

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Виготовлення валу коробки подач за умов
визначеного типу виробництва»

КРБ.133ГМбд_31[2].16.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_31[2]
ЯРОЦЬКИЙ Олег

Керівник: канд. техн. наук, доцент
БАСОВА Юлія

Полтава – 2024 року

ВСТУП

Як відомо, інновації є важливою частиною сучасного сільськогосподарського машинобудування. Виробництво новітньої техніки потребує постійного удосконалення технологій, обладнання для її виробництва, нових розробок. Постійна модернізація виробничого процесу та створення нових моделей машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва із унікальними технічними характеристиками є нагальним питанням сьогодення.

Отже деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі, а саме вал, є складовою частиною автомату 1П16, що призначений для виробництва деталей вузлів машин для агропромислового комплексу.

Мета роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є коробка подач, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення валу, що входить до її складу.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкційний матеріал, що застосовуються для виготовлення деталі, а також визначити тип виробництва на підставі річної програми запуску виробу;

- здійснити відпрацювання на технологічність вузла та деталі, запропонувати маршрут обробки поверхонь деталі, а також визначити припуски та операційні розміри розрахунково-аналітичним та довідковим методами;

- сконструювати затискне пристосування для механічної обробки, а також визначити зусилля затиску, розрахувати параметри силового приводу, розрахувати слабку ланку на міцність;

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також запропонувати технічні та організаційні заходи із охорони праці та захисту довкілля;

- розробити комплект технічної документації для забезпечення потреб підприємств галузевого машинобудування.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

У даній кваліфікаційній роботі на розгляд виноситься коробка подач, що застосовується у складі автомата 1П16 для виробництва деталей вузлів машин для агропромислового комплексу (рисунок 1.1, таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика вузла

№ з.п.	Найменування параметру	Розмірність	Значення
1	Діаметр обробки	мм	16
2	Максимальна довжина подачі	мм	140
3	Довжина прутка	мм	2000
4	Частота обертання шпинделя	об/хв.	500...5600
5	Частота обертання розподільчого валу	об/хв.	0,1...20
6	Потужність електродвигуна	кВт	3,0
7	Частота обертання електродвигуна	об/хв.	960
8	Габаритні розміри	мм	1985×945×1520
9	Маса	кг	1200

Коробка призначена для передачі обертального руху приводу розподільчого валу і регулювання частоти його обертання. Всі вали (10, 2, 17, 20) змонтовані в опорах з радіальних кулькових підшипників, що розташовані в корпусі 1 коробки. Черв'ячний вал 20 отримує обертання від шківів 15. Шків зв'язаний пасовою

передачею з шківом валу II. Черв'як 20 передає обертання через черв'ячне колесо 19 валу 2. Далі рух передається на гітару змінних зубчатих коліс.

Рисунок 1.1 – Коробка подач (конструктивна схема)

Гітара має жорстку міжцентрову відстань і складається з шести зубчатих коліс 4, 6, 7, 3, 8, 12. З валу 2 обертання передається на колесо 4, далі на колесо 6, яке із зубчатим колесом 7 складає блок, встановлений на загальній шпонці втулки 5, що вільно обертається на валу 10. Колесо 7 передає обертання на колесо 3, яке складає також блок з колесом 12, розташованим на шпонці втулки 13, що вільно обертається на валу 2. Колесо 12 передає обертання колесу 8, яке через шпонку обертає напівмуфту 43. Така конструкція гітари дає можливість більшою мірою зменшити передаточне відношення від головного електродвигуна до розподільного валу, що потрібний при його робочому ході. Муфта 42 перемикаєтьсявилкою 14 і має три положення: при робочому ході ліве, при прискореному – праве і нейтральне.

Рисунок 1.2 – Вал

Вал 10 обертає шків 9, який передає рух на механізм приводу розподільного валу. Таким чином працює механізм коробки подач при робочому ході розподільного валу. При прискореному ході розподільного валу обертання передається на шків, встановлений на валу 18. Далі рух через зубчаті колеса 17, 16

і 11 передається валу 10. Роликом 21 регулюють натягнення пасів у передачі із гнучким зв'язком.

Деталлю, що виноситься на детальний розгляд, є вал (рисунок 1.2). Він має декілька функцій: закріплення зубчастих коліс та передавання їм обертового руху, а також черв'ячного колеса. Тому в нього оброблюються площина для закріплення коліс, поверхня D=35k6, D=20k6, на якій насаджуються підшипники, поверхня D=16g6, на якій закріплюється шпонковий паз 5P9. Вал виготовлений зі сталі 40X за ДСТУ 7806:2015. Він має сумарну довжину 297 мм, підлягає обов'язковій термообробці, так як працює у складних умовах скручування та зсуву. При аналізі перетину валу, доходимо висновку, що необхідна площа перерізу є достатньою.

