

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: «Організація машинобудівного виробництва вісі редуктора
черв'ячного із конічним диференціалом»

КРБ.133ГМбд_31[2].04.00.00.000 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]
ДРАБИНОГА Андрій

Керівник: канд. техн. наук, доцент
ПОПОВ Станіслав

Полтава – 2024 року

ВСТУП

Як відомо, черв'ячний редуктор – це механізм, що дозволяє змінювати обертовий момент та кутову швидкість за рахунок механічної передачі, що розташована всередині. Черв'ячні редуктори такої серії отримали свою назву завдяки механічній передачі, у якій використовується особливий гвинт із трапецеїдальною формою, який прийнято називати «черв'як». Редуктори планетарної конструкції (диференціальні) широко застосовуються у пристроях та механізмах, що здійснюють передачу значних обертових моментів. Вони повинні задовольняти самим жорстким критеріям довговічності та надійності.

Саме тому розробка та удосконалення деталей черв'ячних диференціальних редукторів машин та обладнання, що використовуються для обробки сільськогосподарських угідь є важливою науково-технічною задачею [32].

Отже деталь, винесена на розгляд у кваліфікаційній роботі, а саме вісь, є складовою частиною редуктора черв'ячного диференціального, що призначений для передачі обертового моменту в мотоблоці.

Мета роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є редуктор черв'ячний диференціальний для передачі обертового моменту, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення вісі, що входить до його 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 методом, а також табличним методом;

- 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 редуктор черв'ячний з конічним диференціалом (рисунок 1.1), що може бути використаний у конструкції мотоблоку.

Мотоблоки використовуються для обробки ґрунту, висаджування різноманітних культур та збирання врожаю. До технологічних операцій, які вони забезпечують, можна віднести наступні: оранка, рихлення, боронування, вирівнювання верхнього шару, видалення бур'янів, прополювання, підгортання, садіння тощо. Редуктор дозволяє змінювати швидкість тихохідного валу в широкому діапазоні, змінюючи швидкість черв'яків та їх напрямок обертання, або зупиняючи один із них (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика редуктора черв'ячного з конічним диференціалом

№ з.п.	Найменування параметру	Розмірність	Значення
1	Передатне число	-	18,35/125,1
2	Число ступенів	-	2
3	Діаметр вхідного (вихідного) валу	мм	28 (40)
4	Максимальний обертовий момент на тихохідному валі	Н·м	2000
5	Габаритні розміри	мм	570×460×390
6	Маса	кг	58

Рисунок 1.1 – Редуктор черв'ячний з конічним диференціалом:

1 – корпус; 2 – вісь; 3 – кришка корпусу; 4, 5 – вал; 6 – зубчастий вінець;
7, 8 – шестерня; 9, 11, 12, 13, 14 – кришка; 10 – віддушина; 15 – стакан; 16 – щуп
(не показано); 17 – втулка; 18-21 – прокладка; 22-26 – болт; 27-30 – гайка;
31 – гвинт; 32, 33 – манжета; 34-38 – підшипник; 39 – пробка (не показано);
40-45 – шайба; 46-47 – шпонка (не показано); 48 – штифт

Сонячні колеса (шестерні) редуктора поз. 7 приводяться у рух від двох незалежних черв'ячних передач, передаточні відношення яких можуть бути однаковими або різними. Вісь диференціала поз. 2, яка несе сателіти (шестерні) поз. 8, обертає вихідний тихохідний вал поз. 4 з кутовою швидкістю, яка дорівнює півсумі кутових швидкостей сонячних коліс. На вісі сателіти обертаються вільно на радіально-упорних підшипниках. Вісь диференціалу кріпиться до тихохідного валу за допомогою шпонкового з'єднання.

Радіально-упорні підшипники черв'яка, черв'ячного колеса, вісі диференціалу та тихохідного валу регулюються металевими прокладками. Зачеплення та підшипники черв'яка змащуються занурюванням у мастильну ванну, підшипники черв'ячного колеса та вісі диференціалу – консистентним мастилом. Для заміни мастила передбачена маслозливна пробка.

