

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення технологічного процесу механічного оброблення
фланця 54.7224 гвинтового конвеєра

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

(шифр і назва спеціальності)

Веремчук С.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дячун А.Є.
(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)

Тернопіль
2026

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

“Розроблення технологічного процесу механічного оброблення фланця 54.7224 гвинтового конвеєра ” студента групи МПс-41 Веремчук С.О. Керівник роботи - кандидат техн. наук, доцент Дячун А.Є.

Мета роботи - вдосконалення базового технологічного процесу механічного оброблення фланця 54.7224 для великосерійного типу виробництва.

У першій частині, застосовуючи базові критерії, проведено аналіз технологічності конструкції фланця. За переглянутими якісними і кількісними показниками деталь “Фланець” 54.7224 є технологічною. Вивчено креслення і технічні вимоги до деталі. Проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення фланця 55.408, що відповідає середньосерійному типу виробництва. Характерною ознакою такого типу виробництва є використання переважно універсального металорізального обладнання в поєднанні зі стандартним і спеціальним технологічним оснащенням, оснащеним механізованими приводами затискних елементів, що забезпечують підвищення продуктивності праці та стабільність технологічного процесу.

Для річної програми випуску 55000 шт., що відповідає великосерійному типу виробництва, у проєктному варіанті технологічного процесу передбачено зміни, спрямовані на підвищення продуктивності праці та автоматизації виробничих процесів.

У другій частині проведено порівняння способів виготовлення заготовок фланця. Застосування способу формування заготовки деталі “Фланець” 54.7224 литтям в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40Х на сталь 40ХЛ дозволяє забезпечити вищий коефіцієнт використання матеріалу ніж у вигляді штамповки закритої на кривошипному пресі в гарячому стані вільним куванням на молотах, тому для проектування технологічного процесу виготовлення деталі вибрано спосіб одержання заготовки лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40Х на сталь 40ХЛ. 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 одночасного свердління восьми отворів в деталі “Фланець” 54.7224 на 015 вертикально-свердлильній операції виконано проектування спеціального кондуктора та восьмишпіндельної свердлильної головки з метою забезпечення точності розташування отворів та підвищення продуктивності свердління отворів на вертикально-свердлильному верстаті.

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 Розрахунок кількості засобів пожежогасіння для розміщення на ділянці виготовлення деталі.....	
4.2 Спеціальне навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки.....	
Висновки.....	
Перелік посилань.....	
Додатки	

ВСТУП

У кваліфікаційній роботі проведено зміни умбазовому технологічному процесі механічного оброблення фланця 54.7224 для великосерійного типу виробництва. Деталь “Фланець” 54.7224 є складовою частиною гвинтового конвеєра, що використовується для транспортування сипких матеріалів у виробничих умовах фермерського господарства. Основним функціональним призначенням деталі “Фланець” 54.7224 є забезпечення кінематичного та силового з’єднання валів приводу для передачі крутного моменту між валами гвинтового конвеєра. Деталь виготовляється із сталі 40Х, також дозволяється виготовляти із сталі 40ХЛ.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі “Фланець” 54.7224 відповідає середньосерійному типу виробництва.

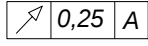
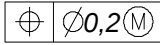
Річна програма випуску деталей відповідає великосерійному типу виробництва. Тому у проєктному варіанті технологічного процесу передбачено зміни, спрямовані на підвищення продуктивності праці: операції проточування зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізання торців, розточування отворів доцільно виконувати на вертикальному токарному багатошпиндельному напівавтоматі із багатоінструментальним налагодженням; свердління восьми отворів доцільно здійснювати одночасно на вертикально-свердлильному верстаті, оснащеного багатоінструментальними налагодженнями та багатошпиндельною свердлильною головкою; формування шпоночного паза доцільно виконувати методом протягування.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення деталі

Деталь “Фланець” 54.7224 є складовою частиною гвинтового конвеєра, що використовується для транспортування сипких матеріалів у виробничих умовах фермерського господарства.

Основним функціональним призначенням деталі “Фланець” 54.7224 є забезпечення кінематичного та силового з’єднання валів приводу для передачі крутного моменту між валами гвинтового конвеєра. Конструкція деталі входить до складу муфтового з’єднання та забезпечує передачу обертального руху від ведучого вала електродвигуна до веденого вала шнека. Крім основної функції передачі крутного моменту, фланець сприяє зниженню рівня динамічних навантажень і вібрацій, що виникають у процесі експлуатації гвинтового конвеєра, а також забезпечує компенсацію допустимих радіальних і осьових зміщень валів, які можуть виникати внаслідок похибок монтажу або деформацій елементів приводу.

До основних поверхонь деталі, за допомогою яких виконується кріплення деталей вузла гвинтового конвеєра належать: отвір центральний $\varnothing 42H9^{(+0,062)}$, Ra 2,5 для точного встановлення фланця на вал шнека із перехідною посадкою; шпонковий паз $12D10^{(-0,120}_{-0,050})$, Rz20 для встановлення шпонки, що з’єднує фланець із валом шнека і відповідно передає крутний момент від фланця до вала шнека; торцеві поверхні $12h14_{(-0,43)}$; Rz80, $64h14_{(-0,740)}$; Rz40 виконують функцію осьових баз і забезпечують коректне взаємне розташування деталей у вузлі під час складання; торець $4\pm 0,1$; Rz40 , циліндрична поверхня $\varnothing 77d11^{(-0,100}_{-0,290})$; Rz40 для забезпечення точного з’єднання фланця із фланцем, що встановлюється на валі електродвигуна на посадку із зазором; вісім отворів $\varnothing 10,2H14^{(+0,43)}$ $l=12$; Rz80; $\varnothing 104\pm 0,12$  Rz80 для встановлення гвинтів, за допомогою яких виконують з’єднання фланця із фланцем, що

встановлюється на валі електродвигуна і для передачі крутного моменту між фланцями, а відповідно і між валами електродвигуна та шнека.

Інші поверхні, зокрема внутрішні та зовнішні циліндричні поверхні, фаски визначають конфігурацію фланця та виконують допоміжні функції.

Деталь “Фланець” 54.7224 відповідно до вимог робочого креслення, потрібно виготовляти зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Аналогами є сплави 41CrS4 (Євросоюз), 5135, 5140Н (США), SGr440 (Японія). Застосування сталі 40Х для виготовлення фланця є доцільним, оскільки даний матеріал має достатню міцність, що більша ніж у сталі 45, зносостійкість та добру оброблюваність різанням. Крім того, сталь 40Х добре піддається термічному зміцненню, що дозволяє підвищити твердість і довговічність робочих поверхонь деталі.

У таблицях 1.1 та 1.2 наведено детальні відомості щодо хімічного складу сталі 40Х, а також результати механічних випробувань, які характеризують її міцність, твердість та інші фізико-механічні показники.

Таблиця 1.1. – Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806:2015, %

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

Таблиця 1.2. – Механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	ρ , г/см ³	КСУ, Дж/см ²	НВ, не більше
не менше						
785	980	10	45	7,85	59	217

При необхідності виготовляти заготовки фланця методом лиття можлива заміна матеріалу деталі із сталі 40Х на сталь 40ХЛ ДСТУ 8781-2018, властивості якої представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. – Механічні властивості сталі 40ХЛ ДСТУ 8781-2018

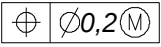
σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	ρ , г/см ³	КСУ, кДж/м ²	Категорія міцності
не менше						
491	638	12	25	7,85	392	КТ50

1.2. Аналіз технічних вимог деталі

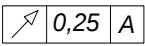
З метою модернізації базового технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» 54.7224 виконано аналіз технічних вимог до виробу, зокрема показників точності та параметрів якості поверхневого шару. На підставі дослідження вимог щодо допусків на розміри, геометричної точності та шорсткості кожній функціональній поверхні присвоєно умовний номер, а результати систематизовано та наведено в таблиці 1.4.

Проведений аналіз використано як вихідну інформаційну базу для обґрунтованого вибору раціональних методів механічного оброблення, встановлення послідовності виконання технологічних переходів, а також призначення технологічних баз, необхідних для забезпечення заданих показників точності та якості оброблених поверхонь.

Таблиця 1.4 – Технічні вимоги до поверхонь деталі “Фланець” 54.7224

Позначення поверхні (поверхонь)	Зміст технічної вимоги	Метод виконання	Метод контролю
1	2	3	4
1	Паз для шпонки $12D10_{(-0,050)}^{(-0,120)}$; $l=60$; $Rz20$; $44H11_{(+0,16)}^{(+0,16)}$; $Rz40$	Протягування	Калібр-пробка шпон- ковий
2	Фаска на циліндричній поверхні $1,5 \times 45^\circ$; $Rz80$	Проточування напівчистове	Кутомір
3...10	Вісім отворів $\varnothing 10,2H14_{(+0,43)}^{(+0,43)}$ $l=12$; $Rz80$; $\varnothing 104 \pm 0,12$ 	Свердління із застосуванням кондуктора	Калібр-пробка дво- сторонній двограничний ($\varnothing 10,2$) H14 Калібр розташування спеціальний ($\varnothing 104 \pm 0,12$)
11	Циліндрична поверхня $\varnothing 67h14_{(-0,740)}$; $Rz80$	Проточування напівчистове	Калібр-скоба ($\varnothing 67$) односторонній двограничний h14

Закінчення таблиці 1.4

1	2	3	4
12	Отвір $\varnothing 54H14^{(+0,740)}$; Rz80	Розточування напівчистове	Калібр-пробка($\varnothing 54$) односторонній однограничний НН Н14 ПН Н14
14	Отвір центральний $\varnothing 42H9^{(+0,062)}$; Ra2,5	Розточування чистове	Калібр-пробка($\varnothing 42$) двосторонній двограничний Н9 Взірці шорсткості
15	Радіусна поверхня спряження R8; Rz80	Проточування напівчистове	Радіусний шаблон
16	Циліндрична поверхня $\varnothing 77d11^{(-0,100}_{-0,290})}$; Rz40	Проточування напівчистове	Калібр-скоба ($\varnothing 77$) односторонній двограничний d11
17	Торець 12h14($_{-0,43}$); Rz80	Підрізання торця напівчистове	Калібр-скоба лінійний (12) h14
18, 19	Торець 64h14($_{-0,740}$); Rz40	Підрізання торця напівчистове	Калібр-скоба лінійний (64) h14
20	Торець 4 $\pm 0,1$; Rz40 	Підрізання торця напівчистове	Шаблон спеціальний (4 $\pm 0,1$) Індикатор годинникового типу
21	Фаска на отворі 1,5 $\times 45^\circ$; Rz80	Розточування напівчистове	Кутомір
22	Циліндрична поверхня $\varnothing 122h14^{(-1,0)}$; Rz80	Проточування напівчистове	Калібр-скоба ($\varnothing 122$) односторонній двограничний h14
23	Фаска на циліндричній поверхні 1 $\times 45^\circ$; Rz80	Проточування напівчистове	Кутомір

1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

З метою визначення технологічності деталі “Фланець” 54.7224 враховано річну програму випуску 55000 шт., що відповідає великосерійному типу виробництва. Конструкція деталі характеризується достатнім рівнем технологічності та не містить конструктивних елементів, які потребували б спрощення або модифікації при переході до іншого типу виробництва. Геометрична форма деталі є раціональною з точки зору виготовлення, що забезпечує можливість ефективної реалізації технологічного процесу механічної обробки.

Для виготовлення деталі передбачено використання легованої конструкційної сталі 40Х, яка забезпечує необхідний комплекс механічних властивостей, зносостійкість та міцність відповідно до умов експлуатації виробу. З метою підвищення економічної ефективності виробництва заготовку можна отримувати методом лиття із застосуванням литої сталі 40ХЛ. Такий спосіб одержання заготовки дозволяє знизити матеріаломісткість та трудомісткість подальшої механічної обробки.

Аналіз конструкції показує, що для виконання механічної обробки відсутня необхідність у створенні спеціальних або штучних технологічних баз. Як базові поверхні можуть бути використані зовнішні та внутрішні циліндричні поверхні, а також торцеві площини деталі, що сприяє забезпеченню необхідної точності взаємного розташування оброблюваних поверхонь.

