

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: «Конструкторсько-технологічні аспекти механічної обробки
порожнистого валу коробки передач»

КРБ.133ГМбд_41.20.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_41
ШИРКЕВИЧ Олександр

Керівник: докт. техн. наук, професор
ХАРЧЕНКО Сергій

Полтава – 2025 року

ВСТУП

Коробки передач у сільськогосподарських машинах мають різне призначення, що залежать від умов роботи та типу техніки. Основні типи трансмісій бувають наступні:

1) механічні коробки передач (простота конструкції та надійність; дозволяють водієві самостійно вибирати передавальні числа, що важливо для роботи у різних умовах; часто застосовуються на тракторах та інших машинах, де необхідний контроль за потужністю та швидкістю. Підходять для функціональної роботи в сільському господарстві. Менше витрат на обслуговування та ремонт. Вимагають від оператора навичок керування);

2) автоматичні коробки передач (забезпечують зручність в управлінні, особливо на довгих маршрутах або при виконанні операцій, що повторюються; здатні адаптуватися до умов роботи, що змінюються, вибираючи оптимальні передавальні числа. Зручні у використанні, знижують стомлюваність оператора. Можуть призвести до збільшення витрат палива при неефективному налаштуванні. Хороші для великих господарств із високими обсягами робіт);

3) гідравлічні трансмісії (використовують гідравлічну рідину для передачі енергії, що забезпечує плавну зміну швидкості та тяги; часто використовуються у спеціалізованій техніці, де потрібна висока маневреність. Забезпечують високу ефективність роботи та легкість управління. Найменше зусиль потрібно від оператора, особливо при частих маневрах. Можуть бути дорогими в обслуговуванні та ремонті);

4) безступінчаста трансмісія (CVT) (дозволяє безступінчасто змінювати передатне число, що оптимізує роботу двигуна та знижує витрату палива. Ідеальні для сільськогосподарських робіт, де необхідно підтримувати постійні обороти двигуна за зміни швидкості. Забезпечують максимальну ефективність та економічність. Підвищують комфорт роботи з допомогою плавного переходу між швидкостями. Висока вартість та складність ремонту можуть бути недоліками).

Безпосередній вибір типу коробки залежить від конкретних завдань та умов експлуатації сільськогосподарської техніки. Механічні коробки підходять для традиційного використання, тоді як автоматичні та гідравлічні трансмісії забезпечують зручність та ефективність

Деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі (вал), є складовою частиною коробки передач.

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

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 відомими методами;
- сконструювати затискне пристосування для реалізації процесу механічної обробки, а також визначити зусилля затиску, розрахувати параметри силового приводу, здійснити розрахунок складної ланки;
- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки деталі, а також запропонувати заходи із точки зору 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

На розгляд виноситься коробка передач, що застосовується для зміни передаточного числа (рисунок 1.1, таблиця 1.1). За результатами його зміни ми маємо різні значення кінематичних характеристик машини (швидкість, кутова швидкість, частота обертання, обертовий момент). Це дає можливість до безпосередньої адаптації сільськогосподарської машини до різних умов роботи. Наприклад, низька передача забезпечує високе тягове зусилля під час старту чи підйому. Висока передача дозволяє розвивати більш високі значення швидкості. Двигуни працюють більш ефективно у певному діапазоні обертів. Коробка допомагає підтримувати ці оберти за рахунок зміни передаточного числа залежно від навантаження та умов. За допомогою різних передач оператор може легко маневрувати за умов обмеженого простору. Це особливо важливо під час виконання сільськогосподарських робіт, наприклад, під час поворотів (розворотів) на сільськогосподарських угіддях. Правильне використання коробки допомагає оптимізувати витрату палива. Двигун працює у найбільш ефективному режимі, що суттєво знижує витрати палива. Коробка перетворює потужність від двигуна до коліс, забезпечуючи необхідну тягу та швидкість. Це особливо важливо у важкій сільськогосподарській техніці, де потрібна висока потужність для виконання різних операцій. Коробка передач допомагає уникнути перевантаження двигуна, дозволяючи йому працювати у безпечному діапазоні обертів, що продовжує термін служби агрегату.

