже, точність встановлення заготовки забезпечена.

3.2. Розрахунок силових параметрів пристосування для механічного оброблення деталі

Для визначення необхідного зусилля затиску заготовки деталі «Корпус» 954.147.055 на агрегатній операції 015 приймається розрахункова схема навантаження, що відповідає найбільш навантаженому режиму - при свердлінні отвору $\varnothing 3,3$ мм та двох отворів $\varnothing 5$ мм, при якому формується максимальний крутний момент різання $M_{\text{різ}}$ (рис. 3.1).

Осьову силу для процесу свердління визначено за рівнянням [14]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.3)$$

де $D_{\text{IIa}} = 3,3$ мм; $D_{\text{IIб}} = 5,0$ мм – діаметри творів;

$S_{\text{II}} = 0,12$ мм/об – подача при свердлінні;

K_p – поправочний коефіцієнт;

$C_p = 9,8$; $y = 0,7$; $q = 1,0$ [14];

$$K_p = K_{\text{мр}}, \quad (3.4)$$

де $K_{\text{мр}} = 1,0$ для сплаву АК12 [14];

$$K_p = 1,0.$$

Підставляємо дані у рівняння (3.3), враховуючи те, на позиції II агрегатного верстата в наладці є 3 інструменти (одне свердло $\varnothing 3,3$ мм та 2 свердла $\varnothing 5$ мм):

$$P_{\text{опа}} = 10 \cdot 9,8 \cdot 3,3^{1,0} \cdot 0,12^{0,7} \cdot 1,0 = 73 \text{ Н};$$

$$P_{\text{опб}} = 2 \cdot 10 \cdot 9,8 \cdot 5,0^{1,0} \cdot 0,12^{0,7} \cdot 1,0 = 222 \text{ Н}.$$

Заготовка установлюється на циліндричну технологічну базу та додатково фіксується шляхом притискання до опорної обробленої поверхні пристосування за допомогою затискного елемента. Затискне зусилля, передаючись через клиновий механізм і притискач, формує нормальну реакцію у зоні контакту базових поверхонь, що забезпечує надійну фіксацію деталі та стабільність її просторового положення в процесі механічного оброблення. Це дозволяє мінімізувати зміщення заготовки під дією сил різання та забезпечити дотримання встановлених вимог до точності обробки.

Необхідна умова відсутності провертання заготовки визначається рівновагою моментів:

$$KM_{\text{різ}} = \sum M_{\text{тр}}. \quad (3.5)$$

Момент тертя між поверхнями заготовки, притискача та базової поверхні пристрою:

$$\sum M_{\text{тр}} = P_{\text{зат}} \cdot R \cdot f_1 + \frac{2P_{\text{зат}} f_2 \cdot (R_2^3 - R_1^3)}{3(R_2^2 - R_1^2)}, \quad (3.6)$$

де $P_{\text{зат}}$ – сила затиску;

$f_1 = 0,2$ – коефіцієнт тертя між поверхнями заготовки та притискача;

$f_2 = 0,2$ – коефіцієнт тертя між поверхнями заготовки та базової поверхні пристрою;

$R_1=56\text{мм}$ – менший радіус торцевої поверхні корпусу;

$R_2=59\text{мм}$ – більший радіус торцевої поверхні корпусу;

$R=28\text{мм}$ – радіус притискача у зоні контакту із заготовкою.

Силу затиску заготовки визначаємо за рівнянням:

$$P_{\text{зат}} = \frac{KM_{\text{різ}}}{f_1 \cdot R + 2f_2 \cdot \frac{R_2^3 - R_1^3}{3(R_2^3 - R_1^3)}} + P_0. \quad (3.7)$$

Момент різання при свердлінні:

$$M_{\text{різ1,2}} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.8)$$

де $C_m = 0,005$; $q = 2,0$; $y = 0,8$ [14].

Де $D = 3,3 \text{ мм}$; $D = 5 \text{ мм}$.

$S = 0,12 \text{ мм/об}$.

$K_p = K_{\text{мр}} = 1$.

Підставляємо дані у рівняння (3.8):

$$M_{\text{різ1}} = 10 \cdot 0,005 \cdot 3,3^2 \cdot 0,12^{0,8} \cdot 1 = 0,1 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{різ2}} = 10 \cdot 0,005 \cdot 5^2 \cdot 0,08^{0,8} \cdot 1 = 0,17 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Сумарний момент різання:

$$M_{\text{різ}} = M_{\text{різ1}} + 2M_{\text{різ2}};$$

$$M_{\text{різ}} = 0,1 + 2 \cdot 0,17 = 0,44 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$K = 3$ коефіцієнт запасу.