Конструкція фланця не містить важкодоступних, тонкостінних, глибоких або інших складних для оброблення елементів, які потребували б застосування спеціальних методів формоутворення чи спеціальних різальних інструментів. Усі функціональні та допоміжні поверхні характеризуються доброю доступністю для виконання механічної обробки та проведення контрольно-вимірювальних операцій.

Для забезпечення точності оброблення поверхонь фланця на першій операції доцільно провести підрізання торцевих поверхонь 18, 19 та

розточування центрального отвору 14, що будуть серед основних технологічних баз на наступних операціях.

Для механічного оброблення торців, отворів, пазів фланця можливе застосування стандартних різальних інструментів: різців, свердел, протяжки тощо. Як основне технологічне обладнання доцільно використовувати токарні напівавтомати, свердлильні, протяжні верстати, застосовуючи принцип концентрації операцій для підвищення продуктивності оброблення в умовах великосерійного виробництва.

Отже, аналіз якісних характеристик показав, що деталь “Фланець” 54.7224 є технологічно в умовах великосерійного виробництва.

Додатково до якісного аналізу здійснено кількісну оцінку технологічності конструкції фланця із використанням основних показників: коефіцієнта точності, коефіцієнта шорсткості та коефіцієнта уніфікації. Розрахунки виконано із використанням даних табл. 1.3.

Коефіцієнт точності обробки:

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

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{9 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 14 \cdot 19}{22} = 13,45;$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{13,45} = 0,93.$$

При $K_{\text{т.ч.}} = 0,93 > 0,8$ деталь “Фланець” 54.7224 є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості:

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

$$B_{\text{cp}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{6 \cdot 1 + 4 \cdot 3 + 3 \cdot 18}{22} = 3,27,$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3,27} = 0,31.$$

При $K_{ш}=0,31 > 0,16$ деталь “Фланець” 54.7224 є технологічною.

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{у.е.} = \frac{N_{у.е.}}{N_e} = \frac{18}{22} = 0,82.$$

При $K_{у.е.}=0,82 > 0,6$ деталь “Фланець” 54.7224 є технологічною.

Таким чином, за кількісними показниками деталь “Фланець” 54.7224 є технологічною.

1.4. Аналіз базового технологічного процесу

Склад технологічного обладнання, що використовується під час реалізації базового технологічного процесу механічного оброблення фланця 54.7224 систематизовано та наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Технологічне обладнання базового технологічного процесу виготовлення фланця 54.7224

Операція	Технологічне обладнання	Технологічне оснащення
1	2	3
005 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2Н150	Пристосування із базуванням по торцю і зовнішній поверхні з ручним затиском
010 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2Н150	Пристосування із базуванням по торцю і зовнішній поверхні з ручним затиском
015 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20	Центр обертовий спеціальний Центр з рифленнями спеціальний
020 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20	Трьохкулачковий спірально-рейковий патрон
025 Горизонтально-протяжна	Горизонтально-протяжний верстат 7Б55	Планшайба з комплекту верстата

Закінчення таблиці 1.5

1	2	3
030 Горизонтально-протяжна	Горизонтально-протяжний верстат 7Б55	Планшайба з комплекту верстата Адаптер спеціальний
035 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20	Оправка спеціальна
040 Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний верстат 16К20	Оправка спеціальна
045 Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2Н150	Прийомник із базуванням по отвору і шпоночному пазу з ручним затиском

У результаті аналізу технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» 54.7224, що застосовується на базовому підприємстві, встановлено його відповідність умовам середньосерійного виробництва. Характерною ознакою такого типу виробництва є використання переважно універсального металорізального обладнання в поєднанні зі стандартним і спеціальним технологічним оснащенням, оснащеним механізованими приводами затискних елементів, що забезпечують підвищення продуктивності праці та стабільність технологічного процесу. Механічне оброблення поверхонь деталі здійснюється із застосуванням універсальних стандартних різальних інструментів, зокрема токарних різців, свердел, протяжок та інших.

1.5. Висновки та завдання на кваліфікаційну роботу

У першій частині здійснено аналіз технічних вимог поверхонь деталі «Фланець» 54.7224, що є складовою частиною гвинтового конвеєра, який використовується для транспортування сипких матеріалів у виробничих умовах фермерського господарства. Основним функціональним призначенням деталі «Фланець» 54.7224 є забезпечення кінематичного та силового з'єднання валів приводу для передачі крутного моменту між валами гвинтового конвеєра.

Аналіз якісних та кількісних характеристик поверхонь показав, що деталь

“Фланець” 54.7224 є технологічно в умовах великосерійного типу виробництва.

Для виготовлення деталі передбачено використання легованої конструкційної сталі 40Х, яка забезпечує необхідний комплекс механічних властивостей, зносостійкість та міцність відповідно до умов експлуатації виробу. З метою підвищення економічної ефективності виробництва заготовку можна отримувати методом лиття із застосуванням литої сталі 40ХЛ.

Для забезпечення точності оброблення поверхонь фланця на першій операції доцільно провести підрізання торцевих поверхонь 18, 19 та розточування центрального отвору 14, що будуть серед основних технологічних баз на наступних операціях.

Для механічного оброблення торців, отворів, пазів фланця можливе застосування стандартних різальних інструментів: різців, свердел, протяжки тощо. Як основне технологічне обладнання доцільно використовувати токарні напівавтомати, свердлильні, протяжні верстати, застосовуючи принцип концентрації операцій для підвищення продуктивності оброблення в умовах великосерійного виробництва.

У результаті аналізу технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» 54.7224, що застосовується на базовому підприємстві, встановлено його відповідність умовам середньосерійного виробництва. Характерною ознакою такого типу виробництва є використання переважно універсального металорізального обладнання в поєднанні зі стандартним і спеціальним технологічним оснащенням, оснащеним механізованими приводами затискних елементів, що забезпечують підвищення продуктивності праці та стабільність технологічного процесу.

Річна програма випуску фланців, що становить 55000 шт. відповідно до завдання, відповідає великосерійному типу виробництва. У зв'язку з цим під час розроблення проектного технологічного процесу доцільно передбачити такі удосконалення:

- операції проточування зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізання торців, розточування отворів доцільно виконувати на вертикальному токарному

багатошпиндельному напівавтоматі із багатоінструментальним налагодженням;

- свердління восьми отворів доцільно здійснювати одночасно на вертикально-свердлильному верстаті, оснащеного багатоінструментальними налагодженнями та багатошпиндельною свердлильною головкою;

- формування шпоночного паза доцільно виконувати методом протягування.

Запропоновані зміни у базовому технологічному процесі спрямовані на підвищення продуктивності виготовлення деталі «Фланець» 54.7224 в умовах великосерійного типу виробництва.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Визначення типу виробництва

Тип виробництва для виготовлення деталі «Фланець» 54.7224 визначено на підставі річної програми випуску, яка становить 55000 шт., та маси готової деталі $m = 1,48$ кг. Відповідно до нормативних рекомендацій і результатів класифікації за табличним методом, задані виробничі параметри відповідають великосерійному типу виробництва.

Для підтвердження отриманого результату додатково виконано розрахунок типу виробництва на основі визначення коефіцієнта закріплення операцій.

Перелік операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець» 54.7224 систематизовано та наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець” 54.7224

Операція	Т шт.	Операція	Т шт.
005 Вертикально-свердлильна	1,9 хв.	030 Горизонтально-протяжна	0,98 хв.
010 Вертикально-свердлильна	2,1 хв.	035 Токарно-гвинторізна	7,0 хв.
015 Токарно-гвинторізна	1,5 хв.	040 Токарно-гвинторізна	5,0 хв.
020 Токарно-гвинторізна	1,75 хв.	045 Вертикально-свердлильна	0,72 хв.
025 Горизонтально-протяжна	0,55 хв.		

Кількості верстатів, що використовуються для кожної операції [1]:

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

де F_d – час роботи обладнання, $F_d = 3979$ год;

$$\eta_{зн.} = 0,75.$$

$$m_{p005} = \frac{55000 \cdot 1,9}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,58. P_{005} = 1 \text{ верстат.}$$

$$m_{p010} = \frac{55000 \cdot 2,1}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,65. P_{010} = 1 \text{ верстат.}$$

$$m_{p015} = \frac{55000 \cdot 1,5}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,46. P_{015} = 1 \text{ верстат.}$$

$$m_{p020} = \frac{55000 \cdot 1,75}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,54. P_{020} = 1 \text{ верстат.}$$

$$m_{p025} = \frac{55000 \cdot 0,55}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,17. P_{025} = 1 \text{ верстат.}$$

$$m_{p030} = \frac{55000 \cdot 0,98}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,3. P_{030} = 1 \text{ верстат.}$$

$$m_{p035} = \frac{55000 \cdot 7,0}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 2,15. P_{035} = 3 \text{ верстат.}$$

$$m_{p040} = \frac{55000 \cdot 5,0}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 1,54. P_{040} = 2 \text{ верстат.}$$

$$m_{p045} = \frac{55000 \cdot 0,72}{60 \cdot 3979 \cdot 0,75} = 0,22. P_{045} = 1 \text{ верстат.}$$

Фактичні коефіцієнти завантаження обладнання [1]:

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

$$\eta_{з.ф.005} = \frac{0,58}{1} = 0,58.$$

$$\eta_{з.ф.010} = \frac{0,65}{1} = 0,65.$$

$$\eta_{з.ф.015} = \frac{0,46}{1} = 0,46.$$

$$\eta_{з.ф.020} = \frac{0,54}{1} = 0,54.$$

$$\eta_{з.ф.025} = \frac{0,17}{1} = 0,17.$$

$$\eta_{3.ф.030} = \frac{0,3}{1} = 0,3.$$

$$\eta_{3.ф.035} = \frac{2,15}{3} = 0,72.$$

$$\eta_{3.ф.040} = \frac{1,54}{2} = 0,77.$$

$$\eta_{3.ф.045} = \frac{0,22}{1} = 0,22.$$

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

$$O = \frac{\eta_{3.н.}}{\eta_{3.ф.}}, \quad (2.3)$$

$$O_{005} = \frac{0,75}{0,58} = 1,3. \quad O_{005} = 2 \text{ операції.}$$

$$O_{010} = \frac{0,75}{0,65} = 1,15. \quad O_{010} = 2 \text{ операції.}$$

$$O_{015} = \frac{0,75}{0,46} = 1,63. \quad O_{015} = 2 \text{ операції.}$$

$$O_{020} = \frac{0,75}{0,54} = 1,4. \quad O_{020} = 2 \text{ операції.}$$

$$O_{025} = \frac{0,75}{0,17} = 4,4. \quad O_{025} = 5 \text{ операцій.}$$

$$O_{030} = \frac{0,75}{0,3} = 2,5. \quad O_{030} = 3 \text{ операції.}$$

$$O_{035} = \frac{0,75}{0,72} = 1,04. \quad O_{035} = 2 \text{ операції.}$$

$$O_{040} = \frac{0,75}{0,77} = 0,97. \quad O_{040} = 1 \text{ операція.}$$

$$O_{045} = \frac{0,75}{0,22} = 3,4. \quad O_{045} = 4 \text{ операції.}$$

Коефіцієнт закріплення операцій [1]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{2+2+2+2+5+3+2+1+4}{1+1+1+1+1+1+3+2+1} = \frac{23}{12} = 1,9.$$

Для $K_{з.о.} = 1,9$ тип виробництва великосерійний.

Визначаємо період виготовлення деталей [1]:

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

$$t_b = \frac{60 \cdot 3979}{55000} = 4,3 \text{ хв.}$$

2.2. Вибір способу одержання заготовки

Матеріал деталі «Фланець» 54.7224 сталь 40Х добре піддається пластичній деформації в гарячому та холодному статі, тому для виготовлення заготовок фланця можна використовувати методи об'ємного пластичного деформування. А при заміні матеріалу деталі зі сталі 40Х на сталь 40ХЛ заготовки можна виготовляти методами литва

Вибір раціонального способу виготовлення заготовки фланця із двох запропонованих варіантів виконано за коефіцієнтом використання матеріалу. При цьому розглянуто такі методи виготовлення заготовки:

1. Штамповка закрита на кривошипному пресі в гарячому стані;
2. Лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40Х на сталь 40ХЛ.