Коробка є критично важливим компонентом, що дозволяє сільськогосподарським машинам та іншим транспортним засобам ефективно працювати в різних умовах. Вона забезпечує необхідну потужність і швидкість, підвищує економію палива та покращує маневреність, що робить роботу більш продуктивною та комфортною.

Рисунок 1.1 – Коробка передач: 1 – колесо зубчасте; 2 – вал; 3-6 – кільце мазеутримуюче; 7 – гайка; 8-10 – колесо зубчасте; 11 – кільце; 12 – корпус; 13-16 – кришка; 17-20 – прокладка; 21 – втулка; 22 – шпонка; 23 – шків; 24 – вал; 25 – ручка-перемикач; 26 – втулка; 27 – штифт; 28 – колесо зубчасте; 29 – повзун; 30-34 – болт; 35, 36 – манжети; 37-40 – підшипники; 41-42 – шайба; 43 – шпонка

Від двигуна обертання передається за рахунок клинопасової передачі на привідний вал. Потім, через зубчасті передачі на вихідний вал.

Основна технічна характеристика наведена у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика вузла

Назва параметра	Величина
Кількість ступенів	3
Метод регулювання	Перемиканням зубчастих коліс
Частота обертання, об/хв.	40...1600
Габаритні розміри, мм	500×405×530
Маса, кг	250

Комбінація двигуна та трьохступінчастої коробки швидкостей забезпечує діапазони регулювання від 40 до 1600 об/хв. Коробка вбудована безпосередньо в корпус. Спосіб змащування – картерний. При цьому підшипники кочення змащуються бризками масла.

Деталю, що виноситься на детальний розгляд, є вал порожнистий (рисунок 1.2).

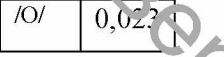
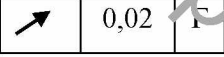
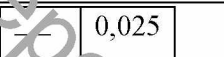
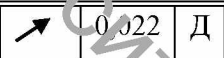
Вал має декілька функцій: закріплення зубчастих коліс та передача обертового моменту до кінцевого споживача. Викотворений за сталі 40Х. Передній кінець виконаний у вигляді конуса 7:24. Загальна довжина деталі становить 418 мм. Підлягає обов'язковій термічній обробці, тому що працює за умов скручування та зсуву.

1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі 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].

Рисунок 1.2 – Вал

Таблиця 1.2 – Аналіз параметрів точності

№	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	Шорсткість R_a
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична	Ø60	k6	-		0,32
2	Циліндрична	Ø70	h8	-		3,2
3	Циліндрична	Ø80	g6	-		3,2
4	Циліндрична	Ø90	h8	-	-	4,0
5	Циліндрична	Ø95	k6	-		0,25
6	Циліндрична	Ø100	h6	-		0,63
7	Отвір	Ø20	H10	-	-	1,6

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6	7
8	Отвір	Ø65	H7	-	-	4,0
9	Торець	418	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	4,0
10	Торець	27	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	4,0
11	Торець	105	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	4,0
12	Торець	130	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	4,0
13	Торець	177	$\pm \frac{IT12}{2}$	-	-	4,0

При проведенні аналізу виявлено, що вимоги до точності і шорсткості прийнятні, розміри проставлені раціонально. Найточніша поверхня – Ø60k6, шорсткість $R_a=0,32$ мкм, що цілком задовольняє умови роботоздатності.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Деталі машин і конструкцій працюють в умовах надзвичайно високих динамічних навантажень, низьких або високих температур та підвищених концентрацій напружень. Отже, вимоги до вибору матеріалу ставляться дуже високі.

При виготовленні деталі даного вузла в якості матеріалів застосовується сталь 40Х за ДСТУ 7804:2015 [24, 37].

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

Конструкційна легована сталь марки 40Х важкозварна, способи зварювання: РДЗ, ЕШЗ. Необхідний підігрів і наступна термообробка. Сталь 40Х є флокеночутлива і схильна до відпускнуї крихкості.