Деталлю, що виноситься на детальний розгляд, є вісь (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Вісь

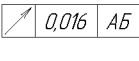
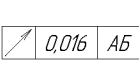
Вісь має циліндричну форму і за прийнятою класифікацією відноситься до класу стрижнів. Деталь виготовляють з легованої хромистої сталі 40Х ДСТУ 7809:2015.

1.2 Аналіз параметрів точності

При проведенні аналізу параметрів точності деталі «Вісь» заповнюємо таблицю 1.2 (рисунок 1.3), у якій наведені дані про точність виготовлення та якість обробки [3, 9, 11, 13, 18, 21, 25, 29, 40, 47, 48].

Рисунок 1.3 – Аналіз параметрів точності вісі

Таблиця 1.2 – Аналіз точності деталі «Вісь»

Номер поверхні деталі	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність відносного положення	Шорсткість R_a , мкм
1	2	3	4	5	6	7
1,2	Торці деталі	$250 \pm 0,4$	$\pm IT14/2$	-	-	6,3
3,4	Різьба	M24x1,5	8g	-	-	6,3
5,6	Циліндрична поверхня	$\varnothing 25_{-0,013}$	h6			0,63
7,8	Циліндрична поверхня	$\varnothing 32_{-0,5}$	h14	-	-	6,3
9	Отвір	$\varnothing 53^{+0,074}$	H9	-	-	3,2
10	Отвір	$\varnothing 60 \pm 0,33$	H14	-	-	6,3
11	Шпонковий паз	$16 \pm 0,021$	Js9	-	-	3,2
12	Фаска	1,5x45	H14	-	-	6,3

Виконавши аналіз параметрів точності деталі робимо висновок про те, що найменшу шорсткість поверхні має циліндрична поверхня (цапфа) з розміром $\varnothing 25h6$. Найнижча шорсткість 0,63 мкм. Деталь легко виготовляється в умовах машинобудівного виробництва.

1.3 Характеристика матеріалу деталі, замінник

Для виготовлення деталі вісі застосовується середньовуглецева конструкційна хромиста легована сталь 40Х за ДСТУ 7809:2015. Цю сталь можна замінити рядом матеріалів, таких, як сталі 40 та 45 [24, 37].

Хромисті сталі відносяться до дешевих конструкційних матеріалів і використовуються для деталей невеликого поперечного перерізу. З підвищенням вмісту вуглецю у них підвищується міцність, але знижується пластичність і в'язкість. Ці сталі схильні до відпускної крихкості, усунення якої вимагає швидкого охолодження від температури високого відпускання. Сталі прогартовуються на глибину 15-25 мм. Високі механічні властивості під час поліпшення, можливі лише при забезпеченні необхідної прогартовуваності. Крім цього, важливо отримати дрібне зерно і не допустити розвитку відпускної крихкості. У таблиці 1.3 подаємо інформацію про властивості основного матеріалу та його замінника.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу вісі

Марка матеріалу	Хімічний склад					Механічні властивості			
	C, %	Mn, %	Si, %	Ni, %	Cr, %	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	НВ МПа
Сталь 40Х	0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,3	0,8-1,1	570	315	12	167-207
Сталь 45	0,42-0,56	0,5-0,8	0,17-0,37			598	353	16	197

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 редуктора у кількості 930 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.

$$N_{зан} = (930 + 0,04 \cdot 930) \cdot (1 + 0,025) = 992 (\text{шт.}).$$

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

Технологічність – сукупність властивостей виробу. Вони визначають рівень адаптованості виробу (вузла) для досягнення оптимальних витрат виробничих ресурсів, ремонту, утилізації.

Аналіз вузла не технологічність засвідчив, що редуктор черв'ячний із конічним диференціалом є середнім за ступенем складності. До його складу входять понад 40 найменувань деталей. Характерною особливістю є застосування стандартних шайб, гайок та болтів. Для проведення технічних оглядів та ремонтів поміщено, що редуктор доволі легко розбирається та складається. Робочі поверхні складових деталей виконано із достатньою точністю. Це забезпечує належне функціонування вузла

Загалом конструкцію редуктора черв'ячного із конічним диференціалом можна вважати технологічною і придатною для виготовлення, а також експлуатації відповідно до технічних вимог [23].