1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі «Вал» заповнюємо таблицю 1.2 (рисунок 1.2), у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Таблиця 1.2 – Аналіз точності деталі «Вал»

Номер пов. деталі	Назва поверхні (елемента)	Розміри з відхил.	Квалітет точності	Точн. форми	Точність положення	Шорсткість, R _a
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична	Ø16	g6	-		0,8
2	Циліндрична	Ø35	k6	-		0,63
3	Циліндрична	Ø38	h12	-	-	12,5
4	Циліндрична	Ø30	p6	-		0,8
5	Циліндрична	Ø28	h12	-	-	12,5
6	Циліндрична	Ø20	k6	-		0,63

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7
7	Отвір	Ø8	H7	-	-	3,2
8,9	Торець	297	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	6,3
10	Торець	90	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
11	Торець	126	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
12	Торець	20	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
13	Торець	97	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5
14	Торець	162	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	12,5

Виконавши аналіз параметрів точності деталі зроблено висновок про те, що шорсткість поверхонь відповідає вимогам точності. Найточніший розмір має поверхня, що виконується за 6 квалітетом. Найнижча шорсткість за значенням Ra 0,63 мкм. Деталь легко виготовляється за умов машинобудівного виробництва.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Вал виготовлено із легованої сталі 40Х за ДСТУ 7806:2015 [24, 37]. Ця сталь відноситься до ряду конструкційних, що використовуються для виготовлення деталей машин, конструкцій і споруд.

Хімічний склад і властивості матеріалу валу, а також марку, хімічний склад та властивості матеріалу замінника наведено нижче в таблиці 1.3.

Взагалі сталі – це залізо-вуглецеві сплави з концентрацією вуглецю від 0,02 до 2,14%. Легованими їх називають тому, що поряд з вуглецем додаються інші хімічні елементи, з метою одержання особливих властивостей: кислотостійкості, жаростійкості, корозійної стійкості.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Матеріал	Документ	Замінник 1	Замінник 2	Замінник 3						
Сталь 40Х	ДСТ 4543-71	Сталь 45Х	Сталь 38ХА	Сталь 40ХН						
Щільність	7850 кг/м ³									
Призначення	Осі, вали, плунжери, штоки, кільця - деталі підвищеної міцності									
Модуль пружності	E=214000 МПа									
Модуль зрушення	G=85000 МПа									
Зварюваність	Важкозварна. Способи зварювання: РДС, ЭШС. Необхідний підігрів і наступна термообробка. КТС - необхідна наступна термообробка.									
Температура кування	Початку 1250, кінця 800. Перетину до 350 мм прохолоджуються на повітрі.									
Хімічний склад	Кремній:0.17-0.37,Марганець:0.50-0.80,Мідь:0.30, Нікель:0.30,Сірка:0.035,Вуглець:0.36-0.44, Фосфор:0.035,Хром:0.80-1.10,									
Схильність до відпускної здатності	Схильна									
Матеріал	Термообробка				Механічні властивості					
	Загартування		Відпуск		σ_T	σ_B	δ	ψ	КСУ, Дж/с м ²	Твердість НВ, не більше
	Температура, °С	Середовище охолодження	Температура, °С	Середовище охолодження	МПа		%			
40Х	860	Олива	500	Вода або олива	785	980	10	45	59	217
45Х	840	Олива	520	Вода або олива	835	1030	9	45	49	229

Конструкційна легована сталь марки 40Х важкозварна. Вона є флокеночутливою і схильна до відпускнуї крихкості. Зі сталі 40Х виготовляють різні вали-шестірні і колінчаті вали, сталь марки 40Х йде на виготовлення болтів і втулок. Різної товщини квадрат 40Х придатний для виготовлення деталей, що повинні мати підвищену міцність. Сталь 40Х підходить для виготовлення різних деталей, що поліпшуються.

Отже, обраний заміник матеріалу повністю відповідає технічним та технологічним вимогам.

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку у валах коробки подач у кількості 600 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою:

$$N_{зан} = (N_{вип} + N_{зч}) \cdot (1 + k_{бр}), \quad (1.1)$$

де $N_{вип}$ – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{зч}$ – кількість виробів, що йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, тис. од;

$k_{бр}$ – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути. Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та йдуть на запчастини.

$$N_{зан} = (600 + 0,04 \cdot 600) \cdot (1 + 0,025) = 640 \text{ (шт.)}.$$

Максимальна маса оброблюваних заготовок деталей вузла не перевищує 300 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – середньосерійне.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Аналіз технологічності вузла являється одним з ключових моментів, так як саме цей пункт визначає, наскільки змінено буде процес складання та пригонки частин вузла. Крім того, аналіз технологічності є одним з найважливіших моментів у поліпшенні ергономічних, економічних та технічних якостей вузла [23].