Зі сталі 40Х роблять: осі, плунжери, штоки, кільця, різні вали-шестірні і колінчасті вали; сталь марки 40Х йде на виготовлення болтів і втулок. Різної товщини квадрат 40Х придатний для виготовлення деталей, що повинні мати підвищену міцність. Щільність – 7850 кг/м³, модуль пружності E = 214000 МПа, модуль зсуву G=85000 МПа. Температура кування – початку 1250°C, кінця 800°C. Перерізи до 350 мм прохолоджуються на повітрі.

Хімічний склад - кремній: 0.17-0.2%, 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.

Сталь 40Х підходить для виготовлення різних деталей, що поліпшуються. З неї випускаються вироби підвищеної міцності. Замінниками сталі марки 40Х є сталі марок 45Х и 45ХН, також сталь 40Х можуть замінити сталі 38ХА і 40ХС.

Властивості матеріалу валу, а також марку, хімічний склад та властивості матеріалу-замінника наведено нижче (таблиця 1.3).

Таблиця 1.3 – Механічні властивості матеріалу шпинделя

Матеріал	Термообробка				Механічні властивості					
	Загартування		Відпускання		σ_T	σ_B	δ	ψ	Твердість HB, не більше	
	Температура, °C	Середовище охолодження	Температура, °C	Середовище охолодження	МПа		%			
40X	860	Олива	500	Вода або олива	785	980	10	45	59	217
45X	840	Олива	520	Вода або олива	835	1030	9	45	49	229

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

1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку в деталях валу коробки передач у кількості 450 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.

$$N_{зан} = (450 + 0,04 \cdot 450) \cdot (1 + 0,025) = 480 \text{ (шт.)}.$$

Максимальна маса оброблюваних заготовок деталей вузла не перевищує 20 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – дрібносерійний.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Аналіз технологічності вузла являється одним з ключових моментів проектування, 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, які відповідають технологічності виробу. Якщо вузол 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, підгонючі роботи відсутні. Це пояснюється точністю виготовлення деталей, правильним вибором конфігурації деталей, доцільним їх розташуванням, застосуванням прокладок, які компенсують похибку при встановленні.

2. 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:

$$K_{cm} = \frac{E_{cm}}{E}; \quad (2.1)$$

де: E_{cm} – кількість стандартизованих одиниць,

E – загальна кількість одиниць.

$$K_{cm} = \frac{76}{99} = 0.71.$$

Коефіцієнт уніфікації:

$$K_{yn} = \frac{E_y}{E}; \quad (2.2)$$

де: E_y – кількість уніфікованих одиниць,

E – загальна кількість одиниць.

$$K_{yn} = \frac{20}{99} = 0,2.$$

Оцінка технологічності складальної одиниці за коефіцієнтами стандартизації та уніфікації проводиться з метою поліпшити технологічні властивості деталі, зменшити кількість не стандартизованих деталей, унікальних трудомісткісних деталей.

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 одної 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 мій 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, на наш погляд, необхідно передбачити гідравлічні запресовщики 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.

Результати аналізу на технологічність деталі наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність деталі

№ з.п.	Показники технологічності	Висновки за показниками технологічності	Дії щодо поліпшення 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.	Така деталь має циліндричну форму і закріплюється в патроні або центрах верстата без проблем.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
3	Отвори повинні бути такими, щоб їх можна було обробляти на прохід.	Дана деталь має один отвір – наскрізний $\varnothing 20$ мм. Тому при свердлінні операція виконується на прохід, вал затискається в лещатах.	Не потрібні.
4	Розміри і розташування отворів на корпусі деталі повинні дозволяти багатошпindelну обробку.	Дана вимога виконується.	Не потрібні.
5	Для можливості автоматизації обробки не бажано застосовувати різьбові отвори $< \varnothing 6$ мм.	В деталі застосовується різьбовий отвір $\varnothing 6$ мм.	Не потрібні.
6	В конструкції деталі необхідно передбачати можливість захвату її роботом.	Захват деталі може проводитися роботом за циліндричну поверхню деталі.	Не потрібні.
7	Не бажана наявність глухих шліфованих поверхонь	Деталь не має глухих шліфованих поверхонь.	Не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
8	Необхідна перевірка співвідношення між полями допусків і шорсткістю.	Співвідношення між полями допусків і шорсткістю є задовільними.	Не потрібні.
9	Надавати перевагу валам з шпонковими канавками, що обробляються дисковими фрезами.	Деталь має шпонкову канавку.	Обробляти шпонкову канавку дисковою фрезою.
10	Вали повинні мати центрові отвори та повинні дозволяти з'ясувати шпиндельну обробку.	Дана вимога виконується.	Не потрібні.
11	Для можливості автоматизованого складання необхідно передбачати на установчих поверхнях лиски, конуси і т. ін.	Дана вимога виконується.	Не потрібні.