Клас точності штамповки на кривошипному пресі – ТЗ; група сталі – М2. Ступінь складності штамповки [4]:

$$C = \frac{m_{ш}}{m_{\phi}}, \quad (2.5)$$

Приблизна маса штамповки [4]:

$$m_{ш} = m_d \cdot K_p, \quad (2.6)$$

де $\kappa_p = 1,6$ – коефіцієнт наближення.

$m_d = 1,48$ кг – маса фланця на кресленні.

Підставляємо дані у рівняння (2.6):

$$m_{ш} = m_d \cdot \kappa_p = 1,48 \cdot 1,6 = 2,368 \text{ кг}.$$

Визначаємо об'єм описаної фігури навколо деталі [4]:

$$Q = V_{\phi} \cdot \rho, \quad (2.7)$$

де V_{ϕ} – об'єм фігури;

ρ – густина сталі 40Х, $\rho = 7,85$ г/см³.

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot H}{4}, \quad (2.8)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 122^2 \cdot 64}{4} = 748\,151,44 \text{ мм}^3 \approx 748,15 \text{ см}^3.$$

$$m_{\phi} = 748,15 \cdot 7,85 = 5\,872,9 \text{ г} = 5,873 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт групи складності штамповки:

$$C = \frac{2,368}{5,873} = 0,40.$$

Коефіцієнт $C = 0,4$ штамповки відповідає другому ступеню складності С2.

Визначаємо вихідний індекс заготовки – 10.

Для литва в кокіль характерні 7-й клас точності розмірів і 2-й ряд припусків.

Виконано проектування заготовок для вказаних способів формування із визначенням припусків для поверхонь із механічним обробленням. Значення загальних припусків деталі «Фланець» 54.7224 представлено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення загальних припусків деталі “Фланець” 54.7224

Оброблювана поверхня, її розмір, точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
Штамповка закрыта на кривошипному пресі в гарячому стані				
Торець 64h14 _(-0,740)	Rz40	1,4	1,6 × 2 = 3,2	67,2 ^{+1,0} _{-0,4}
Торець 12h14 _(-0,43)	Rz80	1,2	1,1	13,1 ^{+0,8} _{-0,4}
Циліндрична поверхня Ø122h14 _(-1,0)	Rz80	1,8	1,3 × 2 = 2,6	Ø124,6 ^{+1,2} _{-0,6}
Циліндрична поверхня Ø67h14 _(-0,740)	Rz80	1,4	1,2 × 2 = 2,4	Ø69,4 ^{+1,0} _{-0,4}
Радіусна поверхня спряження R8	Rz80	1,2	1,1	9,1 ^{+0,8} _{-0,4}
2) Лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40X на сталь 40ХЛІ				
Торець 64h14 _(-0,740)	Rz40	0,9	1,4 × 2 = 2,8	66,8±0,45
Торець 12h14 _(-0,43)	Rz80	0,6	1,3	13,3±0,3
Циліндрична поверхня Ø122h14 _(-1,0)	Rz80	1,1	1,6 × 2 = 3,2	Ø125,2±0,55
Циліндрична поверхня Ø67h14 _(-0,740)	Rz80	1,0	1,6 × 2 = 3,2	Ø70,2±0,5
Отвір центральний Ø42H9 ^(+0,062)	Ra2,5	0,8	2,0 × 2 = 4,0	Ø38±0,4
Радіусна поверхня спряження R8	Rz80	0,6	1,3	9,3±0,3

Ескізи запропонованих варіантів заготовок зображено на рис. 2.1 (штамповка закрыта на кривошипному пресі в гарячому стані) та на рис. 2.2 (лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40X на сталь 40ХЛІ).

Визначаємо масу заготовки:

$$Q = V_3 \cdot \rho, \quad (2.9)$$

де V_3 – об’єми заготовки;

ρ – густина сталі 45, $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$.

Об'єм заготовки для штамповки закритої на кривошипному пресі в гарячому стані (2.8):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 69,4^2 \cdot 48,5}{4} = 183\,463,87 \text{ мм}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 124,6^2 \cdot 18,7}{4} = 228\,017,18 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{зар1}} = \Sigma V_i = 183463,87 + 228017,18 = 411\,481,05 \text{ мм}^3 = 411,48 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу заготовки для штамповки закритої на кривошипному пресі в гарячому стані (2.9):

$$Q_1 = 411,48 \cdot 7,85 = 3\,230,12 \text{ г} \approx 3,230 \text{ кг}.$$

Визначаємо об'єм заготовки для лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40Х на сталь 40ХЛ (2.8):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot 70,2^2 \cdot 48,1}{4} = 186\,169,77 \text{ мм}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi \cdot 125,2^2 \cdot 18,7}{4} = 230\,218,46 \text{ мм}^3.$$

$$V_3 = \frac{\pi \cdot 38^2 \cdot 66,8}{4} = 75\,758,87 \text{ мм}^3.$$

$$V_{\text{зар1}} = \Sigma V_i = 186169,77 + 230218,46 - 75758,87 = 340\,629,36 \text{ мм}^3 = 340,63 \text{ см}^3.$$

Визначаємо масу заготовки для лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40Х на сталь 40ХЛ (2.5):

$$Q_2 = 340,63 \cdot 7,85 = 2\,673,95 \text{ г} = 2,674 \text{ кг}.$$

Розраховуємо коефіцієнт використання матеріалу для двох заготовок:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q}. \quad (2.10)$$

- для штамповки закритої на кривошипному пресі в гарячому стані

$$K_{\text{в.м.1}} = \frac{1,48}{3,23} = 0,46.$$

- для лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40X на сталь 40ХЛ

$$K_{\text{в.м.2}} = \frac{1,48}{2,674} = 0,55.$$

Отже, застосування способу формування заготовки деталі “Фланець” 54.7224 литтям в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40X на сталь 40ХЛ дозволяє забезпечити вищий коефіцієнт використання матеріалу ніж у вигляді штамповки закритої на кривошипному пресі в гарячому стані вільним куванням на молотах, тому для проектування технологічного процесу виготовлення деталі вибрано спосіб одержання заготовки лиття в кокіль при заміні матеріалу деталі зі сталі 40X на сталь 40ХЛ.

2.3. Вибір технологічних баз

Для виконання технологічного процесу механічного оброблення деталі “Фланець” 54.7224 застосовано чорнові та чистові базові поверхні. Для забезпечення точності оброблення поверхонь фланця на першій операції доцільно провести підрізання торцевих поверхонь 18, 19 та розточування центрального отвору 14, що будуть серед основних технологічних баз на наступних операціях.

Схематичне зображення способів базування деталі “Фланець” 54.7224 відображено у таблиці 2.3.

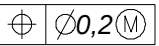
На першій операції для базуванням деталі використовуються торці і зовнішні циліндричні поверхні. На другій операції для базування використовується центральний отвір. На третій операції для базування використовується центральний отвір та шпоночний паз.

2.4. Проектування технологічного маршруту механічного оброблення деталі

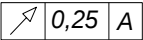
При технологічному проектуванні процесу механічного оброблення деталі «Фланець» 54.7224 було проаналізовано два альтернативні варіанти забезпечення заданих параметрів точності та якості оброблюваних поверхонь. На основі порівняльного аналізу та синтезу різних технологічних рішень сформовано раціональну операційну структуру технологічного процесу виготовлення деталі, що відповідає великосерійному типу виробництва із використанням напівавтоматизованого обладнання, зокрема токарного вертикального напівавтомата, протяжного верстата та багатоінструментальних наладок.

Варіанти механічного оброблення для досягнення необхідних показників точності поверхонь деталі «Фланець» 54.7224 представлено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Маршрути оброблення поверхонь деталі «Фланець» 54.7224

№ 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	Паз для шпонки 12D10 ^(-0,120 -0,050) ; l=60; Rz20; 44H11 ^(+0,16) ; Rz40	10	Rz20	Протягування	
2	Фаска на циліндричній поверхні 1,5×45°; Rz80	IT14/2	Rz80	Проточування чорнове	
3... 10	Вісім отворів Ø10,2H14 ^(+0,43) l=12; Rz80; Ø104±0,12 	14	Rz80	Свердління із застосуванням кондуктора одночасне	Свердління із застосуванням кондуктора послідовне
11	Циліндрична поверхня Ø67h14 ^(-0,740) ; Rz80	14	Rz80	Проточування чорнове	

Закінчення таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
12	Отвір $\varnothing 54H14(^{+0,740})$; Rz80	14	Rz80	Розточування напівчистове	
14	Отвір центральный $\varnothing 42H9(^{+0,062})$; Ra2,5	9	Ra2,5	Розсвердлювання Розточування напівчистове Розточування чистове	Зенкерування чорнове Зенкерування напівчистове Розточування чистове
15	Радіусна поверхня спряження R8; Rz80	IT14/2	Rz80	Проточування чорнове	
16	Циліндрична поверхня $\varnothing 77d11(^{-0,100}_{-0,290})$; Rz40	11	Rz40	Проточування чорнове Проточування напівчистове із поздовжньою подачею	
17	Торець $12h14(^{-0,43})$; Rz80		Rz80	Проточування напівчистове	
18, 19	Торець $64h14(^{-0,740})$; Rz40	14	Rz40	Підрізання торця чорнове Підрізання торця напівчистове із поперечною подачею	
20	Торець $4\pm 0,1$; Rz40 	IT14/2	Rz40	Підрізання торця чорнове Підрізання торця напівчистове із поперечною подачею	
21	Фаска на отворі $1,5\times 45^\circ$; Rz80	IT14/2	Rz80	Зенкування	Розточування
22	Циліндрична поверхня $\varnothing 122h14(^{-1,0})$; Rz80	14	Rz80	Проточування напівчистове	
23	Фаска на циліндричній поверхні $1\times 45^\circ$; Rz80	IT14/2	Rz80	Проточування напівчистове	

Для умов великосерійного типу виробництва на основі даних таблиці 2.4 сформовано остаточний маршрут механічного оброблення. Запропоновано операції проточування зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізання торців, розточування отворів виконувати на вертикальному токарному багатошпиндельному напівавтоматі із багатоінструментальним налагодженням; свердління восьми отворів здійснювати одночасно на вертикально-свердлильному верстаті, оснащеного багатоінструментальними налагодженнями та багатошпиндельною свердлильною головкою; формування шпоночного паза виконувати методом протягування.

005. Токарна напівавтоматна.

Позиція II. Підрізання попереднє торців 19, 20 та попереднє проточування поверхні 16, розточування попереднє отвору 12 у розміри $64_{-0,74}$; $4 \pm 0,15$; $\varnothing 79_{-1,2}$; $\varnothing 53,5^{+1,2}$ з універсального супорта одночасне.

Позиція III. Підрізання попереднє торця 18, проточування фаски 2 у розміри $65,9_{-1,2}$; $3,7 \times 45^\circ$ з вертикального супорта одночасне.

Позиція IV. Підрізання остаточне торців 19, 20 та попереднє проточування поверхні 16, розточування остаточне отвору 12 у розміри $64_{-0,74}$; $4 \pm 0,1$; $\varnothing 77,5_{-1,2}$; $\varnothing 54^{+0,74}$ з універсального супорта одночасне.

Позиція V. Підрізання остаточне торця 18, проточування поверхонь 17, 15 у розміри $65,4_{-0,74}$; $15,9_{-0,36}$; R8 з універсального супорта одночасне.

Позиція VI. Розточування попереднє отвору 14, проточування остаточне поверхні 16, проточування поверхні 22, проточування фаски 23 у розміри $\varnothing 41,75^{+0,16}$; $\varnothing 67_{-0,74}$; $\varnothing 77d11_{(-0,290)}^{(-0,100)}$; $4 \pm 0,1$; $\varnothing 122_{-1,0}$; $12_{-0,43}$; $1,6 \times 45^\circ$ з вертикального супорта одночасне.