При аналізі вузла на технологічність необхідно перевірити його по ряду факторів. Якщо вузол по яким-небудь параметрам не відповідає вимогам технологічності, то необхідно (по можливості) прийняти міри по поліпшенню конструкції. Нижче перераховані основні вимоги до технологічності.

1. При складанні вузла і встановленні його на машину, підгоночні роботи відсутні. Це пояснюється точністю виготовлення деталей, правильним вибором конфігурації деталей, доцільним їх розташуванням, застосуванням прокладок, які компенсують похибку при встановленні.

Вузол має у своєму складі багато стандартних та уніфікованих деталей, що значно спрощує його виготовлення. Наглядно це можна представити у вигляді коефіцієнтів стандартизації та уніфікації.

Коефіцієнт стандартизації:

$$Cm = \frac{N_{cm}}{n}, \quad (2.1)$$

де n – загальна кількість деталей,

N_{cm} – кількість стандартних деталей.

$$Cm = \frac{19}{52} = 0,37.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$V = \frac{N_{yn}}{n}, \quad (2.2)$$

де n – загальна кількість деталей;

N_{yn} – кількість уніфікованих деталей.

$$V = \frac{33}{52} = 0,63.$$

3. Можливість спрощення з'єднання деталей виключається, так як при цьому зміниться герметичність вузла. У даному випадку з'єднання деталей найпростіше і зменшення кількості деталей виключається. Вузол не має зайвих складових частин. Дана складальна одиниця піддається в умовах експлуатації періодичним розбиранням при ремонті. Вузол технологічний з точки зору процесу розбирання завдяки простому прикріпленню однієї деталі до іншої, наявності різьбового з'єднання і складових частин.

4. У конструкції вузла передбачені елементи, що забезпечують задану точність розташування її складових частин. Фаски та радіуси заокруглень, виконані на поверхнях складальних одиниць забезпечують гарне центрування при складанні та спрощують його.

На основі цих факторів можна зробити висновок, що технологічність з точки зору складання вузла, на наш погляд, забезпечується. Це приводить до спрощення та скорочення трудомісткості складання, дозволяє не тільки знизити вартість виробів, але й одночасно підвищити їх якість.

При складанні, для збільшення ефективності праці робітника необхідно передбачити гідравлічні запресовники для полегшення встановлення підшипників, запресування шпонок, встановлення втулок та ін. Це дозволить також значно підвищити точність складальної одиниці, так як складання за допомогою підручних матеріалів (ударами, різкими не центрованими зусиллями) приводить до порушення точності вузла, іноді до пошкодження деталей, що встановлюються.

Отже конструкція даного вузла є технологічною та придатною для виготовлення, застосування та експлуатації.

Технологічність конструкції валу суттєво впливає на технологічність процесу виготовлення даної деталі. Ця деталь повністю відпрацьована для виготовлення в умовах серійного виробництва, оскільки витрати на налагодження верстатів будуть порівняно невисокі з економією матеріалу. Основні та спеціальні вимоги до технологічності деталі заносяться до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність валу

№ з.п.	Показники і вимоги до технологічності	Висновки за показниками технологічності	Заходи з покращення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних технологічних баз, які забезпечують жорстке і надійне закріплення заготовки, вільний підхід інструмента до оброблюваної поверхні.	Деталь має зручні технологічні бази. Таким чином забезпечується необхідна орієнтація і закріплення заготовки.	Не потрібні.
2	Конструкція деталі повинна забезпечувати її установку за допомогою простих затискних пристроїв та пристосувань.	Так як деталь має циліндричну форму і закріплюється в патроні або центрах верстата без проблем.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
3	Для можливості автоматизації обробки не бажано застосовувати різьбові отвори менші за $\varnothing 6$ мм.	Відсутні.	Не потрібні.
4	В конструкції деталі необхідно передбачати можливість захвату її роботом.	Захват деталі може проводитися роботом за циліндричну поверхню.	Не потрібні.
5	Не бажана наявність глухих шліфованих поверхонь.	Деталь не має глухих шліфованих поверхонь.	Не потрібні.
6	Вали повинні мати центрові отвори і дозволяти багатошпіндельну обробку.	Дана вимога виконується.	Не потрібні.
7	Для можливості автоматизованої збірки необхідно передбачати на установчих поверхнях лиски, конуси і т. ін.	Дана деталь має лиски, що полегшує її встановлення.	Не потрібні.

Розглянувши таблицю 2.1, можна зробити висновки, що в цілому деталь за більшістю показників є технологічною для умов автоматизованого виробництва. Усі основні технологічні вимоги є забезпеченими.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Даний вузол буде виготовлятися в умовах серійного виробництва, тому діючі технологічні процеси матимуть свою специфіку. Сюди відносяться і застосування універсального обладнання, і верстатів з ЧПК.