Розглянувши таблицю, можна зробити висновки, що в цілому деталь за більшістю показників є технологічною для умов автоматизованого виробництва.

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Даний вузол повинен вироблятися за умов серійного виробництва, тому діючі технологічні процеси мають 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 даний технологічний процес написаний 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 з ЧПК. З одного боку це дещо збільшить час на обробку деталей, але в порівнянні з витратами на підготовку виробництва в цілому 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 витрат.

Ще до чого можна висунути зауваження – це те, що всі різьбові отвори в базовому технологічному процесі роблять глухі, а це зовсім не доречно, бо при нарізанні різьби мітчик може зламатися і дістати його буде проблематично. Отже, де це можливо будемо замінювати глухі різьбові отвори на наскрізні.

Щодо технологічного процесу виготовлення заготовки валу, то пропонуємо отримання його не з прокату, як вказано в базовому технологічному процесі, а методом штампування. Виготовлення валу з прокату вимагає значних припусків на механічну обробку. Хоча даний метод дешевий, але наступна механічна обробка

вимагає значних витрат на зняття припуску. При штампуванні припуск, який знімається менше, тому відразу відпадає необхідність у деяких операціях механічної обробки. Це автоматично зменшує кількість верстатів.

2.3 Обробка 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:

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2}{T_3} \cdot \frac{T_{i-1}}{T_i} \cdot \frac{T_{n-1}}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_n = \prod_i^n \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

де ε – загальне значення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

P – 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 чоргової 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:

$$n_p = \lg(\varepsilon) / 0,46. \quad (2.2)$$

Приклад, для обробки поверхні $\varnothing 60k6$. Допуск за креслеником 0,019 мм, допуск заготовки – 4,5 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{4,5}{0,019} = 236,8.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 236,8}{0,46} \approx 5.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 5 етапів обробки для даної поверхні.

Пропонуємо наступні обробки поверхонь деталі (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Методи обробки поверхонь деталі

№ з.п.	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	Достигнутий допуск, мкм	Коефіцієнт уточнення	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
2	12	520	6,3	1300	14	2,5	1.	Фрезерування	12	520	2,5	2,5
3	12	180	-	-	-	-	1.	Свердління	12	180	-	-

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	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	
5	12	210	12,5	520	14	2,48	1.	Точіння чорнове	12	210	2,48	2,48
6	7	35	1,6	1400	15	40	1.	Розточування чорнове	11	220	6,36	40
								Розточування напівчистове	8	54	4,07	
								Розточування чистове	7	35	1,54	
7	9	30	6,3	-	-	-	1.	Фрезерування	9	30	-	-
8	7Н	-	-	-	-	-	1.	Нарізання різьби	7Н	-	-	-
9	7	15	-	-	-	-	1.	Свердління	7	15	-	-
10	6Н	-	-	-	-	-	1.	Нарізання різьби	6Н	-	-	-

Загальний висновок: при виборі методів обробки кожної поверхні деталі, будемо керуватися показниками собівартості обробки та збільшенням якості оброблюваних поверхонь.