Підставляємо дані у рівняння (3.7):

$$P_{\text{зат}} = \frac{3 \cdot 0,44}{0,2 \cdot 0,028 + 2 \cdot 0,2 \cdot \frac{0,059^3 - 0,056^3}{3 \cdot (0,059^2 - 0,056^2)}} + 73 + 222 = 370 \text{ Н}.$$

Перевіряємо умову затиску заготовки:

$$P_{\text{зат}} \leq W, \quad (3.9)$$

де W – сила на штоці пневмоциліндра, що збільшена за рахунок клинової передачі.

Із розрахункової схеми рис. 3.1, сила на штоці пневмоциліндра, що збільшена за рахунок клинової передачі:

$$W = \frac{F_1}{2\text{tg}(\beta + \varphi)} \cdot \eta, \quad (3.10)$$

де $\beta = 10^\circ$ кут клина.

φ – кут тертя $\varphi = 11^\circ$;

η – ККД, $\eta = 0,9$.

F_1 – сила, утворена тиском повітря у пневмоциліндрі.

Сила, утворена тиском повітря у пневмоциліндрі [15]:

$$F_1 = 0,785 \cdot (D_1^2 - d_1^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (3.11)$$

де $D_1 = 100$ мм діаметр циліндра;

$d_1 = 32$ мм діаметр штока.

Із формули (3.9) отримано:

$$F_1 = 0,785 \cdot (0,1^2 - 0,032^2) \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,9 = 2536 \text{ Н}.$$

Підставляємо дані у рівняння (3.10):

$$W = \frac{2536}{2\text{tg}(10 + 11)} \cdot 0,9 = 2973 \text{ Н}.$$

Перевіряємо виконання умови (3.9): $P_{\text{зат}} = 370 \text{ Н} < W = 2973 \text{ Н}$. Отже, заготовка деталі “Корпус” 954.147.055 буде надійно закріплено на 015 агрегатній операції.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1. Заходи щодо захисту від ураження електричним струмом на дільниці виготовлення деталі

Під час експлуатації технологічного обладнання на дільниці механічної обробки деталі одним із пріоритетних завдань системи охорони праці є забезпечення електробезпеки персоналу та запобігання ураженню працівників електричним струмом. Комплекс заходів із захисту від дії електричного струму розроблено відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ПБЕЕС) та вимог чинних нормативно-правових актів з електробезпеки.

Для зниження ризику ураження електричним струмом на дільниці, де це технічно можливо, застосовуються кола малої напруги та здійснюється розділення електричних мереж за рівнем напруги. Для живлення переносних світильників, місцевого освітлення та окремого електроінструменту використовуються безпечні напруги до 42 В, а в приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних приміщеннях – напруга 12 В або 36 В.

Використання електрообладнання з малою напругою суттєво зменшує величину струму, що може пройти через тіло людини в аварійних ситуаціях, і тим самим знижує ймовірність виникнення тяжких електротравм.

Для отримання малої напруги на дільниці застосовуються:

- автономні джерела живлення;
- понижувальні трансформатори;
- акумуляторні батареї;
- перетворювачі напруги з гальванічним розділенням обмоток.

Обмотки вторинного кола таких пристроїв мають надійну електричну ізоляцію від мережі високої напруги, що забезпечує додатковий рівень електробезпеки.

Важливим заходом захисту є постійний контроль стану ізоляції струмоведучих частин електроустановок. Пошкодження ізоляції може призвести до появи небезпечної напруги на металевих корпусах верстатів, трубопроводах, конструктивних елементах обладнання та інших струмопровідних частинах.

Для електрообладнання напругою до 1000 В опір ізоляції повинен відповідати вимогам нормативних документів і бути не меншим за встановлені допустимі значення. Періодично проводяться вимірювання опору ізоляції із застосуванням мегомметрів та оформленням відповідних протоколів перевірки.

На ділянці передбачено застосування захисного заземлення технологічного обладнання. Усі відкриті провідні металеві частини електроустановок, які в нормальному режимі роботи не перебувають під напругою, приєднані до заземлювального пристрою.

Принцип дії захисного заземлення полягає у зниженні напруги дотику до безпечного значення та створенні умов для спрацювання апаратів захисту при виникненні замикання на корпус.

Додатковим засобом захисту є система автоматичного захисного відключення, яка забезпечує швидке вимкнення електроустановки при:

- замиканні фази на корпус;
- пошкодженні ізоляції;
- появі струмів витоку;
- порушенні цілісності захисного провідника;
- виникненні аварійних режимів роботи.

Для цього застосовуються автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення (ПЗВ) та диференційні автомати, час спрацювання яких становить частки секунди. Швидкодія таких пристроїв значно знижує ризик ураження працівників електричним струмом.