Аналіз на технологічність деталі проводимо у відповідності до вимог на технологічність за умов автоматизованого виробництва, а результати аналізу заносимо до таблиці 2.1.

Конструкція деталі являється технологічною, якщо вона відповідає технічним, експлуатаційним вимогам, а також коли на неї витрачається мінімальна кількість суспільної праці.

Під час аналізу креслення деталі було виявлено, що вона практично повністю відпрацьована на технологічність для середньосерійного типу виробництва, так як затрати на наладку верстатів будуть порівняно невеликі з економією матеріалу і часу.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність вісі

№ 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 необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки.	Деталь має зручні технологічні бази, поверхні, на які деталь зручно базуватися і закріплюватись..	Заходи для покращення технологічності баз не потрібні
2	При конструюванні валів з шпоночними канавками дають перевагу канавкам, що оброблені шпонковою протяжкою.	В нашому випадку шпоночна канавка обробляється шпонковою протяжкою.	Зміни по конструкції деталі не потрібні.
3	Вісі повинні мати центрові отвори при обробці і контролі.	Вісь диференціалу має центрові отвори.	Зміни по конструкції деталі не потрібні.
4	При наявності на валу шпоночної канавки розмір від дна канавки необхідно проставляти від нижньої твірної.	Розмір проставлено від нижньої твірної.	Зміни по конструкції деталі не потрібні.
5	Припуски на заготовках повинні бути мінімальними.	Заготовка має мінімально-допустимі припуски.	Зміни по конструкції деталі не потрібні.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
6	Необхідна перевірка співвідношень між квалітетами точності та шорсткості поверхонь.	Шорсткість поверхонь відповідає квалітетам точності.	Зміни по конструкції деталі не потрібні.
7	Чи є великі перепади ступінчастих валів?	Такий перепад присутній.	Змінити конструкцію неможливо.
8	Чи потрібні додаткові ребра жорсткості?	Конструкція деталі передбачає наявність ребр жорсткості.	Зміни по конструкції деталі не потрібні.

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

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення

Базовий метод отримання заготовки вісі – кування на молотах. Ураховуючи конфігурацію деталі, серійний тип виробництва, вважаємо вірним буде саме процес штампування заготовки вісі на гарячештампувальному кривошипному пресі.

При виготовленні вісі на підприємстві використовуються стандартні універсальні пристрої, універсальні верстати, різальний інструмент. За умов середньосерійного виробництва пропонується використовувати верстати із ЧПК, пристрої спеціальної конструкції. Це дозволяє сконцентрувати операції на обробку деталі та зменшити штучний час.

У діючих процесах майже весь різальний інструмент універсальний, що також важливо, оскільки використання спеціального різального інструменту значно підвищує собівартість виготовлення деталей.

Для контролю застосовуються універсальні прилади, що збільшує час вимірювання, а разом з тим і штучний час. Нами пропонується використовувати спеціальний вимірювальний та контрольний інструменти.

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:

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

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:

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

Можливі методи обробки поверхні деталі вісі подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Методи обробки вісі

Позначення поверхні	Квалітет точності	Допуск за кресленням, σ_g , мм	Шорсткість R_a за кресленням	Допуск заготовки, σ_z , мм	Припускаючий квалітет	Загальне уточнення $\varepsilon_{заг} = \sigma_z / \sigma_g$	Можливі маршрути обробки поверхонь		Квалітет після обробки	Досягнутий допуск, δ_i , мм	Прив. Коефіцієнт уточнень $\varepsilon_i = \delta_i / \delta_i$	Загальне уточнення $\varepsilon = \Pi \varepsilon_i$
							Номер маршруту, n_p	Перехід МОП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1, 2	14	1,15	12,5	2	15	1,74	1	1. Фрезерування	14	1,15	1,74	1,74
3,4	8	0,033	1,6	0,52	14	15,7	1	1. Точіння чорнове 2. Точіння напів-чистове 3. Точіння чистове 4. Нарізання різьби	12 10 9 8	0,21 0,084 0,052 0,033	2,4 2,5 1,6 1,5	15,7
5,6	6	0,013	0,63	0,52	14	40	1.	1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове 3. Шліфування чорнове 4. Шліфування чистове	11 9 7 6	0,13 0,052 0,021 0,013	4 2,5 2,4 1,6	40
							2.	1. Точіння чорнове 2. Точіння напівчистове 3. Точіння чистове 4. Шліфування	12 10 8 6	0,21 0,084 0,033 0,013	2,5 2,5 2,5 2,4	40