Позиція VII. Розсвердлювання отвору 14, зенкування фаски 21, проточування зовнішньої циліндричної поверхні 11 у розміри $\varnothing 39,5^{+0,62}$; $2,85 \times 45^\circ$; $\varnothing 67_{-0,74}$ з вертикального супорта одночасне.

Позиція VIII. Розточування остаточне отвору 14 у розмір $\varnothing 42^{+0,062}$ з вертикального супорта.

Перевірити розміри. Контроль 30%.

010 Горизонтально-протяжна.

Протягування шпонкового паза 1 витримуючи у розміри $12D10_{-0,050}^{-0,120}$;
 $l=60$; $44H11_{+0,16}^{+0,16}$.

015 Вертикально-свердлильна.

Свердління восьми отворів 3...10 у розміри $\varnothing 10,2H14_{+0,43}^{+0,43}$; $\varnothing 104 \pm 0,12$;
 $l=12$; $\begin{matrix} \oplus \\ \varnothing 0,2 \end{matrix} \textcircled{M}$ одночасне.

020. Контроль.

2.5. Визначення припусків на оброблення

Визначення припусків механічного оброблення деталі “Фланець” 54.7224 у технологічному процесі виконано табличним та розрахунковим методами із виведенням остаточних результатів у вигляді таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Припуски на оброблення поверхонь деталі “Фланець” 54.7224

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 $64h14_{-0,740}^{-0,740}$; $Rz40$					
Напівчистове підрізання	14	$Rz40$	0,74	$0,5 \times 2 = 1,0$	$64_{-0,74}$
Чорнове підрізання	15	$Rz80$	1,2	$0,9 \times 2 = 1,8$	$65_{-1,2}$
Заготовка	7-мий кл.	$Rz200$	0,9	$1,4 \times 2 = 2,8$	$66,8 \pm 0,45$
Торець $4 \pm 0,1$; $Rz40$ $\begin{matrix} \nearrow \\ 0,25 \end{matrix} A$					
Напівчистове проточування	14	$Rz40$	0,2	0,5	$4 \pm 0,1$
Чорнове проточування	15	$Rz80$	0,3	3,5	$3,5 \pm 0,15$

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
Заготовка	7-мий кл.	R _z 200	1,0	4,0	—
Торець 12h14 _(-0,43) ; R _z 80					
Чорнове проточування	14	R _z 80	0,43	1,3	12 _{-0,43}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 200	0,6	—	13,3±0,3
Циліндрична поверхня Ø77d11 _(-0,100/-0,290) ; R _z 40					
Напівчистове проточування із поздовжньою подачею	11	R _z 40	0,39	0,25×2=0,5	Ø77 _{-0,100/-0,290}
Чорнове проточування із поперечною подачею	15	R _z 80	1,2	0.75×2 = 1.5	Ø77,5 _{-1,2}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 200	1,2	1,0 × 2 = 2,0	Ø79 _{-1,2}
Циліндрична поверхня Ø122h14 _(-1,0) ; R _z 80					
Чорнове проточування із поздовжньою подачею	14	R _z 80	1,0	1,6 × 2 = 3,2	Ø122 _{-1,0}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 200	1,1	—	Ø125,2±0,55
Отвір Ø54H14 _(+0,740) ; R _z 80					
Напівчистове проточування із поперечною подачею	14	R _z 80	0,74	0,25×2=0,5	Ø54 _{+0,740}
Чорнове проточування із поперечною подачею	15	R _z 80	1,2	0.75×2 = 1.5	Ø53,5 _{+1,2}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 200	0,8	1,0 × 2 = 2,0	Ø52 _{+1,2} Ø38±0,4
Циліндрична поверхня Ø67h14 _(-0,740) ; R _z 80					
Чорнове проточування із поздовжньою подачею	14	R _z 80	0,74	1,6 × 2 = 3,2	Ø67 _{-0,740}
Заготовка	7-мий кл.	R _z 200	1,0	—	Ø70,2±0,5

Габаритні розміри заготовки: $66,8 \pm 0,45 \times \varnothing 125,2 \pm 0,55$.

2.6. Розрахунок і вибір режимів оброблення та технічних норм часу

Режими різання визначено на основі табличних даних довідників, а для 005 токарної напівавтоматної операції оброблення деталі “Фланець” 54.7224 визначення режимів різання проведено розрахунковим методом.

005 Токарна напівавтоматна

1. Глибини різання для кожного інструменту:

Позиція II: $t_{II1} = 2$ мм.; $t_{II2} = 0,9$ мм. ; $t_{II3} = 4,5$ мм.

Позиція III: $t_{III1} = 0,9$ мм.; $t_{III2} = 3,7$ мм.

Позиція IV: $t_{IV1} = 0,5$ мм.; $t_{IV2} = 0,5$ мм.; $t_{IV3} = 4$ мм.;

Позиція V: $t_{V1} = 1,3$ мм.; $t_{V2} = 0,5$ мм.

Позиція VI: $t_{VI1} = 1,125$ мм.; $t_{VI2} = 0,5$ мм.; $t_{VI3} = 1,6$ мм.; $t_{VI4} = 1,6$ мм.

Позиція VII: $t_{VII1} = 0,625$ мм.; $t_{VII2} = 1,6$ мм.

Позиція VIII: $t_{VIII1} = 0,125$ мм.

2. Довжини робочих ходів супортів [14]:

$$L_{p.x.} = l_{різ.} + l_{підв.} + l_{вріз.} + l_{перебігу} + l_{дод.} \quad (2.11)$$

Позиція II:

для різця 1:

$l_{різ.} = 23,1$ мм;

$l_{вріз.} = 3,9$ мм [14], $l_{підв.} = 2$ мм [14]; $l_{дод.} = 0$.

$L_{p.x. II_1} = 23,1 + 3,9 + 2 = 29$ мм.

для різця 2:

$l_{різ.} = 12,75$ мм;

$l_{вріз.} = 2$ мм; $l_{підв.} = 2$ мм; $l_{перебігу} = 1$ [14]; $l_{дод.} = 8,35$.

$L_{p.x. II_2} = 12,75 + 2 + 2 + 1 + 8,35 = 26,1$ мм.

для різця 3:

$$l_{\text{різ.}} = 6,75 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз}} = 4 \text{ мм}; l_{\text{підв}} = 2 \text{ мм}; l_{\text{дод.}} = 12,35 [14].$$

$$L_{\text{р.х.ІІ}_3} = 6,75 + 4 + 2 + 12,35 = 25,1 \text{ мм.}$$

Позиція ІІІ:

для різця 1:

$$l_{\text{різ.}} = 0,9 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз}} = 0,5 \text{ мм} [14], l_{\text{підв}} = 2 \text{ мм} [40]; l_{\text{дод.}} = 0.$$

$$L_{\text{р.х.ІІІ}_1} = 0,9 + 0,5 + 2 = 3,4 \text{ мм.}$$

для різця 2:

$$l_{\text{різ.}} = 3,7 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз}} = 3 \text{ мм}; [14]; l_{\text{підв}} = 2 \text{ мм}; l_{\text{дод.}} = 0.$$

$$L_{\text{р.х.ІІІ}_2} = 3,7 + 3 + 2 = 8,7 \text{ мм.}$$

Позиція ІV:

для різця 1:

$$l_{\text{різ.}} = 23,85 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз}} = 0,5 \text{ мм} [14], l_{\text{підв}} = 1,5 \text{ мм} [14]; l_{\text{дод.}} = 0.$$

$$L_{\text{р.х.ІV}_1} = 23,85 + 1,15 + 2 = 27 \text{ мм.}$$

для різця 2:

$$l_{\text{різ.}} = 11,75 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз.}} = 0,5 \text{ мм.} [14]; l_{\text{підв}} = 2 \text{ мм} [14]; l_{\text{дод.}} = 10,35.$$

$$L_{\text{р.х.ІV}_2} = 11,75 + 0,5 + 2 + 10,35 = 24,6 \text{ мм.}$$

для різця 3:

$$l_{\text{різ.}} = 7 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз,підв}} = 6 \text{ мм}; l_{\text{дод.}} = 12,85. [14];$$

$$L_{\text{р.х.ІV}_3} = 7 + 6 + 12,85 = 25,85 \text{ мм.}$$

Позиція V:

для різця 1:

$$l_{\text{різ.}} = 29 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз.,підв.}} = 4 \text{ мм} [14]; l_{\text{дод.}} = 0.$$

$$L_{p.x.V_1} = 29 + 4 = 33 \text{ мм.}$$

для різця 2:

$$l_{різ.} = 12,72 \text{ мм;}$$

$$l_{вріз,підв} = 3 \text{ мм. [14]; } l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.V_2} = 12,72 + 3 = 15,72 \text{ мм.}$$

Позиція VI:

для різця 1:

$$l_{різ.} = 56,355 \text{ мм;}$$

$$l_{вріз} = 0,855 \text{ мм; } l_{підв} = 2 \text{ мм; } l_{перебігу} = 2,5 [14]; l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.VI_1} = 56,335 + 0,855 + 2 + 2,5 = 62 \text{ мм.}$$

для різця 2:

$$l_{різ.} = 0,9 \text{ мм;}$$

$$l_{вріз} = 0,5 \text{ мм; } l_{підв} = 2 \text{ мм; [14]; } l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.VI_2} = 0,9 + 0,5 + 2 = 2,4 \text{ мм.}$$

для різця 3:

$$l_{різ.} = 10 \text{ мм;}$$

$$l_{вріз} = 1,6 \text{ мм; } l_{підв} = 2 \text{ мм; } l_{перебігу} = 1,0 [14]; l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.VI_3} = 10 + 1,6 + 2 + 1 = 14,6 \text{ мм.}$$

для різця 4:

$$l_{різ.} = 1,6 \text{ мм;}$$

$$l_{вріз} = 1,6 \text{ мм; } l_{підв} = 2 \text{ мм; [14]; } l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.VI_4} = 1,6 + 1,6 + 2 = 4,2 \text{ мм.}$$

Позиція VII:

для свердла 1:

$$l_{різ.} = 63,4 \text{ мм;}$$

$$l_{вріз.,підв.,перебігу} = 14 \text{ мм [14]; } l_{дод.} = 0.$$

$$L_{p.x.VII_1} = 63,4 + 14 = 77,4 \text{ мм.}$$

для різця 2:

$$l_{різ.} = 37,9 \text{ мм;}$$

$$l_{\text{вріз,підв}} = 2,6 \text{ мм}; l_{\text{дод.}} = 0. [14];$$

$$L_{\text{р.х. VII}_2} = 37,9 + 2,6 = 40,5 \text{ мм.}$$

Позиція VIII:

$$l_{\text{різ.}} = 56,355 \text{ мм};$$

$$l_{\text{вріз}} = 0,855 \text{ мм}; l_{\text{підв}} = 2 \text{ мм}; l_{\text{перебігу}} = 2,5 [14]; l_{\text{дод.}} = 0.$$

$$L_{\text{р.х. VIII}} = 56,335 + 0,125 + 2 + 2,54 = 62 \text{ мм.}$$

Найбільше значення робочого ходу супорта: сьома позиція для свердла
 $L_{\text{р.х. IV}} = 77,4 \text{ мм.}$

3. Визначаємо подачу та вибір зубчастих коліс залежно від сумарної глибини різання:

$$\text{Позиція II: } \Sigma t_{\text{II}} = 7,4 \text{ мм.}; S_{\text{oII}} = 0,45 \cdot \kappa_S = 0,45 \cdot 0,75 = 0,34 \text{ мм/об [14].}$$

де $\kappa_S = 0,75$ для сталі 40ХЛ.

$$\text{За паспортом верстата: } S_{\text{oIIп}} = 0,34 \text{ мм/об.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 56; c = 40.$$

$$\text{Позиція III: } \Sigma t_{\text{III}} = 4,6 \text{ мм.}; S_{\text{oIII}} = 0,6 \cdot \kappa_S = 0,6 \cdot 0,75 = 0,45 \text{ мм/об [14].}$$

$$\text{За паспортом верстата: } S_{\text{oIIIп}} = 0,44 \text{ мм/об.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 62; c = 34.$$

$$\text{Позиція IV: } \Sigma t_{\text{IV}} = 5 \text{ мм.}; S_{\text{oIV}} = 0,6 \cdot \kappa_S = 0,6 \cdot 0,75 = 0,45 \text{ мм/об [14].}$$

$$\text{За паспортом верстата: } S_{\text{oIVп}} = 0,44 \text{ мм/об.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 62; c = 34.$$

$$\text{Позиція V: } \Sigma t_{\text{V}} = 4,4 \text{ мм.}; S_{\text{oV}} = 0,6 \cdot \kappa_S = 0,6 \cdot 0,75 = 0,45 \text{ мм/об [14].}$$

$$\text{За паспортом верстата: } S_{\text{oVп}} = 0,44 \text{ мм/об.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 62; c = 34.$$

$$\text{Позиція VI: } \Sigma t_{\text{VI}} = 4,825 \text{ мм.}; S_{\text{oVI}} = 0,6 \cdot \kappa_S = 0,6 \cdot 0,75 = 0,45 \text{ мм/об [14].}$$

$$\text{За паспортом верстата: } S_{\text{oVIп}} = 0,44 \text{ мм/об.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 62; c = 34.$$

Позиція VII: $\Sigma t_{VII} = 2,225$ мм.; $S_{oVII} = 0,6 \cdot \kappa_S = 0,6 \cdot 0,75 = 0,45$ мм/об [14].