Для запобігання випадковому контакту працівників зі струмоведучими частинами на ділянці використовуються:

- захисні огороження;

- блокувальні пристрої;
- ізолюючі кожухи;
- розміщення струмоведучих частин на недосяжній висоті;
- подвійна або посилена ізоляція.

Подвійна ізоляція передбачає наявність основної та додаткової ізоляції, що виключає появу небезпечної напруги на корпусі обладнання навіть у разі пошкодження основного ізоляційного шару. Такий принцип широко застосовується для ручного електроінструменту та переносних електричних машин.

Особлива увага приділяється захисту працівників від дії крокової напруги, яка може виникнути при замиканні електричного струму на землю або падінні проводу повітряної лінії електропередач.

У зоні розтікання струму потенціал поверхні землі нерівномірний і зменшується зі збільшенням відстані від місця замикання. У зв'язку з цим при потраплянні в небезпечну зону працівник повинен залишати її дрібними кроками або пересуватися приставним кроком, не відриваючи ступні від поверхні землі.

Система забезпечення електробезпеки на ділянці включає дві групи заходів:

- організаційні;
- технічні.

До організаційних заходів належать:

- професійний добір персоналу;
- попередні та періодичні медичні огляди;
- навчання та перевірка знань з питань електробезпеки;
- проведення інструктажів;
- присвоєння відповідної групи з електробезпеки;
- оформлення нарядів-допусків на виконання робіт в електроустановках.

До самостійного обслуговування електроустановок допускаються особи віком не менше 18 років, які пройшли навчання, медичний огляд, перевірку

знань та мають відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Роботи в електроустановках виконуються за нарядом-допуском або розпорядженням. Без оформлення наряду допускається лише виконання окремих оперативних перемикань оперативним персоналом з обов'язковим записом у відповідному журналі.

До технічних заходів електробезпеки належать:

- відключення обладнання від джерел живлення;
- вивішування заборонних і попереджувальних плакатів;
- встановлення тимчасових огорожень;
- перевірка відсутності напруги;
- накладання переносних заземлень;
- вжиття заходів щодо недопущення помилкового або самовільного подавання напруги на місце виконання робіт.

Застосування зазначених організаційних та технічних заходів забезпечує необхідний рівень електробезпеки на дільниці виготовлення деталі, мінімізує ризик виникнення електротравм і створює безпечні умови праці для виробничого персоналу.

4.2. Засоби інформативної сигналізації на виробництві

Однією з необхідних умов забезпечення безпечної та надійної експлуатації виробничого обладнання є застосування систем контролю параметрів технологічних процесів та засобів інформативної сигналізації. Для контролю режимів роботи машин і механізмів використовуються контрольно-вимірювальні прилади, призначені для вимірювання тиску, температури, рівня, швидкості, статичних і динамічних навантажень, концентрації пилу, парів і газів, а також інших параметрів виробничого середовища.

Ефективність функціонування контрольно-вимірювальних систем значно підвищується при їх інтеграції із засобами автоматичного контролю та сигналізації. Прикладом таких систем є газоаналізатори та газосигналізатори,

які автоматично подають сигнал при досягненні гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин у повітрі робочої зони.

Відповідно до функціонального призначення пристрої автоматичного контролю та сигналізації поділяються на:

- інформаційні;
- попереджувальні;
- аварійні.

За способом спрацьовування системи сигналізації можуть бути:

- автоматичними;
- напівавтоматичними.

За видом подання інформації розрізняють:

- звукову сигналізацію;
- світлову сигналізацію;
- кольорову сигналізацію;
- знакову сигналізацію;
- комбіновану сигналізацію.

За характером подачі сигналу сигналізація поділяється на:

- постійну;
- імпульсну (миготливу).

Інформативна сигналізація

Інформативна сигналізація призначена для передавання оперативної інформації працівникам, координації їхніх дій та забезпечення безпечного виконання виробничих операцій. Особливо широкого застосування вона набула на підприємствах із підвищеним рівнем шуму, де використання голосового зв'язку є утрудненим або неможливим.

Такі системи застосовуються для взаємодії:

- операторів технологічного обладнання;
- машиністів підіймально-транспортних механізмів;
- стропальників;
- ремонтного та оперативного персоналу.

До засобів інформативної сигналізації належать:

- світлові табло;
- електронні індикатори;
- інформаційні панелі;
- технологічні схеми;
- покажчики;
- інформаційні написи та маркування.

Написи та попереджувальна інформація розміщуються безпосередньо на обладнанні, пультах керування або в межах робочої зони, що дозволяє працівникам оперативно отримувати необхідну інформацію про режим роботи обладнання та його технічний стан.