При аналізі діючого технологічного процесу видно, що він розроблений грамотно і до нього важко зробити які-небудь значні доповнення. Єдине, що не задовольняє – це те, що він був розроблений для масового типу виробництва, а при сьогоденній економічній ситуації недоцільно налагоджувати виробництво на масовий тип, так як асортимент продукції постійно змінюється, а тому основною задачею є перехід на серійний тип виробництва. Це значить, що обов'язково необхідно зробити зміни у технологічному обладнанні. У базовому технологічному процесі використовуються переважно агрегатні верстати, які мають велику вартість, більшу собівартість налагодження та дуже велику складність переналагодження на іншу продукцію (практично неможливе). Тому при проектуванні даного технологічного процесу необхідно замінити всі агрегатні верстати на верстати із ЧПК. З одного боку це дещо збільшить час на обробку деталей, але у порівнянні з витратами на підготовку виробництва дасть значний економічний ефект. Крім того, при сьогоденній нестабільності в економіці і виробництві, при зміні асортименту продукції, що випускається, переналагодження верстатів не буде викликати особливих затрат.

2.3 Маршрути обробки поверхонь

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю та іншими критеріями [3, 6, 9, 11, 13,

18, 21]. Кількість ступенів обробки визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_3}{T_2} \dots \frac{T_{i-1}}{T_i} \dots \frac{T_{n-1}}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \dots \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (2.3)$$

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_3, T_D, T_i – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

Розкладаючи загальне значення на співмножники, потрібно враховувати типові рекомендації: для першого ступеня чорнової обробки досяжними є величини уточнення $\varepsilon < 6$; для проміжних ступенів напівчистої обробки $\varepsilon = 3 \dots 4$; для ступенів чистої обробки $\varepsilon = 1,5 \dots 2$.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.4)$$

Можливі методи обробки поверхні деталі подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Методи обробки деталі

Позначення поверхні	Квалітет за кресленням	Допуск за кресленням, мкм	Шорсткість R_a за кресленням	Допуск заготовки, мкм	Квалітет заготовки	Загальне уточнення	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет після обробки	Досягнутий допуск, мкм	Коефіцієнт уточнень	Загальне уточнення
							Номер маршруту	Перехід МОП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	12	520	6,3	1300	14	2,5	1.	Фрезерування	12	520	2,5	2,5

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	12	520	6,3	1300	14	2,5	1.	Фрезерування	12	520	2,5	2,5
3	6	11	0,8	430	14	39,09	1.	Точіння чорнове	11	110	3,9	39,09
								Точіння напівчистове	9	43	2,56	
								Точіння чистове	7	18	2,38	
								Шліфування	6	11	1,64	
4	6	16	0,63	620	14	38,75	1.	Точіння чорнове	11	160	3,88	38,75
								Точіння напівчистове	9	62	2,58	
								Точіння чистове	7	25	2,48	
								Шліфування	6	16	1,56	
5	12	250	12,5	620	14	2,48	1.	Точіння чорнове	12	250	2,48	2,48
6	6	13	0,8	520	14	40	1.	Точіння чорнове	11	160	3,25	40
								Точіння напівчистове	9	62	2,58	
								Точіння чистове	7	21	2,95	
								Шліфування	6	13	1,62	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	12	210	12,5	520	14	2,48	1.	Точіння чорнове	12	210	2,48	2,48
8	6	13	0,63	520	14	40	1.	Точіння чорнове	11	130	4	40
								Точіння напівчистове	9	52	2,5	
								Точіння чистове	7	21	1,48	
								Шліфування	6	13	1,6	
9	9	30	6,3	-	-	-	1.	Фрезерування	9	30	-	-
10	7	15	-	-	-	-	1.	Свердління	7	15	-	-
11	6Н	-	-	-	-	-	1.	Нарізання різьби	6Н	-	-	-

Остаточню будемо керуватися показниками собівартості обробки та збільшенням якості оброблюваних поверхонь.

2.4 Розробка маршруту обробки деталі

Маршрут обробки деталі будемо на основі етапів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва та базування (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Принципова схема маршруту обробки деталі

№ операції	Обладнання	Зміст операції
1	2	3
005 Заготівельна	Прес	Виготовлення заготовки.

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
010 Термічна	Піч електрична	Загартування із охолодженням у мастилі. Відпускання у воді або маслі.
015 Фрезерна	Фрезерно-центрувальний МР-71	1. Фрезерувати торці. 2. Центрувати із двох боків одночасно.
020 Токарна із ЧПК	Токарний із ЧПК 16K20T1	1. Точити начорно поверхні. 2. Зняти фаски. 3. Точити канавку. 4. Точити напівчисто. 5. Точити начисто.
025 Токарна із ЧПК	Токарний із ЧПК 16K20T1	1. Точити начорно. 2. Зняти фаски. 3. Точити канавку. 4. Точити напівчисто. 5. Точити начисто.
030 Термічна	Установка СВЧ	Гартувати СВЧ h1,3... 1,7 HRC 46... 51.
035 Фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат 6T13	Фрезерувати шпонковий паз у розміри.
040 Свердлильна	Вертикально-свердлильний 2H135	Свердлити отвір 8 мм на прохід.
045 Різьбонарізна	Токарний 16K20	Нарізати різьбу М16.
050 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати начисто поверхню у розміри.
055 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати начисто поверхню у розміри.