За паспортом верстата: $S_{oVIII} = 0,44$ мм/об.

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 62; c = 34.$$

Позиція VIII: $\Sigma t_{VIII} = 0,125$ мм.; $S_{oVIII} = 0,15 \cdot \kappa_S = 0,15 \cdot 1,2 = 0,18$ мм/об [14].

За паспортом верстата: $S_{oVIII} = 0,19$ мм/об.

Набір зубчастих коліс:

$$l / f = 31 / 79; d = 42; c = 54.$$

4. Період стійкості інструментів для кожної позиції [14]:

$$T_p = T_M \cdot \lambda, \quad (2.12)$$

де λ – коефіцієнт часу різання:

$$\lambda = \frac{L_{\text{різ.}}}{L_{\text{р.х.}}}, \quad (2.13)$$

Позиція II: $\lambda_{II_1} = \frac{23,1}{29} = 0,8$; при $\lambda > 0,7$ приймаємо $\lambda > 1,0$ $T_{pII_1} = 150$ хв.;

$\lambda_{II_2} = \frac{12,75}{26,1} = 0,5$; $T_{pII_2} = 150 \cdot 0,5 = 75$ хв.;

$\lambda_{II_3} = \frac{6,75}{25,1} = 0,27$; $T_{pII_3} = 150 \cdot 0,27 = 40,5$ хв.

Позиція III: $\lambda_{III_1} = \frac{0,9}{3,4} = 0,26$; $T_{pIII_1} = 150 \cdot 0,26 = 39$ хв.;

$\lambda_{III_2} = \frac{3,7}{8,7} = 0,42$; $T_{pIII_2} = 150 \cdot 0,42 = 63$ хв.

Позиція IV: $\lambda_{IV_1} = \frac{23,85}{27} = 0,88$; при $\lambda > 0,7$ приймаємо $\lambda > 1,0$ $T_{pIV_1} = 150$ хв.;

$\lambda_{IV_2} = \frac{11,75}{24,6} = 0,48$; $T_{pIV_2} = 150 \cdot 0,48 = 72$ хв.;

$$\lambda_{IV_3} = \frac{7}{25,85} = 0,27; \quad T_{pIV_3} = 150 \cdot 0,27 = 40,5 \text{ хв.}$$

Позиція V: $\lambda_{V_1} = \frac{29}{33} = 0,88$; при $\lambda > 0,7$ приймаємо $\lambda > 1,0$ $T_{pV_1} = 150 \text{ хв.};$

$$\lambda_{V_2} = \frac{12,72}{15,72} = 0,81; \quad \text{при } \lambda > 0,7 \text{ приймаємо } \lambda > 1,0 \quad T_{pV_2} = 150 \text{ хв.}$$

Позиція VI: $\lambda_{VI_1} = \frac{56,355}{62} = 0,9$; при $\lambda > 0,7$ приймаємо $\lambda > 1,0$

$$T_{pVI_1} = 150 \text{ хв.};$$

$$\lambda_{VI_2} = \frac{0,9}{2,4} = 0,38; \quad T_{pVI_2} = 150 \cdot 0,38 = 57 \text{ хв.};$$

$$\lambda_{VI_3} = \frac{10}{14,6} = 0,68; \quad T_{pVI_3} = 150 \cdot 0,68 = 102 \text{ хв.};$$

$$\lambda_{VI_4} = \frac{1,6}{4,2} = 0,38; \quad T_{pVI_4} = 150 \cdot 0,38 = 57 \text{ хв.}$$

Позиція VII: $\lambda_{VII_1} = \frac{63,4}{77,4} = 0,82$; при $\lambda > 0,7$ приймаємо $\lambda > 1,0$

$$T_{pVII_1} = 150 \text{ хв.};$$

$$\lambda_{VII_2} = \frac{37,9}{40,5} = 0,94; \quad \text{при } \lambda > 0,7 \text{ приймаємо } \lambda > 1,0 \quad T_{pVII_2} = 150 \text{ хв.}$$

Позиція VIII: $\lambda_{VIII_1} = \frac{56,355}{62} = 0,9$; при $\lambda > 0,7$ приймаємо $\lambda > 1,0$

$$T_{pVIII_1} = 150 \text{ хв.}$$

5. Швидкість різання.

Позиція VII: для свердла [14]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.14)$$

де

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}, \quad (2.15)$$

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}, \quad (2.16)$$

$$\sigma_B = 638 \text{ МПа};$$

$$n_v = 0,9 \text{ [14].}$$

$$K_r = 1,2 \text{ [14].}$$

$$K_{MV} = 1,2 \cdot \left(\frac{750}{638} \right)^{0,9} = 1,4.$$

$$K_{nv} = 0,8 \text{ [14];}$$

$$K_{nv} = 1,0 - P18 \text{ [14];}$$

$$K_{lv} = 1,0 \text{ для розсвердлювання [14];}$$

$$C_v = 16,2; x = 0,2; y = 0,5; m = 0,20 \text{ [14];}$$

$$K_v = 1,7 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,36;$$

$$V_{VII} = \frac{16,2 \cdot 39,5^{0,4}}{150^{0,2} \cdot 0,625^{0,2} \cdot 0,44^{0,5}} \cdot 1,36 = \frac{16,2 \cdot 4,26}{2,72 \cdot 0,9 \cdot 0,66} \cdot 1,36 = 59 \text{ м/хв.}$$

Позиція II:

Швидкість різання [14]:

$$V = V_{\text{табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.17)$$

де $V_{\text{табл.}} = 115 \text{ м/хв [14];}$

$$K_1 = 0,9 \text{ [14]; } K_2 = 0,6 \text{ [14]; } K_3 = 1,2 \text{ [14];}$$

$$V_{II} = 115 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,2 = 38,8 \text{ м/хв.}$$

Позиція III:

$$V_{\text{табл.}} = 120 \text{ м/хв [14];}$$

$$K_1 = 0,9 \text{ [14]; } K_2 = 0,6 \text{ [14]; } K_3 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$V_{III} = 120 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 64,8 \text{ м/хв.}$$

Позиція IV:

$$V_{\text{табл.}} = 130 \text{ м/хв [14];}$$

$$K_1 = 0,9 \text{ [14]; } K_2 = 1,0 \text{ [14]; } K_3 = 1,2 \text{ [14];}$$

$$V_{IV} = 130 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 140,4 \text{ м/хв.}$$

Позиція V:

$$V_{\text{табл.}} = 115 \text{ м/хв [14];}$$

$$K_1 = 0,9 \text{ [14]; } K_2 = 1,0 \text{ [14]; } K_3 = 0,85 \text{ [14];}$$

$$V_V = 115 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 88 \text{ м/хв.}$$

Позиція VI:

$$V_{\text{табл.}} = 95 \text{ м/хв [14];}$$

$$K_1 = 0,9 \text{ [14]; } K_2 = 0,6 \text{ [14]; } K_3 = 1,05 \text{ [14];}$$

$$V_{VI} = 95 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,05 = 54 \text{ м/хв.}$$

Позиція VIII:

$$V_{\text{табл.}} = 160 \text{ м/хв [14];}$$

$$K_1 = 0,9 \text{ [14]; } K_2 = 1,0 \text{ [14]; } K_3 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$V_{VIII} = 160 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 144 \text{ м/хв.}$$

6. Частота обертання шпинделя [14]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d}, \quad (2.18)$$

$$\text{Позиція II: } n_{II} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 74,5}{\pi \cdot 77} = 308 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпII}} = 293 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 31; b = 34.$$

$$\text{Позиція III: } n_{III} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 64,8}{\pi \cdot 68,2} = 303 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпIII}} = 293 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 31; b = 34.$$

$$\text{Позиція IV: } n_{IV} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 140,4}{\pi \cdot 75,5} = 592 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпIVп}} = 587 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 42; b = 23.$$

$$\text{Позиція V: } n_V = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 88}{\pi \cdot 68,2} = 411 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпVп}} = 425 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 37; b = 28.$$

$$\text{Позиція VI: } n_{VI} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 103,5}{\pi \cdot 39,75} = 830 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпVIп}} = 628 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 43; b = 22.$$

$$\text{Позиція VII: } n_{VII} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 58}{\pi \cdot 37,5} = 492,5 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпVIIп}} = 482 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 39; b = 26.$$

$$\text{Позиція VIII: } n_{VIII} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 144}{\pi \cdot 40} = 1146 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{\text{шпVIIIп}} = 628 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс:

$$a = 43; b = 22.$$

7. Час робочого ходу:

$$t_p = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n_{\text{шп}}}, \quad (2.19)$$

Позиція VII: Лімітуюча позиція: $t_{p_{VII}} = \frac{77,4}{0,44 \cdot 482} = 0,365 \text{ хв.}$

Позиція II: $t_{p_{II}} = \frac{29}{0,44 \cdot 293} = 0,225 \text{ хв.}$

Визначений робочий час на даній позиції менший за час лімітуючої позиції, тому змінюємо режими різання за рахунок зменшення подачі:

$$S_{o.k_{II}} = \frac{29}{293 \cdot t_{p_{VII}}} = \frac{29}{293 \cdot 0,365} = 0,27 \text{ мм/хв.}$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$S_{окII} = 0,28 \text{ мм/хв.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l = 31; f = 79; d = 52; c = 44.$$

Робочий час на даній позиції:

$$t_{p_{II}} = \frac{29}{0,28 \cdot 293} = 0,353 \text{ хв.}$$

Позиція III: $t_{p_{III}} = \frac{8,7}{0,44 \cdot 293} = 0,067 \text{ хв.}$

Визначений робочий час на даній позиції менший за час лімітуючої позиції, тому змінюємо режими різання за рахунок зменшення подачі, частоти обертання шпинделя, збільшення довжини робочого ходу:

Допустима подача на даній позиції $S_o = 0,22 \text{ мм/об.}$

Збільшено довжину робочого ходу у два рази.