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будуємо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Маршрут обробки деталі

№ операції	Обладнання	Зміст операції
1	2	3
005 Заготівельна	КПДП	
010 Термічна	Піч камерна ПКО 14-300	
015 Фрезерно- свердлильна	Фрезерно- свердлильний ГС-520	
020 Токарна із ЧПК	Токарний із ЧПК 16К20РФ3	

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
025 Токарна із ЧПК	Токарний із ЧПК 16K20PФ3	
030 Фрезерна	Вертикально- фрезерний 6T13	
035 Токарна	Токарно-револьверний 1336	
040 Термічна	Установка СВЧ	
045 Термічна	Установка СВЧ	
050 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	
055 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	
060 Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	
065 Слюсарна	Верстак слюсарний	
070 Контроль	Стіл ВТК	

2.5 Призначення схем базування

Обираємо технологічні бази для кожної технологічної бази (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 – Схеми базування при обробці деталі

2.6 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 розмір $\varnothing 60k6$ мм.

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

$$2z_{i \min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.3)$$

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:

$$Z_{0 \max} - Z_{0 \min} = \delta_{\text{заг.}} - \delta_{\text{дет.}}, \quad (2.4)$$

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 2.5.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_z - \delta_d; \quad (2.5)$$

$$5179 - 3298 = 1900 - 19;$$

$$1881 = 1881.$$

Таблиця 2.5 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці Ø60k6 мм

Технологічний перехід	Елемент припуску, мкм			Розр. припуск 2Z _{min} , мкм	Розр. розмір, d _p , мм	Допуск δ, мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	R	T	p				D _{min}	D _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Заготовка	200	250	836	-	63,534	1900	63,3	65,2	-	-
Точіння чорнове	100	100	0	2572	60,762	740	60,8	61,54	2500	3660
Точіння напівчистове	50	50	0	400	60,362	300	60,4	60,7	400	840
Точіння чистове	25	25	0	200	60,162	120	60,2	60,32	200	380
Шліфування чорнове	10	20	0	100	60,062	46	60,1	60,146	100	174
Шліфування чистове	5	15	0	60	60,002	19	60,002	60,021	98	125
Σ									3298	5179

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки деталі (фрезерна 030) розробляємо конструкцію затискного пристосування, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальний кресленник пристосування представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосування складається із наступних елементів. 1 – пневмоциліндр; 2 – прихват; 3 – корпус; 4 – шпонка; 5 – призма; 6 – плита затискна; 7, 8 – упор; 9 – плита; 10 – трубка; 11 – кран; 12 – центр; 13, 14 – болт; 15 – гвинт.

Пристосування з пневматичним затиском заготовки. Деталь базується у призмах і затискається прихватом зверху від дії пневматичного приводу.

3.2 Розрахунок зусилля затиску та параметрів силового приводу

Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, яка необхідна для затиску W [7, 28, 12, 36, 38, 39]. На даній операції максимальна сила різання P_z при фрезеруванні шпонкового пазу.

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

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

$F_{TP} = W \cdot f$, де f – коефіцієнт тертя.

Тоді рівняння (3.1) прийме вигляд:

$$W \cdot f - K \cdot P_z = 0. \quad (3.2)$$

Звідки

$$W = \frac{K \cdot P_z}{f}, \quad (3.3)$$

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

$K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

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

$K_2 = 1,4$ – 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 К дорівнює.

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 3,6.$$

$f = 0,1$ – коефіцієнт тертя.

Силу різання P_z визначимо за формулою:

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_p, \quad (3.4)$$

де $t = 3,0$ мм – глибина різання;

$S = 0,1$ мм/зуб – подача;

$B = 14$ мм – ширина фрезерування;

$z = 2$ – кількість зубів фрези;

$D = 14$ мм – діаметр фрези;

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

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

$C_1 = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1,0$; $q = 0,86$; $w = 0,3$ – коефіцієнт та показники степеню.