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
060 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати начисто поверхню у розміри.
065 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати начисто поверхню у розміри.
070 Мийна	Машина для миття	Промити деталь.
075 Контрольна	Стіл ВТК	Контролювати розміри.

2.5 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Як відомо, застосовуються два методи для визначення припусків на обробку: розрахунково-аналітичний та табличний [29, 40, 48]. Визначення припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним методом проводимо для однієї найбільш точної поверхні. У нашому випадку це поверхня $\varnothing 20k6_{+0,015}^{+0,002}$ мм.

Розрахункова формула для визначення припуску на обробку зовнішньої чи внутрішньої поверхонь обертання

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.5)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей, мкм;

T_{i-1} – глибина дефектного шару на попередньому переході, мкм;

ρ_{i-1} – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності, симетричності, перетину осей, позиційне) і у деяких випадках відхилення форми поверхні (відхилення від площинності, прямолінійності) на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення заготовки на переході, що виконується.

Правильність розрахунку перевіряється за формулою:

$$z_{0 \max} - z_{0 \min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}}, \quad (2.6)$$

де $\delta_{\text{заг.}}$, $\delta_{\text{дет.}}$ – допуск заготовки та деталі відповідно.

Карта розрахунку припусків на обробку та граничні розміри по технологічних переходах наведені у таблиці 2.3.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot z_{\text{max}} - 2 \cdot z_{\text{min}} = \delta_z - \delta_{\text{Д}} \quad (2.7)$$

$$6455 - 5948 = 520 - 13;$$

$$507 = 507.$$

На решту поверхонь деталі припуски визначаються за довідниковими таблицями.

Таблиця 2.3 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\varnothing 20 \times 6$ мм

Технологічний перехід	Величина, що визначається, мкм			$2Z_{\text{min}}$, мкм	d_p , мм	Допуск на розмір, δ , мкм	Граничний розмір, мкм		Граничний припуск, мкм		
	R_z	H	Δ				D_{min}	D_{max}	$2Z_{\text{min}}$	$2Z_{\text{max}}$	
Заготовка	800	800	900	-	25,952	520	25,95	26,47	-	-	
Чорн. точіння	125	120	80	2·2500	20,952	130	20,95	21,08	5390	5000	
Н/ч точіння	40	40	30	2·325	20,302	52	20,302	20,354	726	648	
Чист. точіння	15	15	10	2·110	20,082	21	20,082	20,103	251	220	
Шліфування	5	5	-	2·40	20,002	13	20,002	20,015	88	80	
Сума								6455	5948		

Розраховані таким чином припуски на обробку зручно зобразити графічно (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 - Графічне розташування припусків та допусків
на обробку отвору $\varnothing 20k6_{+0,002}^{+0,015}$

На решту поверхонь деталі припуски визначаються за довідниковими таблицями (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Припуски поверхонь валу

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск Z_{\min} , мм
1	2	3	4
1,2	Торець	Фрезерування одноразове	3,8
3	Циліндрична	Точіння чорнове	2,2
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
4	Циліндрична	Точіння чорнове	2,5
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1
5	Циліндрична	Точіння чорнове	3
6	Циліндрична	Точіння чорнове	2,5
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1
7	Циліндрична	Точіння чорнове	3
8	Циліндрична	Точіння чорнове	2,2
		Точіння напівчистове	0,5
		Точіння чистове	0,2
		Шліфування чистове	0,1

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для механічної обробки валу розробляємо конструкцію затискного пристосування для 035 фрезерної операції, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальне креслення пристосування представлено у графічній частині роботи та на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне:

- 1 – камера пневматична; 2 – вал; 3 – кран; 4 – плита упорна; 5 – шток;
6 – упор; 7 – призма; 8 – шпонка; 9 – планка затискна; 10 – трубка;
11-14 – гайка; 15 – гвинт; 16 – кільце упорне; 17 – манжета;
18 – шайба; 19 – штифт

Принцип роботи пристосування наступний. Дві деталі 2, що підлягаю обробці, розташовуються у призмах 7. Налаштовуються на розмір за рахунок упору 6. При

подачі стиснутого повітря у пневматичну камеру 1 відбувається рух штоку 5, який разом із планкою 9 притискає вали до призми. Далі відбувається фрезерування шпонкового пазу.

3.2 Розрахунок зусилля затиску

Під час визначення зусилля затиску використовуємо літературні джерела [12, 36, 38, 39]. Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, яка необхідна для затиску W . Розрахункова схема пристосування показана на рисунку 3.2.