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	9	0,074	3,2	0,74	14	10	1.	1. Свердління 2. Свердління 3. Розточування	12 10 9	0,3 0,12 0,074	2,5 2,5 1,6	10
							2.	1. Розточування чорнове 2. Розточування напівчистове 3. Розточування чистове	11 10 9	0,19 0,12 0,074	3,8 1,5 1,6	
10	14	0,74	6,3	1,2	15	1,6	1.	1. Цекування	14	0,74	1,6	1,6
							2.	1. Фрезерування	14	0,74	1,6	1,6

Більш економічним є 1-ий варіант обробки, бо задані параметри точності поверхні досягаються на найменшій кількості верстатного обладнання. Це дає змогу економити на основних фондах.

2.4 Розробка маршруту обробки деталі

Маршрут обробки деталі будуємо на основі етапів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва та базування (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Принципова схема маршруту обробки вісі

№ операції	Зміст операції	Обладнання
1	2	3
005 Заготівельна	Виготовлення заготовки.	Гарячештампувальний кривошипний прес моделі K8540.
010 Термічна	Нормалізація, охолодження (повітря).	Піч НКО 7.7.10/7.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
015 Фрезерно-центрувальна	Установити, закріпити, зняти. 1. Фрезерувати торці у розмір. 2. Центрувати торці одночасно (отвір А4).	Фрезерно-центрувальний верстат моделі МР-77.
020, 025 Токарна з ЧПК	Установити, закріпити, зняти. 1. Точити поверхні попередньо. 2. Точити канавку, витримавши розміри. 3. Точити поверхні начисто та фаску у розміри. 4. Нарізати різьбу на поверхні М24×1,5-8g.	Токарно-гвинторізний верстат з ЧПК моделі 16К20ФЗ.
030 Фрезерна	Установити, закріпити, зняти. 1. Фрезерувати площини із поворотом деталі на 180°, витримуючи розміри.	Вертикально-фрезерний 6Р12.
035 Вертикально-розточувальна	Установити, закріпити, зняти.	Вертикально-розточувальний верстат моделі 2776В.

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
035 Вертикально-розточувальна (продовження)	1. Свердлити отвір Ø25 мм. 2. Розточити отвір за три проходи. 3. Цекувати отвір.	Вертикально-розточний верстат моделі 2776В.
040 Протягувальна	Установити, закріпити, зняти. 1. Протягувати шпонковий паз у розміри.	Горизонтально-протягувальний верстат моделі 7Б55
045 Термічна	Гартування та низьке відпускання.	Піч НКО 7.7.10/7.
050 Шліфувальна	Установити, закріпити, зняти. 1. Шліфувати поверхні начорно у розміри. 2. Шліфувати поверхні начисто у розміри.	Круглошліфувальний напівавтомат моделі 3А153.
055 Мийна	Промити деталь у розчині кальцинованої води при $t=70^{\circ}\text{C}$.	Мийна машина ММ 486.
060 Контрольна	Контролювати розміри відповідно до робочого креслення.	Стіл ВТК.

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 вісі Ø25h6 ($_{-0,013}$) мм.

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

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

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 2.4, а графічне зображення розмірів – рисунок 2.1.