Визначимо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3,0^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 14^{1,0} \cdot 2}{14^{0,86} \cdot 500^{0,3}} \cdot 1,1 = 165 \text{ (Н)}.$$

Визначимо силу, необхідну для закріплення:

$$W = \frac{165 \cdot 3,6}{0,1} = 5940 \text{ (Н)}.$$

Діаметр пневматичного циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi P_n \cdot \eta}}, \quad (3.5)$$

де P_n – тиск стиснутого повітря, $P_n = 0,6$ МПа;

η – коефіцієнт корисної дії привода; $\eta = 0,9$;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 5940}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,9}} = 118,4 \text{ (мм)}.$$

Із стандартного ряду приймаємо діаметр пневматичного циліндра 120 мм.
Відповідно, реальне зусилля, що створюється силовим приводом становитиме:

$$Q = P_n \frac{\pi D^2}{4} \eta, \quad (3.6)$$

$$Q = 0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 120^2}{4} \cdot 0,9 = 5426 \text{ (Н)}.$$

3.3 Розрахунок слабкої ланки на міцність

На наш погляд, слабкою ланкою є різьба М38 на штоці пневматичного циліндра затискного пристосування, що зазнає зусилля 5426 Н. Перевірку проводимо за допустимим напруженням.

Допустиме максимальне напруження визначимо за формулою:

$$[\tau] = 0,2 \cdot \sigma_T, \quad (3.7)$$

де σ_T – межа текучості, для сталі 45 становить 340 МПа;

$$[\tau] = 0,2 \cdot 340 = 68 \text{ (МПа)}.$$

Визначимо діюче напруження у різьбі:

$$\tau = \frac{Q}{\pi \cdot D_{\min} \cdot K \cdot h \cdot 10^{-6}}; \quad (3.8)$$

де $D_{\min}$ – мінімальний діаметр, для М38 – 34,5 мм;

K – коефіцієнт для трикутної різьби, 0,8;

h – висота гайки, 27,5 мм.

Отже, маємо

$$\tau = \frac{426}{\pi \cdot 34,5 \cdot 0,8 \cdot 27,5 \cdot 10^{-6}} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ (Па)} = 2,3 \text{ (МПа)}$$

Як ми бачимо, діюче напруження у різьбі не перевищує допустимої величини.

Отже можна зробити висновок, що шток має достатню міцність.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для деталі, що виготовляється зі сталі 40Х за ДСТУ 7806:2015, способи отримання заготовок: вільне кування та штампування на молотах [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Ціну кованки визначаємо:

$$C_K = 0,001 \cdot (C_{\text{бк}} \cdot G_K \cdot K_K \cdot K_{\text{СК}} \cdot K_{\text{МК}} \cdot K_{\text{ПК}} \cdot K_{\text{ВК}} \cdot (G_K - G_g) \cdot C_{\text{ВХ}}) \quad (4.1)$$

де $C_{\text{бк}}$ – базова ціна однієї тони матеріалу, грн.;

G_g – маса деталі, кг, $G_g = 17,0$ кг.;

G_K – маса кованки, кг,

$$G_{K(\text{кув-я})} = \frac{17}{0,6} = 28,3 \text{ (кг)};$$

$$G_{K(\text{штам-я})} = \frac{17}{0,7} = 24,3 \text{ (кг)}.$$

$K_{\text{ТК}}$, $K_{\text{СК}}$, $K_{\text{МК}}$, $K_{\text{ПК}}$, $K_{\text{ВК}}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності, марки матеріалу, програми річного замовлення та виду кувального обладнання;

$C_{\text{ВХ}}$ – ціна відходу матеріалу, грн.

Основними ознаками класифікації штампованих кованок є: точність виготовлення, група сталі, конфігурація поверхні різнімання штампа, що використовується, ступінь складності.

Знаходимо для заготовки деталі вал:

- ступінь складності С2;

- група сталі М2;
- клас точності Т5;
- група серійності 2.

Знаходимо значення коефіцієнтів:

$$K_{TK}=1,23; K_{СК}=1,14; K_{ВК(кув-я)}=0,9; K_{ВК(штам-я)}=1,45; K_{ПК}=1,15; K_{МК}=1,23.$$

Визначаємо оптову ціну однієї тони сталі 40Х – 50000 грн. за тону, оптову ціну відходів сталі 40Х – 10000 грн.