Коректування частоти обертання шпинделя:

$$n_{шп.k_{III}} = \frac{8,7 \cdot 2}{0,22 \cdot t_{p_{VII}}} = \frac{8,7 \cdot 2}{0,22 \cdot 0,365} = 217 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{шпIII} = 228 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс: $a = 27; b = 38.$

Робочий час на даній позиції:

$$t_{p.k_{III}} = \frac{8,7 \cdot 2}{0,22 \cdot 228} = 0,347 \text{ хв.}$$

Позиція IV: $t_{p_{IV}} = \frac{27}{0,44 \cdot 587} = 0,1 \text{ хв.}$

Допустима подача на даній позиції $S_o = 0,22 \text{ мм/об.}$

Коректування частоти обертання шпинделя:

$$n_{шп.k_{IV}} = \frac{27}{0,22 \cdot t_{p_{VII}}} = \frac{27}{0,22 \cdot 0,365} = 336 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$n_{шпIVп} = 353 \text{ хв}^{-1}.$$

Набір зубчастих коліс: $a = 34; b = 31.$

Робочий час на даній позиції:

$$t_{p.k_{IV}} = \frac{27}{0,22 \cdot 353} = 0,347 \text{ хв.}$$

Позиція V: $t_{p_v} = \frac{33}{0,44 \cdot 425} = 0,176 \text{ хв.}$

Допустима подача на даній позиції $S_o = 0,22 \text{ мм/об.}$

Робочий час на даній позиції:

$$t_{p.k_v} = \frac{33}{0,22 \cdot 425} = 0,353 \text{ хв.}$$

Позиція VI: $t_{p_{VI}} = \frac{62}{0,44 \cdot 628} = 0,22 \text{ хв.}$

Визначений робочий час на даній позиції менший за час лімітуючої позиції, тому змінюємо режими різання за рахунок зменшення подачі:

$$S_{o.k_{VI}} = \frac{62}{628 \cdot t_{p_{VII}}} = \frac{62}{628 \cdot 0,365} = 0,27 \text{ мм/хв.}$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$S_{окVI} = 0,28 \text{ мм/хв.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l = 31; f = 79; d = 52; c = 44.$$

Робочий час на даній позиції:

$$t_{p_{VI}} = \frac{62}{0,28 \cdot 628} = 0,353 \text{ хв.}$$

$$\text{Позиція VIII: } t_{p_{VIII}} = \frac{62}{0,19 \cdot 628} = 0,52 \text{ хв.}$$

Визначений робочий час на даній позиції більший за час лімітуючої позиції, тому змінюємо режими різання за рахунок збільшення подачі:

$$S_{o.k_{VIII}} = \frac{62}{628 \cdot t_{p_{VII}}} = \frac{62}{628 \cdot 0,365} = 0,27 \text{ мм / хв.}$$

Коректуємо за паспортом верстата:

$$S_{окVIII} = 0,28 \text{ мм/хв.}$$

Набір зубчастих коліс:

$$l = 31; f = 79; d = 52; c = 44.$$

Після коректування визначаємо робочий час на даній позиції:

$$t_{p_{VIII}} = \frac{62}{0,28 \cdot 628} = 0,353 \text{ хв.}$$

8. Фактична швидкість різання:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{III}}{1000}, \quad (2.20)$$

$$\text{Позиція II: } V_{\phi II} = \frac{\pi \cdot 77 \cdot 293}{1000} = 70,8 \text{ м / хв.}$$

$$\text{Позиція III: } V_{\phi III} = \frac{\pi \cdot 68,2 \cdot 228}{1000} = 48,8 \text{ м / хв.}$$

$$\text{Позиція IV: } V_{\phi IV} = \frac{\pi \cdot 75,5 \cdot 353}{1000} = 83,7 \text{ м / хв.}$$

$$\text{Позиція V: } V_{\phi V} = \frac{\pi \cdot 68,2 \cdot 425}{1000} = 91 \text{ м / хв.}$$

$$\text{Позиція VI: } V_{\phi VI} = \frac{\pi \cdot 39,75 \cdot 628}{1000} = 78,4 \text{ м / хв.}$$

$$\text{Позиція VII: } V_{\phi VII} = \frac{\pi \cdot 37,5 \cdot 482}{1000} = 56,7 \text{ м / хв.}$$

Позиція VIII: $V_{\text{фVIII}} = \frac{\pi \cdot 40 \cdot 628}{1000} = 78,8 \text{ м/хв.}$

9. Сил різання для кожного інструменту:

Позиція VIII:

– для розсвердлювання [14]:

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot C_{\text{м}} \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_{\text{р}}, \quad (2.21)$$

де

$$K_{\text{р}} = K_{\text{мп}}, \quad (2.22)$$

$$K_{\text{мп}} = \left(\frac{\sigma_{\text{В}}}{750} \right)^n, \quad (2.23)$$

$n = 0,75$ [14];

$$K_{\text{мп}} = \left(\frac{638}{750} \right)^{0,75} = 0,886.$$

$C_{\text{м}} = 0,09$; $x = 0,9$; $y = 0,8$; $q = 1,0$ [14];

$$M_{\text{крIVII}} = 10 \cdot 0,09 \cdot 37,5^{1,0} \cdot 0,625^{0,9} \cdot 0,44^{0,8} \cdot 0,886 = 10,18 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Силу різання для різця [14]:

$$P_{\text{з}} = 10 \cdot C_{\text{р}} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_{\text{р}}, \quad (2.24)$$

де

$$K_{\text{р}} = K_{\text{мп}} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\text{гр}} \cdot K_{\text{лр}} \cdot K_{\text{гп}}, \quad (2.25)$$

$$K_{\text{мп}} = \left(\frac{\sigma_{\text{В}}}{750} \right)^n [14];$$

$n = 0,75$ [14];

$$K_{\text{мп}} = \left(\frac{638}{750} \right)^{0,75} = 0,886.$$

$K_{\text{фр}} = 0,94$ [14];

$K_{\text{гр}} = 1,0$ [14];

$K_{\text{лр}} = 1,0$ [14];

$$K_{rp} = 0,87 \text{ при } r \ 0,5 \ [14];$$

$$K_p = 0,886 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 0,72 .$$

$$C_p = 300; x = 1,0; y = 0,75; n = 0 \ [14];$$

$$P_{z2VII} = 10 \cdot 300 \cdot 1,6^{1,0} \cdot 0,44^{0,75} \cdot 57,6^{-0,15} \cdot 0,72 = 1014,3 \text{ Н.}$$

Позиція II:

Значення тангенціальної сили різання [14]:

$$P_z = P_{z \text{ табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2.26)$$

де — для різця 1.

$$P_{z \text{ табл.}} = 1568 \text{ Н } [14];$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \ [14];$$

$$P_{zII_1} = 1568 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1332,8 \text{ Н.}$$

— для різця 2.

$$P_{z \text{ табл.}} = 784 \text{ Н } [14];$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \ [14];$$

$$P_{zII_2} = 784 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 666,4 \text{ Н.}$$

— для різця 3.

$$P_{z \text{ табл.}} = 3920 \text{ Н } [14];$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \ [14];$$

$$P_{zII_3} = 3920 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 3332 \text{ Н.}$$

$$\Sigma P_{zII} = 1332,8 + 666,4 + 3332 = 5331,2 \text{ Н.}$$

Позиція III:

— для різця 1.

$$P_{z \text{ табл.}} = 9408 \text{ Н } [14];$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \ [14];$$

$$P_{zIII_1} = 9408 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 7996,8 \text{ Н.}$$

— для різця 2.

$$P_{z \text{ табл.}} = 2058 \text{ Н } [14];$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 [14];$$

$$P_{zIII_2} = 2058 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1749,3 \text{ Н.}$$

$$\Sigma P_{zIII} = 2058 + 1749,3 = 3807,3 \text{ Н.}$$

Позиція IV:

– для різця 1.

$$P_{z \text{ табл.}} = 343 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 [14];$$

$$P_{zIV_1} = 343 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 291,55 \text{ Н.}$$

– для різця 2.

$$P_{z \text{ табл.}} = 343 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 [14];$$

$$P_{zIV_2} = 343 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 291,55 \text{ Н.}$$

– для різця 3.

$$P_{z \text{ табл.}} = 2744 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 [14];$$

$$P_{zIV_3} = 2744 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 2332,4 \text{ Н.}$$

$$\Sigma P_{zIV} = 291,55 + 291,55 + 2332,4 = 3207,05 \text{ Н.}$$

Позиція V:

– для різця 1.

$$P_{z \text{ табл.}} = 1078 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,1 [14];$$

$$P_{zV_1} = 1078 \cdot 0,85 \cdot 1,1 = 1008 \text{ Н.}$$

– для різця 2.

$$P_{z \text{ табл.}} = 343 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,1 [14];$$

$$P_{zV_2} = 343 \cdot 0,85 \cdot 1,1 = 320,7 \text{ Н.}$$

$$\Sigma P_{zV} = 1008 + 320,7 = 1328,7 \text{ Н.}$$

Позиція VI:

– для різця 1.

$$P_{z \text{ табл.}} = 1176 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85 \text{ [14]; } K_2 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$P_{zVI_1} = 1176 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 999,6 \text{ Н.}$$

– для різця 2.

$$P_{z \text{ табл.}} = 392 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$P_{zVI_2} = 392 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 333,2 \text{ Н.}$$

– для різця 3.

$$P_{z \text{ табл.}} = 1274 \text{ Н [14] ;}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$P_{zVI_3} = 1274 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1082,9 \text{ Н.}$$

– для різця 4.

$$P_{z \text{ табл.}} = 1274 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,85; K_2 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$P_{zVI_4} = 1274 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1082,9 \text{ Н.}$$

$$\Sigma P_{zVI} = 999,6 + 333,2 + 1082,9 + 1082,9 = 3498,6 \text{ Н.}$$

Позиція VIII:

$$P_{z \text{ табл.}} = 196 \text{ Н [14];}$$

$$K_1 = 0,8; K_2 = 1,0 \text{ [14];}$$

$$P_{zVIII_1} = 196 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 166,6 \text{ Н.}$$

10. Потужність різання на всіх позиціях:

Позиція VII:

Потужність різання для розсвердлювання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750}, \quad (2.27)$$

$$N_{\text{різ1VII}} = \frac{10,18 \cdot 482}{9750} = 0,5 \text{ кВт.}$$

Потужність різання для різців:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (2.28)$$

$$N_{\text{різVII}} = \frac{1014,3 \cdot 70,8}{1020 \cdot 60} = 1,17 \text{ кВт}.$$

$$\sum N_{\text{різVII}} = N_{\text{різI VII}} + N_{\text{різ2 VII}} = 0,5 + 1,17 = 1,67 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиція II: } N_{\text{різII}} = \frac{5331,2 \cdot 70,8}{1020 \cdot 60} = 6,16 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиція III: } N_{\text{різIII}} = \frac{3807,3 \cdot 48,8}{1020 \cdot 60} = 3,04 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиція IV: } N_{\text{різIV}} = \frac{3207,05 \cdot 83,7}{1020 \cdot 60} = 4,38 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиція V: } N_{\text{різV}} = \frac{1328,7 \cdot 91}{1020 \cdot 60} = 1,98 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиція VI: } N_{\text{різVI}} = \frac{3498,6 \cdot 78,4}{1020 \cdot 60} = 4,48 \text{ кВт}.$$

$$\text{Позиція VIII: } N_{\text{різVIII}} = \frac{166,6 \cdot 78,8}{1020 \cdot 60} = 0,21 \text{ кВт}.$$

Сумарна потужність:

$$\sum N_{\text{різ}} = N_{\text{різII}} + N_{\text{різIII}} + N_{\text{різIV}} + N_{\text{різV}} + N_{\text{різVI}} + N_{\text{різVII}} + N_{\text{різVIII}}, \quad (2.29)$$

$$\sum N_{\text{різ}} = 1,67 + 6,16 + 3,04 + 4,38 + 1,98 + 4,48 + 0,21 = 21,92 \text{ кВт}.$$

11. Перевірка за потужністю приводу верстата:

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

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

де N_d – потужність приводу шпинделів верстата – 55 кВт;

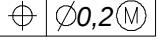
$\eta = 0,8$.

$$N_{\text{шп}} = 55 \cdot 0,8 = 44 \text{ кВт}.$$

$$N_{\text{різ}} = 21,92 \text{ кВт} < N_{\text{шп}} = 44 \text{ кВт}.$$

Також визначено режими різання для інших операцій технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець” 54.7224, що зведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання операцій технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець” 54.7224

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
015 Горизонтально-протяжна										
Протягування шпонкового паза 1 витримуючи у розміри 12D10 ^(-0,120/-0,050) ; l=60; 44H11 ^(+0,16) .	2	715	1	60	S _z = 0,04 мм	—	5	—	0,19	1,2
020 Вертикально-свердлильна										
Свердління восьми отворів 3...10 у розміри Ø10,2H14 ^(+0,43) ; Ø104±0,12; l=12;  одночасне	5,1	22	1	85	0,12	350	9	42	0,52	2,2

Технічні норми часу визначено на основі табличних даних довідників, а на 005 та 010 токарні напівавтоматні операції оброблення деталі “Фланець” 54.7224 розрахунок технічних норм часу проведено аналітичним методом.