Рисунок 3.2 – Розрахункова схема

Сила P_z намагається виштовхнути заготовку паралельно площині закріплення. Складемо рівняння рівноваги у вигляді $\sum F_{ix}$:

$$F_{TP} - K \cdot P_z = 0; \quad (3.1)$$

$$F_{TP} = W \cdot f, \quad (3.2)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Тоді рівняння (3.1) набуде виду:

$$W \cdot f - K \cdot P_z = 0 \quad (3.3)$$

Звідки

$$W = \frac{K \cdot P_z}{f}, \quad (3.4)$$

де $K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$ – коефіцієнт запасу;

$K_0 = 1,2$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує стан поверхні деталі;

$K_2 = 1,3$ – коефіцієнт, який враховує затуплення РІ;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при перервному різанні;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, який враховує постійність сили затискання;

$K_5 = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує ергономіку затискних пристосувань;

$K_6 = 1,0$.

Тоді K дорівнює:

$$K = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 2,7.$$

$f = 0,1$ – коефіцієнт тертя.

Силу різання P_z визначимо за формулою [7, 28]:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega} \cdot K_p, \quad (3.5)$$

де $t = 3,0$ мм – глибина різання;

$S = 0,024$ мм/зуб – подача;

$B = 5$ мм – ширина фрезерування;

$z = 4$ – кількість зубів фрези;

$D = 10$ мм – діаметр фрези;

$n = 500$ хв⁻¹ – частота обертання фрези;

$K_p = 1,1$ – загальний поправочний коефіцієнт;

$C_p = 82,5$; $x = 0,95$; $y = 0,8$; $u = 1,1$; $q = 1,1$; $\omega = 0$ – коефіцієнти та показники степеню, які вибираються із таблиць довідників.

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{82,5 \cdot 3,00^{0,95} \cdot 0,024^{0,8} \cdot 5^{1,1} \cdot 4}{10^{1,1} \cdot 500^0} \cdot 1,1 = 24,3 \text{ (Н)}.$$

Визначимо силу, необхідну для закріплення:

$$W = \frac{24,3 \cdot 2,7}{0,1} = 656,1 \text{ (Н)}.$$

3.3 Розрахунок параметрів силового приводу

Розрахунок силового приводу зводиться до визначення зусилля на ведучій ланці механізму по відомій силі затиску, а потім, по визначеному зусиллю на ведучій ланці знаходиться діаметр пневмоциліндра.

Для даного пристосування можна записати:

$$Q = \frac{W}{i}, \quad (3.6)$$

де i – передавальне відношення сил, що характеризує конструктивні параметри механізму. Для даного пристосування $i=1$.

З урахуванням цього зусилля $Q = W = 656,1 \text{ (Н)}$.

Знайдемо діаметр поршня пневмоциліндра:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p \eta; \quad (3.7)$$

З цієї формули виразимо значення діаметра:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta} + d^2},$$

(3.8)

де D – діаметр поршня;

d – діаметр штока, 8 мм;

η – ККД пневмоциліндру, 0,8;

p – тиск повітря, що подається у пневмоциліндр, 0,6 МПа.

Обчислимо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 656,1}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 0,6} + 8^2} = 42,5 \text{ (мм)}$$

Приймаємо стандартний діаметр $D=50$ мм.

3.4 Розрахунок слабкої ланки

Розрахунок проведемо для вісі, що з'єднує шток пневмоциліндра та важелі.
Розрахунок робиться на зріз по формулам опору матеріалів:

$$\tau = \frac{P_{\max}}{F_{\min}} \leq [\tau], \quad (3.9)$$

де P_{\max} – максимальне зусилля зрізу, Н:

$$P_{\max} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p \eta, \quad (3.10)$$

$$P_{\max} = \frac{3,14 \cdot (50^2 - 8^2)}{4} \cdot 0,6 \cdot 0,8 = 917,9 \text{ (Н)},$$

$[\tau] = 70$ МПа – допустиме напруження на зріз;

F_{\min} – площа поперечного перерізу вісі, мм²;

$$F_{\min} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (3.11)$$

$$F_{\min} = \frac{3,14 \cdot 8^2}{4} = 50,2 \text{ (мм)}.$$

Тоді, за формулою (3.9) маємо

$$\tau = \frac{917,9}{50,2} = 18,3 \text{ (МПа)},$$

$$18,3 < 70.$$

Отже робимо висновок, що міцність вісі достатня.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Проаналізуємо два найбільш прийнятних методи виготовлення заготовки валу: КГШП та кування на молотах [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Розрахуємо собівартість виготовлення заготовки деталі.