Порівняймо ціни кованок для двох методів отримання заготовок: для вільного кування та штампування на молотах.

$$C_{В,кув} = 0,001(50000 \cdot 28,3 \cdot 1,23 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 1,14 \cdot 0,9 - (28,3 - 17) \cdot 10000) = 2412,9 \text{ грн.};$$

$$C_{шт} = 0,001(50000 \cdot 24,3 \cdot 1,23 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 1,14 \cdot 1,45 - (24,3 - 17) \cdot 10000) = 3421,3 \text{ грн.}$$

Визначимо економічний ефект з урахуванням річної програми випуску:

$$E = (3421,3 - 2412,9) \cdot 450 = 453780 \text{ (грн.)}.$$

Висновок: як видно із розрахунків ціна кованок, отриманих вільним куванням, нижча за ціну штампованих кованок.

4.2 Розрахунок освітленості точковим методом

Розрахуємо точковим методом освітленість у контрольній точці А (рисунок 4.1) горизонтальної робочої поверхні, що освітлюється вісьма однаковими світильниками типу «Астра» з 1-єю лампою у світильнику із використанням [2, 8,

10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50]. Коефіцієнт додаткової освітленості приймаємо $\mu=1,0$. Перехідний коефіцієнт для горизонтальної площини $\psi_i=1,0$.

Рисунок 4.1 – Схема розміщення світильників

Початкові дані: відстань у плані $c=3$ м, $s=1,5$ м, лампи типу ДРЛ 1000 Вт, $H=4$ м, $h_p=0,8$ м, $h_c=0,5$ м; $\Phi_{\text{факт}}=5000$.

1) розрахункова висота підвішування світильника, м:

$$h = H - h_p - h_c; \quad (4.2)$$

$$h = 4,0 - 0,8 - 0,5 = 2,7 \text{ (м)};$$

2) визначимо проекції відстаней, м, від світильників 1...8 до розрахункової точки А:

$$d_1 = \sqrt{1,5^2 + 7,5^2} = 7,65;$$

$$d_2 = \sqrt{1,5^2 + 4,5^2} = 4,74;$$

$$d_3 = d_4 = \sqrt{1,5^2 + 1,5^2} = 2,12;$$

аналогічним чином матимемо, що: $d_5 = 8,75$; $d_6 = 6,36$ м; $d_7 = d_8 = 4,74$ м;

3) умовна освітленість, створювана одним і-м світильником у контрольній точці: $e_1=0,5$ лк; $e_2=2$ лк; $e_3=e_4=13$ лк; $e_5\approx 0$ лк; $e_6=0,7$ лк; $e_7=e_8=2$ лк;

4) освітленість, лк, у контрольній точці, створювана всіма світильниками:

$$E_{\text{факт}} = \frac{\varphi_{\text{факт}} \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^n (e_i \cdot \psi_i)}{1000 \cdot k}, \quad (4.3)$$

де k – коефіцієнт запасу на запилення;

$$E_{\text{факт}} = \frac{5000 \cdot 1,0 \cdot 33,2}{1000 \cdot 1,2} = 1383,3 \text{ (лк)}$$

Отже, $E_{\text{факт}}=1383,3 \text{ лк} > E_{\text{н}}=1250 \text{ лк}$, тому освітленість у контрольній точці А задовольняє вимоги норм.

4.3 Вплив виробничого шуму на довкілля, заходи зі зниження

Виробничий шум є однією із значних екологічних проблем, впливаючи як на довкілля, так і на здоров'я людини. Розглянемо цей вплив докладніше.

1. Порушення екосистем. Високий рівень шуму може заважати тваринам у їхньому природному середовищі, порушуючи їх поведінкові звички, такі як пошук партнерів, полювання та спілкування. Деякі види, особливо ті, які залежать від слуху, можуть значно постраждати, що може призвести до зниження популяцій. Шум може впливати на міграційні шляхи птахів та інших тварин, змінюючи їх маршрути і цим порушуючи екосистемні зв'язки.