Штучний час роботи токарного напівавтомата [1]:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{ц}} + T_{\text{тех.обсл.}} + T_{\text{орг.обсл.}} + T_{\text{відп.}}, \quad (2.32)$$

Час циклу роботи напівавтомата:

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{р.х.}} + t_{\text{х.х.}}, \quad (2.33)$$

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

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

Час на вимірювання витрачається під час циклу роботи напівавтомата.

Операція 005. Токарна напівавтоматна.

Час робочих ходів дорівнює найбільшому часу на позиціях верстата, тобто $t_p = 0,365 \text{ хв.} = 21,9 \text{ с.}$

Час на швидкі переміщення $t_{\text{х.х.}} = 4 \text{ с.}$ за паспортом верстата.

Тоді, $T_{ц005} = 21,9 + 4 = 25,9 \text{ с} = 0,43 \text{ хв.}$

Час на технічне обслуговування [1]:

$$T_{\text{тех.обсл.}} = t_p \cdot 2\% = 0,365 \cdot 0,02 = 0,0073 \text{ хв.}$$

Час на організаційне обслуговування [1]:

$$T_{\text{орг.обсл.}} = T_{ц} \cdot 3,1\% = 0,43 \cdot 0,031 = 0,013 \text{ хв.}$$

Час на перерви, відпочинок і особисті потреби [1]:

$$T_{\text{відп.}} = T_{ц} \cdot 9\% = 0,43 \cdot 0,09 = 0,039 \text{ хв.}$$

Штучний час (2.32):

$$T_{\text{шт.005}} = 0,43 + 0,0073 + 0,013 + 0,039 = 0,49 \text{ хв.}$$

010 Горизонтально-протяжна операція.

Основний час $T_{о015} = 0,19 \text{ хв.}$

Штучний час [1]:

$$T_{\text{шт.}} = \Psi_k \cdot T_o, \quad (2.34)$$

$$T_{\text{шт.015}} = 1,66 \cdot 0,19 = 0,32 \text{ хв.}$$

015 Вертикально-свердлильна операція

Основний час $T_{о020} = 0,52 \text{ хв.}$

Штучний час (2.34):

$$T_{\text{шт.020}} = 1,3 \cdot 0,52 = 0,68 \text{ хв.}$$

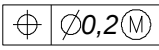
Технічні норми часу технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець” 54.7224 зведені у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні норми часу технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець” 54.7224

Номер та назва операції	T_o , хв	Час циклу н/автомата, $T_{ц}$, хв	Час обслуговування, $T_{об}$, хв		$T_{відп.}$, хв	$T_{шт.}$, хв
			$T_{\text{тех.об.}}$	$T_{\text{орг.об.}}$		
005 Токарна напівавтоматна	0,365	0,43	0,073	0,013	0,039	0,49
010 Горизонтально- протяжна	0,19					0,32
015 Вертикально- свердлильна	0,52					0,68

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок точності пристосування для механічного оброблення деталі

Для одночасного свердління восьми отворів $\varnothing 10,2H14^{(+0,43)}$, витримуючи розміри $l=12$; $Rz80$; $\varnothing 104\pm 0,12$  в деталі “Фланець” 54.7224 на 015 вертикально-свердлильній операції виконано проектування спеціального кондуктора та восьмишпindelьної свердлильної головки з метою забезпечення точності розташування отворів та підвищення продуктивності свердління отворів на вертикально-свердлильному верстаті 2H135C.

Кондуктор встановлюється на стіл свердлильного верстата за допомогою корпусу 2 та фіксується двома кріпильними болтами, що розміщуються у спеціальних пазах корпусу. Оброблювана деталь у пристосуванні встановлюється на оправку з гарантованим зазором по центральному отвору та спирається нижнім торцем 18 на установчу поверхню. Додаткове базування здійснюється за допомогою циліндричного пальця, що входить у центральний отвір деталі, з упором по верхньому торцю 19. Така схема базування забезпечує усунення п'яти ступенів вільності заготовки. Ліквідація шостого ступеня вільності, а саме обертання деталі навколо власної осі, реалізується за допомогою шпонки 25.

Восьмишпindelьна свердлильна головка встановлюється на напрямні колонки 6 кондуктора через втулки 9, що забезпечує точне взаємне орієнтування різального інструменту відносно кондукторних втулок. Кріплення головки до корпусу шпindelьного вузла верстата здійснюється за допомогою хомута 1. У шпindelь верстата монтується повідковий патрон 11, через який обертальний рух передається на центральний вал 16. Подальший розподіл крутного моменту на проміжні вали-шпindelі 27 виконується за допомогою зубчастої передачі, утвореної колесами 19. Для сприйняття радіальних навантажень та забезпечення стабільної роботи шпindelьного вузла

застосовані радіальні кулькові підшипники 45, 46 і 47, тоді як осьові сили сприймаються упорними кульковими підшипниками 49.

Креслення розробленого оснащення: спеціального кондуктора та шестишпіндельної свердлильної головки наведено у графічній частині роботи.

Похибка встановлення заготовки деталі “Фланець” 54.7224 у кондукторі визначено розрахунковим рівнянням, що враховує сумарний вплив похибок базування, закріплення та виготовлення елементів кондуктора [15]:

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

Під час проєктування кондукторного пристосування необхідно забезпечити виконання умови точності оброблення, відповідно до якої поле допуску на розмір оброблюваного отвору повинно перевищувати сумарну похибку встановлення заготовки в кондукторі. Вказану умову представлено у вигляді нерівності [15]:

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

На 015 вертикально-свердлильній операції проводиться одночасне свердління восьми отворів $\varnothing 10,2\text{H}14(^{+0,43})$; $l=12$; $\varnothing 104\pm 0,12$.

Точність діаметрального розміру отворів $\varnothing 10,2\text{H}14(^{+0,43})$ досягнуто свердлами, відповідно похибка базування для одержання цього розміру дорівнює нулю, тобто $\Delta_{6\varnothing 10,2} = 0$.

Похибка базування на розмір $\varnothing 104\pm 0,12$ відповідно до розрахункової схеми рис. 3.1 при базуванні заготовки на палець із зазором розраховано за рівнянням [15]:

$$\Delta\varepsilon_6 = S_{\min} + Td + TD, \quad (3.3)$$

де $S_{\min}$ – мінімальний зазор між базовим пальцем та центральним отвором базування заготовки;

Td – допуск на розмір пальця $\varnothing 42\text{f}9(^{-0,025}_{-0,087})$;

TD – допуск на центральний отвір базування заготовки $\varnothing 40H9^{(+0,062)}$.

Мінімальний зазор між базовим пальцем та центральним отвором базування заготовки:

$$S_{\min.} = EI - es, \quad (3.4)$$

де EI – нижнє відхилення центрального отвору базування, $EI = 0$;

es – верхнє відхилення пальця, $es = -0,025$ мм мм.

$$S_{\min.} = 0 + 0,025 = 0,025 \text{ мм.}$$

Поле допуску пальця:

$$Td = es - ei. \quad (3.5)$$

$$Td = -0,025 - (-0,087) = 0,062 \text{ мм.}$$

Поле допуску центрального отвору базування:

$$TD = ES - EI. \quad (3.6)$$

$$TD = 0,062 - 0 = 0,062 \text{ мм.}$$

Підставляємо дані у рівняння (3.3):

$$\Delta_{\zeta} = 0,025 + 0,062 + 0,062 = 0,149 \text{ мм} = 149 \text{ мкм.}$$

Похибка закріплення заготовки $\Delta_3 = 80$ мкм.

Похибка пристосування $\Delta_{\pi} = 100$ мкм.

Похибка встановлення заготовки деталі “Фланець” 54.7224 у кондукторі
(3.1):

$$\Delta \varepsilon_1 = \sqrt{149^2 + 80^2 + 100^2} = 196 \text{ мкм.} = 0,196 \text{ мм.}$$

Перевіряємо виконання умови (3.2):

$$0,196 \text{ мм} < 0,24 \text{ мм.}$$

Отже, точність встановлення заготовки у кондукторі забезпечена.

3.2. Розрахунок силових параметрів пристосування для механічного оброблення деталі

Для визначення необхідного зусилля затиску заготовки деталі «Фланець» 54.7224 під час виконання вертикально-свердлильної операції 015 розроблено розрахункову схему силової взаємодії між різальним інструментом, оброблюваною заготовкою та елементами технологічного оснащення (рисунок 3.2). Оброблення передбачає одночасне свердління восьми отворів $\varnothing 10,2H14(^{+0,43})$; $l=12$; $\varnothing 104\pm 0,12$.

У процесі свердління на кожен інструмент діє осьова складова сили різання, спрямована вздовж осі свердла. Сила затиску, що створюється кондукторною плитою та механізмом багатошпindelьної свердлильної головки, має той самий напрямок дії, що й осьова сила різання.

Для прийнятої схеми закріплення заготовки у кондукторі наведеної на рисунку 3.2, величину необхідної сили затиску визначають на основі рівняння рівноваги сил, що діють на деталь у процесі свердління отворів:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр} \cdot k}{\frac{1}{3} \cdot f \cdot \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)}, \quad (3.7)$$

де W - сила затиску заготовки кондукторною плитою та багатошпindelьною свердлильною головкою при одночасному свердлінні восьми отворів;

D, d – діаметральні розміри площини контакту заготовки та бази кондуктора;

f – коефіцієнт тертя між поверхнями заготовки та бази кондуктора $f = 0,25$;

k – кількість сверدل у свердлильній головці, $k = 8$;

$M_{кр}$ – крутний момент при свердлінні одного отвору.

Крутний момент при свердлінні одного отвору [14]:

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

де $C_m = 0,0345$; $q = 2,0$; $y = 0,8$ [14].

D – діаметр свердла, $D = 10,2$ мм;

S – подача свердла, $S = 0,12$ мм/об.

K_p – поправочний коефіцієнт.

Поправочний коефіцієнт [14]:

$$K_p = K_{mp},$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad [14];$$

$$n = 0,75 \quad [14];$$

$$K_{mp} = \left(\frac{638}{750} \right)^{0,75} = 0,886.$$

Підставляємо дані у рівняння (3.8):

$$\text{Отже, } M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 10,2^{2,0} \cdot 0,12^{0,8} \cdot 0,886 = 5,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$K = 3,2$ - коефіцієнт запасу.

Підставляємо дані у рівняння (3.7):

$$W = \frac{3,2 \cdot 5,7 \cdot 8}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{0,067^3 - 0,042^3}{0,067^2 - 0,042^2} \right)} = 21050 \text{ Н}.$$

Перевіряємо технічні характеристики верстата щодо забезпечення сили затиску заготовки за умовою:

$$P_{\text{верст.мах.}} > W, \quad (3.9)$$

де $P_{\text{верст.мах.}}$ – максимальна осьова сила різання на вертикально-свердлильному верстаті 2Н135С – $P_o = 25000$ Н.

$$25000 \text{ Н} > 21050 \text{ Н}.$$

Умова (3.9) виконується.

Для оцінки можливості використання вибраного металорізального обладнання виконується перевірка технічних характеристик верстата щодо забезпечення необхідної потужності, яка передається на багатошпиндельну свердлильну головку під час одночасного свердління восьми отворів:

$$N_{\text{верст.}} \geq \frac{\sum N_{\text{гол.сум.}}}{\eta_{\text{верст.}}}, \quad (3.10)$$

де $\eta_{\text{верст.}}$ – к.к.д. приводу шпинделя верстата, $\eta_{\text{верст.}} = 0,8$;

$\sum N_{\text{гол.сум.}}$ – потужність, що подається на свердлильну головку при одночасному свердлінні восьми отворів.