Маса заготовки, кг, що виготовлена на КГШП:

$$Q_{заг} = \frac{Q_d}{k_i}, \quad (4.1)$$

де Q_d – маса деталі, кг ($Q_d = 1,3$ кг);

k_i – коефіцієнт використання матеріалу, 0,8 та 0,7 відповідно.

$$Q_{заг} = \frac{1,3}{0,8} = 1,6 \text{ (кг)}.$$

При отриманні деталі куванням:

$$Q_{заг} = \frac{1,3}{0,6} = 2,2 \text{ (кг)}.$$

Собівартість виготовлення заготовки на КГШП та на молотах визначається за формулою:

$$S_{заг} = 10^{-3} \cdot [(C_i \times Q_{заг} \times K_T \times K_{II} \times K_B \times K_C \times K_M) - (Q - q)S_{відх}], \quad (4.2)$$

де C_i – вартість однієї тони заготовок;

K_T – коефіцієнт точності;

K_{II} – коефіцієнт програми випуску;

K_B – коефіцієнт маси виливка;

K_C – коефіцієнт складності;

K_M – коефіцієнт матеріалу;

q – маса деталі;

Q – маса заготовки;

$S_{\text{відх}}$ – вартість відходів.

Підставивши значення у формулу (4.1) отримаємо, вартість заготовок головок поршня.

Штамповка на КГШП:

$$C_3^{\text{КГШП}} = \left[(72000 \times 1,6 \times 1,23 \times 1,23 \times 1,15 \times 1,14 \times 1,45) - (1,6 - 1,3) \cdot 20000 \right] \cdot 10^{-3} = 199,64 \text{ грн.}$$

Штамповка на молотах:

$$C_3^{\text{МОЛ}} = \left[(72000 \times 2,2 \times 1,23 \times 1,23 \times 1,15 \times 1,14 \times 0,9) - (2,2 - 1,3) \cdot 20000 \right] \cdot 10^{-3} = 264,8 \text{ грн.}$$

В результаті розрахунків видно, що в умовах середньосерійного виробництва доцільніше використовувати штампування на КГШП.

Економічний ефект у цьому випадку буде становити для валу з урахуванням програми випуску становитиме:

$$E = (264,8 - 199,64) \cdot 600 = 39096 \text{ грн.}$$

Висновок: проаналізувавши розрахунки двох методів, обираємо штампування на КГШП адже собівартість виготовлення заготовки валу за цим методом менша на 65,16 грн. на одиницю, а з урахуванням програми випуску – 39096 грн.

4.2 Розрахунок параметрів захисного заземлення

Маємо двигун електричний серії 4A100L2, що живиться від трифазної напруги $U=380\text{В}$, $N= 5,5$ кВт. Заземлення приймаємо у вигляді вертикальних труб діаметром $d=0,03$ м та довжиною $l=3$ м, що занурені у землю з відстанню до поверхні $h=0,8$ м. Труби розміщені за контуром та з'єднані смугою 50×5 мм. Ґрунт приймаємо суглинок із електричним опором $\rho=60$ Ом·м, нормальної вологості [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Розрахунок проводимо для 2 кліматичної зони. Для обладнання потужністю 3,0 кВт по нормам допустимого опору заземлюючого пристрою $[r_a] \leq 4$ Ом.

Визначаємо опір одного вертикального заземлювача R_b , Ом за формулою:

$$R_b = \frac{\rho_{\text{розр.}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left[\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right], \text{ Ом}, \quad (4.3)$$

де t – відстань від середини заземлювача до поверхні ґрунту, м;

l – довжина заземлювача, $l=3,0$ м;

$$t = h+l/2 = 0,8+3,0/2=2,3 \text{ м}, \quad (4.4)$$

$\rho_{\text{розр}}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho \cdot \psi \quad (4.5)$$

$$\rho_{\text{розр}} = 60 \cdot 1,6 = 96 \quad (4.5)$$

де ψ – коефіцієнт сезонності, який враховує можливість підвищення опору ґрунту протягом року, приймаємо $\psi=1,6$.

Тоді:

$$R_b = \frac{96}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,0} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot 3,0}{0,03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right] = 28,7 \text{ (Ом)}.$$

Визначаємо орієнтоване число однакових вертикальних трубних заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{R_b}{[r_a]} \cdot \eta_e. \quad (4.6)$$

де η_e – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, попередньо приймаємо 1.

Тоді:

$$n = 28,7/4 \times 1 = 7,2.$$

Приймаємо число заземлювачів $n = 8$. Приймаємо розташування вертикальних заземлювачів по контуру із відстанню між суміжними заземлювачами:

$$2 \times 1 = 2 \times 3,0 = 6,0 \text{ м.}$$

Враховуючи коефіцієнт використання $\eta_e = 0,66$, тоді число вертикальних заземлювачів:

$$n = 28,7/(4,0 \times 0,66) = 10,9.$$

Приймаємо $n = 11$.

Довжину з'єднувальної смуги розраховуємо за формулою:

$$l_n = 2 \times 1 \times n, \text{ м,} \quad (4.7)$$

$$l_n = 2 \times 3,0 \times 11 = 66 \text{ м.}$$

Опір з'єднувальної смуги розраховуємо за формулою:

$$R_n = \frac{\rho'_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l_n^2}{b \cdot h'}, \text{ Ом}, \quad (4.8)$$

де $\rho_{розр}$ – розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальної смуги.