2. Здоров'я людини. Тривалий вплив виробничого шуму пов'язаний з різними проблемами зі здоров'ям. Наприклад, дослідження показують, що люди, які працюють у відповідних умовах, мають підвищений ризик серцево-судинних захворювань, гіпертонії та інших хронічних захворювань. Шум також впливає на

психічне здоров'я, викликаючи стрес, тривогу та депресію. Він може погіршувати якість сну, що у свою чергу веде до зниження працездатності та погіршення загального стану здоров'я.

3. Соціальні наслідки. В умовах високого рівня шуму можуть виникати конфлікти між сусідами та спільнотами. Це може знижувати рівень життя у певних районах, зменшувати їхню привабливість для проживання та інвестицій. Також шум може знижувати концентрацію на роботі та навчанні, що негативно позначається на продуктивності та загальному рівні освіти.

Розглянемо заходи зі зниження виробничого шуму.

1. Ізоляція та акустичні бар'єри. Встановлення звукоізолюючих панелей і огорож навколо шумних джерел допомагає знизити рівень шуму, що поширюється у навколишнє середовище. Ці бар'єри можуть бути виконані з різних матеріалів, включаючи бетон, метал та спеціальні акустичні матеріали. Крім того, створення «зелених» зон (наприклад садів та лісів) навколо виробництв також може допомогти у поглинанні звукових хвиль.

2. Удосконалення обладнання. Заміна старого, шумного обладнання на сучасні, тихіші технології. Наприклад, використання електродвигунів замість двигунів внутрішнього згоряння може значно знизити рівень шуму. Регулярне технічне обслуговування обладнання дозволяє виявити та усунути причини надмірного шуму, такі як вібрації або неправильне встановлення.

3. Оптимізація виробничих процесів. Перегляд технологічних процесів для мінімізації шумових викидів. Це може включати автоматизацію процесів, що часто знижує рівень шуму з порівнянні з ручною роботою. Впровадження «тихих» технологій, таких як використання безшумних конвеєрів та обладнання, що працює на низьких рівнях шуму.

4. Планування та зонування. Ефективне територіальне планування з урахуванням рівнів шуму. Наприклад, розміщення шумних виробництв на відстані від житлових районів та створення буферних зон із зеленими насадженнями.

Встановлення нормативів рівня шуму залежно від призначення території, що дозволить контролювати та регулювати діяльність підприємств.

3. Навчання персоналу. Проведення тренінгів для співробітників стосовно важливості зниження рівня шуму, включаючи використання засобів індивідуального захисту, таких як навушники. Впровадження культури дбайливого ставлення до довкілля та інформування працівників про вплив шуму на здоров'я та продуктивність.

3. Моніторинг та контроль: Регулярний моніторинг рівнів шуму на підприємствах та в їх околицях. Це дозволяє своєчасно виявляти проблемні зони та вживати заходів щодо їх усунення. Розробка та впровадження програм з управління шумом, які включають як технічні рішення, так і заходи щодо навчання та підвищення обізнаності.

Таким чином, зниження виробничого шуму потребує комплексного підходу, що включає взаємодію між різними сторонами: підприємствами, державними органами, науковими установами та суспільством. Це дозволить створити більш комфортне та безпечне середовище як для людей, так і для екосистеми у цілому.

ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення коробки передач. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме валу порожнистого. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно замінника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – дрібносерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталей. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу порожнистого. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 60k6$ мм розрахунково-аналітичним методом.

3. Запропоновано конструкцію затискного пристосування, що може бути використано під час фрезерування шпонкових пазів валу порожнистого. Визначено зусилля затиску. Розраховано параметри силового приводу. Проведено розрахунок слабкої ланки на міцність.

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки. Річний економічний ефект під час порівняння між двома заготівельними технологіями для програми випуску 450 шт. склав 453780 грн. Окрім того, проведено інженерні розрахунки освітлення виробничого приміщення точковим методом. Приділено увагу впливу виробничого шуму на довкілля та заходам з його зниження.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик коробки передач, кресленик валу порожнистого, кресленик заготовки валу порожнистого, складальний кресленик затискного пристосування для виконання фрезерної операції механічної обробки.