$N_{\text{верст.}}$ – потужність електродвигуна приводу шпинделя верстата, $N_{\text{верст.}} = 4 \text{ кВт}$.

$$\sum N_{\text{гол.сум.}} = N \cdot k, \quad (3.11)$$

де N – потужність свердління одного отвору;

k – кількість свердл у свердлильній головці, $k = 8$.

Потужність свердління одного отвору [14]:

$$N = \frac{M_{\text{кр.}} \cdot n}{9750}, \quad (3.12)$$

де n – частота обертання шпинделя свердлильної головки, $n = 350 \text{ хв}^{-1}$.

$$N = \frac{5,7 \cdot 350}{9750} = 0,21 \text{ кВт}.$$

$$\sum N_{\text{гол.сум.}} = 0,21 \cdot 8 = 1,68 \text{ кВт}.$$

Перевіряємо умову (3.10):

$$4,0 \text{ кВт} > \frac{1,68}{0,8} = 2,1 \text{ кВт}.$$

Умова (3.10) виконується.

Перевіряємо технічні характеристики верстата щодо забезпечення сумарної осьової сили різання за умовою:

$$P_{\text{гол.сум.}} = k \cdot P_o \leq P_{\text{верст.мах.}}, \quad (3.13)$$

де k – кількість свердл у свердлильній головці, $k = 8$.

$P_{\text{верст.мах}}$ – максимальна осьова сила різання на вертикально-свердлильному верстаті 2Н135С – $P_o = 22000$ Н.

P_o – осьова сила різання при свердлінні одним свердлом.

Осьова сила різання при свердлінні одним свердлом [14]:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p, \quad (3.14)$$

де $C_p = 68$; $q = 1,0$; $y = 0,7$ [14];

D – діаметр свердла, $D = 10,2$ мм;

S – подача свердла, $S = 0,12$ мм/об.

$$K_p = K_{\text{мр}},$$

$$n = 0,75 \text{ [14];}$$

$$K_{\text{мр}} = \left(\frac{638}{750} \right)^{0,75} = 0,886.$$

Підставляємо дані у рівняння (3.14):

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 10,2^{1,0} \cdot 0,12^{0,7} \cdot 0,886 = 1362 \text{ Н.}$$

Сумарна осьова сила різання:

$$P_{\text{гол.сум.}} = 8 \cdot 1362 = 10896 \text{ Н.}$$

Перевіряємо умову (3.13):

$$10896 \text{ Н} < 22000 \text{ Н.}$$

Умова виконується.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Розрахунок кількості засобів пожежогасіння для розміщення на ділянці виготовлення деталі

Відповідно до вимог Кодексу цивільного захисту України, Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014) та ДСТУ EN 2:2014, усі виробничі приміщення повинні бути забезпечені необхідною кількістю первинних засобів пожежогасіння, призначених для ліквідації пожежі на початковій стадії її розвитку.

До первинних засобів пожежогасіння належать переносні та пересувні вогнегасники, пожежний інвентар (ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, покривала з негорючого матеріалу, совкові лопати) та пожежний інструмент (ломи, гаки, сокири тощо).

Вибір типу і кількості засобів пожежогасіння здійснюється з урахуванням:

- категорії приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою;
- фізико-хімічних властивостей горючих речовин та матеріалів;
- класу можливої пожежі;
- площі виробничих приміщень;
- наявності електроустановок, мастильних матеріалів та легкозаймистих рідин.

Кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного виробничого приміщення, поверху або технологічної ділянки. Якщо в одному приміщенні розташовано декілька виробництв різних категорій пожежної небезпеки без протипожежного розділення, забезпечення засобами пожежогасіння здійснюється за нормами найбільш небезпечного виробництва.

Покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу призначені для ліквідації невеликих осередків загоряння та повинні мати мінімальний розмір 1×1 м. У місцях зберігання горючих речовин рекомендується застосовувати

покривала розміром 2×2 м. Вони можуть використовуватися для гасіння пожеж класів А, В, D та електроустановок, що перебувають під напругою.

За відсутності внутрішнього протипожежного водогону виробничі приміщення повинні обладнуватися бочками з водою місткістю не менше 0,2 м³ із розрахунку одна бочка на 250–300 м² захищуваної площі. Кожна бочка комплектується пожежним відром місткістю не менше 8 л.

Пожежні щити (стенди) встановлюються на території підприємства з розрахунку один щит на кожні 5000 м² площі. Комплект пожежного щита повинен включати:

- порошкові або вуглекислотні вогнегасники – 3 шт.;
- ящик з піском – 1 шт.;
- покривало з негорючого матеріалу розміром 2×2 м – 1 шт.;
- пожежні гаки – 3 шт.;
- лопати – 2 шт.;
- ломи – 2 шт.;
- сокири – 2 шт.

Ящики для піску повинні мати місткість 0,5; 1,0 або 3,0 м³ та комплектуватися совковою лопатою. Конструкція ящика повинна виключати потрапляння атмосферних опадів та забезпечувати швидкий доступ до піску.

Вибір типу вогнегасників здійснюється відповідно до класу можливої пожежі:

- клас А – горіння твердих горючих речовин (деревина, папір, текстиль);
- клас В – горіння горючих рідин і плавких твердих матеріалів;
- клас С – горіння газоподібних речовин;
- клас D – горіння металів та їх сплавів;
- клас Е – горіння електроустановок, що перебувають під напругою.

Для виробничих ділянок механічної обробки характерними є пожежі класів А, В та Е, оскільки у процесі оброблення застосовуються мастильно-охолоджувальні рідини, електрообладнання, ізоляційні матеріали та допоміжні горючі речовини.

Згідно з вимогами Правил пожежної безпеки, на кожні 200 м² площі виробничого приміщення необхідно встановлювати не менше двох переносних вогнегасників місткістю 5–10 кг.

Для проектованої ділянки виготовлення деталі приймається наступне оснащення первинними засобами пожежогасіння:

- пожежний щит – 1 шт.;
- порошкові вогнегасники типу ВП-5 або ВП-9 – 3 шт.;
- вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-5 для гасіння електрообладнання – 2 шт.;
- ящик із сухим піском місткістю 0,5 м³ – 1 шт.;
- покривало з негорючого матеріалу розміром 2×2 м – 1 шт.;
- пожежні гаки – 3 шт.;
- лопати – 2 шт.;
- ломи – 2 шт.;
- сокири – 2 шт.;
- бочка з водою місткістю 0,2 м³ – 1 шт.

У відділеннях зберігання паливно-мастильних матеріалів та на фарбувальних ділянках додатково передбачаються пересувні порошкові вогнегасники місткістю 50 кг та додаткові ємності з водою.

Розміщення первинних засобів пожежогасіння повинно забезпечувати вільний та швидкий доступ до них, а відстань від можливого осередку пожежі до найближчого вогнегасника не повинна перевищувати нормативних значень, встановлених Правилами пожежної безпеки України.

Таким чином, прийнятий комплект первинних засобів пожежогасіння забезпечує виконання вимог чинного законодавства України у сфері пожежної та техногенної безпеки та створює необхідні умови для оперативної ліквідації загорянь на ділянці виготовлення деталі.

4.2 Спеціальне навчання і перевірка знань з питань охорони праці працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України та Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, працівники під час прийняття на роботу та в процесі трудової діяльності зобов'язані проходити за рахунок роботодавця навчання, інструктажі та перевірку знань з питань охорони праці, надання домедичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки у разі виникнення аварійних ситуацій.

Організація навчання працівників з питань охорони праці покладається на роботодавця відповідно до статті 18 Закону України «Про охорону праці» та статті 153 Кодексу законів про працю України. Водночас стаття 14 Закону України «Про охорону праці» встановлює обов'язок працівника знати та неухильно виконувати вимоги нормативно-правових актів з охорони праці.

Працівники, які виконують роботи підвищеної небезпеки або зайняті на роботах, що потребують професійного добору, зобов'язані один раз на рік проходити спеціальне навчання та перевірку знань нормативно-правових актів з охорони праці. До таких робіт належать роботи, включені до Переліку робіт з підвищеною небезпекою, затвердженого центральним органом виконавчої влади у сфері охорони праці.

Для працівників механоскладальних та металообробних виробництв до робіт підвищеної небезпеки можуть належати:

- експлуатація металорізальних верстатів;
- роботи із застосуванням вантажопідіймальних механізмів;
- електрозварювальні роботи;
- роботи з використанням пневматичного та електрифікованого інструменту;
- експлуатація обладнання, що працює під підвищеною напругою;
- роботи із застосуванням легкозаймистих та горючих речовин.

Спеціальне навчання може проводитися безпосередньо на підприємстві або в навчальних центрах, що мають відповідний дозвіл на здійснення такої діяльності. У разі проведення професійної підготовки, перепідготовки або підвищення кваліфікації працівників безпосередньо на підприємстві навчання з питань охорони праці є складовою частиною цього процесу.

Навчання здійснюється за програмами та навчальними планами, які розробляються з урахуванням:

- специфіки виробництва;
- виду виконуваних робіт;
- технологічних процесів;
- виробничих ризиків;
- функціональних обов'язків працівників.

Програми навчання затверджуються наказом керівника підприємства та переглядаються у разі зміни технологічного процесу, введення нового обладнання або внесення змін до нормативно-правових актів з охорони праці.

Після завершення спеціального навчання проводиться перевірка знань працівників комісією підприємства. До складу комісії, як правило, входять керівники структурних підрозділів, спеціалісти служби охорони праці та представники профспілкової організації або уповноважені трудового колективу.

У разі неможливості створення комісії на підприємстві перевірка знань проводиться комісією іншого спорідненого підприємства або комісією територіального органу Державної служби України з питань праці.

Результати перевірки знань оформлюються протоколом засідання комісії з перевірки знань з питань охорони праці. Працівники, які успішно склали перевірку знань та допущені до виконання робіт підвищеної небезпеки, отримують посвідчення встановленого зразка.

Працівники, діяльність яких пов'язана з підвищеною пожежною небезпекою, додатково проходять спеціальне навчання за програмою пожежно-технічного мінімуму. Перевірка знань з питань пожежної безпеки для таких

працівників проводиться щорічно, а посадові особи проходять відповідне навчання та перевірку знань один раз на три роки.

У разі незадовільних результатів перевірки знань працівник протягом одного місяця повинен пройти повторне навчання та повторну перевірку знань. До самостійного виконання робіт підвищеної небезпеки особи, які не пройшли навчання або не склали перевірку знань, не допускаються.

Своєчасне проведення спеціального навчання та перевірки знань з питань охорони праці є одним із найважливіших профілактичних заходів щодо запобігання виробничому травматизму, професійним захворюванням та аварійним ситуаціям, а також забезпечує безпечну експлуатацію технологічного обладнання та підвищення рівня виробничої безпеки на підприємстві.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра встановлено, що деталь «Фланець» 54.7224 є складовою частиною гвинтового конвеєра, що використовується для транспортування сипких матеріалів у виробничих умовах фермерського господарства. Основним функціональним призначенням деталі «Фланець» 54.7224 є забезпечення кінематичного та силового з'єднання валів приводу для передачі крутного моменту між валами гвинтового конвеєра. Конструкція деталі входить до складу муфтового з'єднання та забезпечує передачу обертального руху від ведучого вала електродвигуна до веденого вала шнека. Деталь виготовляється із сталі 40Х, також дозволяється виготовляти із сталі 40ХЛ.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі «Фланець» 54.7224 відповідає середньосерійному типу виробництва.

Річна програма випуску деталей відповідає середньосерійному типу виробництва. Тому у проєктному варіанті технологічного процесу передбачено зміни, спрямовані на підвищення продуктивності праці: отримання заготовки доцільно здійснюється литтям в кокіль для зменшення припусків механічного оброблення; запропоновано операції проточування зовнішніх циліндричних поверхонь, підрізання торців, розточування отворів виконувати на вертикальному токарному багатошпіндельному напівавтоматі із багатоінструментальним налагодженням; свердління восьми отворів здійснювати одночасно на вертикально-свердлильному верстаті, оснащеного багатоінструментальними налагодженнями та багатошпіндельною свердлильною головкою; формування шпоночного паза виконувати методом протягування.

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.