Попереджувальна сигналізація

Попереджувальна сигналізація призначена для своєчасного інформування працівників про виникнення небезпечних або потенційно небезпечних ситуацій. Як правило, вона реалізується за допомогою світлових та звукових сигналів, які надходять від датчиків і приладів контролю технологічних параметрів.

Попереджувальна сигналізація використовується для повідомлення про:

- запуск або зупинку технологічного обладнання;
- подавання високої напруги;
- перевищення допустимих параметрів технологічного процесу;
- виникнення пожежі чи аварійної ситуації;
- досягнення небезпечних концентрацій газів, пилу або парів.

До засобів попереджувальної сигналізації належать такі плакати та написи:

- «Не вмикати! Працюють люди»;
- «Стій! Напруга»;
- «Не входити»;
- «Не відкривати – висока напруга»;
- «Стороннім вхід заборонено».

Для підвищення ефективності сприйняття інформації світлові показники часто виконуються у вигляді табло з миготливим підсвічуванням.

Сигнальне кольорове маркування

Одним із різновидів попереджувальної сигналізації є сигнальне кольорове маркування виробничого обладнання та небезпечних зон. Відповідно до вимог чинних стандартів безпеки праці травмонебезпечні елементи машин і механізмів виділяють чергуванням смуг жовтого та чорного кольорів, розташованих під кутом 45°.

На металорізальних верстатах червоним кольором позначають:

- внутрішні поверхні електротехнічних шаф;
- дверцята ніш електрообладнання;
- поверхні сходу стружки;
- органи аварійного відключення обладнання.

Сигнальні кольори використовуються також для позначення трубопроводів, евакуаційних шляхів, пожежного обладнання та зон підвищеної небезпеки.

Знаки безпеки

Відповідно до вимог чинних державних стандартів та нормативно-правових актів з охорони праці на виробництві застосовуються знаки безпеки, які поділяються на:

- заборонні;
- попереджувальні;
- наказові;
- вказівні.

Попереджувальні знаки виконуються у вигляді жовтого трикутника з чорною облямівкою та відповідним символом усередині. Наприклад:

- знак електричної небезпеки – зображення блискавки;
- небезпека падіння або ковзання – символ людини, що падає;
- інші види небезпеки – знак оклику.

Заборонні знаки мають форму кола червоного кольору з діагональною

смугою та відповідним графічним символом чорного кольору.

Наказові знаки виконуються у вигляді синього кола та містять інформацію про обов'язкові дії працівника, зокрема необхідність використання засобів індивідуального захисту.

Вказівні та евакуаційні знаки мають прямокутну або квадратну форму та використовуються для позначення:

- евакуаційних виходів;
- місць розташування засобів пожежогасіння;
- пунктів надання першої медичної допомоги;
- аварійних душів і фонтанчиків для промивання очей.

Таким чином, застосування засобів інформативної, попереджувальної та аварійної сигналізації, сигнального кольорового маркування і знаків безпеки є важливим елементом системи управління охороною праці та сприяє своєчасному попередженню працівників про небезпечні виробничі фактори, зменшенню ризику виникнення аварійних ситуацій і підвищенню загального рівня безпеки виробництва.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра визначено, що деталь «Корпус» 954.147.055 є складовим конструктивним елементом декількох конструкцій вибухозахищених світлодіодних промислових світильників, що використовуються для забезпечення загального освітлення у вибухонебезпечних зонах. Функціональне призначення деталі «Корпус» 954.147.055 полягає у забезпеченні точного взаємного розташування, фіксації та монтажної сумісності складових елементів світильника. Деталь виготовляється із сплаву АК12. Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» 954.147.055 відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Річна програма випуску деталей відповідає великосерійному типу виробництва. Для умов такого виробництва, на основі проведеного синтезу та порівняльного аналізу альтернативних маршрутів формоутворення поверхонь деталі, сформовано раціональний маршрут механічного оброблення деталі. У проєктному варіанті технологічного процесу передбачено заміну токарно-гвинторізних операцій 005–020, що виконувалися на універсальному устаткуванні, на токарну напівавтоматну операцію 005, що забезпечує підвищення та продуктивності оброблення.

Крім того, вертикально-свердлильні та різенарізні операції запропоновано реалізовувати на спеціалізованих агрегатних верстатах замість універсального обладнання, що дозволяє скоротити основний і допоміжний час. З метою інтенсифікації оброблення внутрішню різьбу M100×2–7H рекомендовано отримувати методом фрезерування гребінчастою фрезою замість традиційного нарізання різцем за п'ять проходів. Для виконання операцій свердління малих отворів із одночасним формуванням фасок доцільно застосовувати комбінований інструмент зі швидкорізальної сталі, який забезпечує суміщення декількох переходів в одній операції,

Зміни у базовому технологічному процесі дозволяють підвищити продуктивність праці та рівень автоматизації.

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.