Розрахунковий питомий опір ґрунту визначається за формулою:

$$\rho'_{розр} = \rho \cdot \varphi', \text{ Ом}, \quad (4.9)$$

де φ' – коефіцієнт сезонності, для горизонтальних стержнів $\varphi'=3$.

Тоді:

$$\rho'_{розр} = 60 \cdot 3 = 180 \text{ Ом}.$$

Відомо, що b – ширина смуги, 0,05 м; h' – відстань до поверхні, 0,8 м.

Тоді опір смуги:

$$R_n = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \ln \frac{66^2}{0,05 \cdot 0,8} = 66,5 \text{ Ом}.$$

Розраховуємо загальний розрахунковий опір заземлюючого пристрою з розрахунку з'єднувальної смуги за формулою:

$$R = \frac{R_b \cdot R_n}{R_b \cdot \eta_r + R_n \cdot \eta_b \cdot n}, \text{ Ом}, \quad (4.10)$$

де η_b – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, 0,66;

η_r – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів, 0,39;

$n = 11$ – стрижень.

Тоді:

$$R = \frac{28,7 \cdot 66,5}{28,7 \cdot 0,39 + 66,5 \cdot 0,66 \cdot 11} = 3,9 \text{ Ом}.$$

Правильно розрахований заземлюючий пристрій повинен відповідати умові:

$$R \leq [R_a]. \quad (4.11)$$

У нашому випадку маємо, що $3,9 < 4$. Отже, розрахунок виконано вірно.

4.3 Негативний вплив свинцю на живі організми

Під час інтоксикації свинцем спостерігається вплив на нервову та кровотворну системи. Особливо чутливі до свинцевих отруєнь діти. В організмі людини у середньому міститься близько 120 мг свинцю, який можливо виявити у всіх тканинах та органах, і у першу чергу – в скелеті. Десять років необхідно для того, щоб накопичений в кістках свинець зменшився усього на 50%. Завдяки господарській діяльності людини міграція свинцю у довкіллі набула гігантських масштабів. До 90% від загальної кількості викидів свинцю містять продукти згоряння бензину із домішками свинцевих з'єднань. Поява значної кількості свинцю в атмосфері, гідросфері, педосфері призвело до підвищення накопичення цього металу в організмах рослин, тварин і людини. У результаті самоочищення атмосфери значна частина свинцю або осаджується поблизу джерел забруднення, або повертається на поверхню суші та океанів із опадами.

Міський пил часто містить до 1% свинцю. Його вміст у дощі та снігові коливається від 1,6 мкг/л (в районах, що віддалені від промислових центрів), до 250-350 мкг/л у крупних містах. Стічні води промисловості є одним із основних джерел цього металу в гідросфері. У донних водоростях концентрація свинцю за рахунок ефекту накопичення збільшується до 700 разів, у фітопланктоні – до 4000, у зоопланктоні – до 3000, в молюсках – до 4000 разів.

Людина являє одну з останніх ланок харчового ланцюга, зазнає на собі найбільшу небезпеку нейротоксичного впливу свинцю. Поєднання свинцю потрапляють до організму людини через шкіру та слизові оболонки, через дихальні шляхи та травну систему. При інтоксикації свинцем розвивається ураження мозку

(енцефалопатія), погіршується дихальна функція крові внаслідок руйнування еритроцитів, порушення функції травлення внаслідок атрофії слизової оболонки тонкого кишківника. За рахунок витіснення свинцем цинку та міді відбувається пригнічення цілого ряду ферментів. Вміст свинцю у крові не призводить до норми навіть через три роки після нормалізації його рівня в атмосфері регіону. За умов проживання при підвищених концентраціях встановлена залежність між рівнями свинцю і кадмію у волоссі школярів та ступенем їх розумового розвитку.

ВИСНОВКИ

Відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1. Визначено службове призначення вузла, винесеного на розгляд. Проведено аналіз деталі, що є складовою коробки подач, а саме валу. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замітника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – середньосерійний.

діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 20 \times 6$ мм розрахунково-аналітичним методом та табличним способом на інші поверхні.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час операції механічної обробки валу, а саме фрезерування шпонкового пазу. Здійснено розрахунок зусилля затиску, а також параметрів силового приводу. Розраховано слабку ланку на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки валу коробки подач. Річний економічний ефект для програми випуску 600 шт. склав 39096 грн. Окрім того, здійснено розрахунок захисного заземлення електричного обладнання. Приділено увагу негативному впливові свинцю на довкілля та живі організми.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик коробки подач, кресленик валу, кресленик заготовки валу, складальний кресленик пристосування для виконання операції механічної обробки фрезеруванням.