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

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

$$8290-7683=620-13;$$

$$607=607.$$

На решту поверхонь деталі припуски визначаються за довідниковими таблицями. Отримані результати по усіх поверхнях заносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці $\varnothing 25h6 (-0,013)$ мм

Технологічний перехід	Величина, що визначається, мкм				$2Z_{\min}$, мкм	d_p , мм	Допуск на розмір, δ , мкм	Граничний розмір, мкм		Граничний припуск, мкм	
	R_z	H	ρ	ε_y				$D_{\min}$	$D_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	200	1000	800	-	-	32,67	620	32,67	33,29	-	-
Точіння чорнове	50	700	500	100	4000	28,677	130	28,67	28,8	4	4,49
Точіння чистове	25	100	100	100	2700	25,977	52	25,97	26,02	2,7	2,778
Шліфування чорнове	10	50	10	100	650	25,327	21	25,32	25,34	0,65	0,681
Шліфування чистове	3,2	5	5	8	340	24,987	13	24,987	25	0,333	0,341
Сума										7,683	8,290

Рисунок 2.1 – Графічне розташування припусків та допусків
на обробку поверхні $\varnothing 25h6$

Таблиця 2.5 – Припуски та допуски на інші поверхні

№ пов.	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мкм	Квалітет	Технол. допуск, мкм
1, 2	Торець	Фрезерування	2	14	1150
3, 4	Циліндрична поверхня	Точіння чорнове	2,5	12	210
		Точіння напівчистове	1	10	84
		Точіння чистове	0,5	9	52
5, 6	Циліндрична поверхня	Точіння чорнове	2	11	130
		Точіння чистове	1,35	9	52
		Шліфування чорнове	0,325	7	21
		Шліфування чистове	0,175	6	13
9	Отвір	Свердління	8	12	300
		Свердління	4,5	10	120
		Розточування	-	9	74
10	Отвір	Цекування	3,5	14	740
12	Фаска	Точіння	1,5	14	250

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Для операції механічної обробки деталі (вісь) редуктора черв'ячного із конічним диференціалом розробляємо конструкцію затискного пристосування для фрезерної обробки на верстаті 6P82, а також свердління отвору на вертикально-розточувальному верстаті 2776В, керуючись рекомендаціями [12, 36, 38, 39]. Складальне креслення пристосування представлено у графічній частині роботи та на рисунку 3.1. Поверхні обробки – дві лиски, розташовані під кутом 180^0 . Для встановлення заготовки використовуються центрувальні отвори, у якості установочних елементів – центра.

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосування складається з таких основних елементів:

- плита 1 для закріплення на столі верстату;

- задня та передня бабки 5 і 6;
- центра 30 і 31 для закріплення вісі;
- диск затискний 10, що запобігає прокручуванню вісі під час обробки.

У якості привода використовується пневмоциліндр двобічної дії, керування яким здійснюється за допомогою розподільного крана.

Принцип роботи пристосування наступний. Вісь встановлюється у затискний диск 10, після чого, за допомогою розподільчого крану, відбувається подача повітря у ліву порожнину пневмоциліндра 28. Закріплення вісі диференціалу виконується центрами 30 і 31, передній центр рухається під дією пневмоциліндра, а задній закріплено нерухомо. Хід поршня пневмоциліндра обмежується двома болтами 22. Остаточне закріплення деталі виконується за допомогою рукояток 15 на задній та передній бабках і сухарів 17, а також за допомогою болта поз. 21 на затискному диску 10. Після фрезерування планкою 16, фіксатор 12 відводиться вліво і рукояткою 14 диск 9 прокручується на 180° разом із віссю, потім під дією пружини 29 фіксатор займає місце в отворі фіксуючої втулки 8 і виконується фрезерування іншої лиски. Після обробки, для розтискання деталі, відкручуємо болт 21 та розподільчим краном подаємо повітря в праву робочу порожнину пневмоциліндра.

3.2 Розрахунок зусилля затиску

Складемо схему діючих сил і визначимо з неї силу, що необхідна для затискання відповідно до рисунку 3.2 [12, 36, 38, 39].

На даній операції максимальна сила різання P_z при фрезеруванні деталі, що визначається за формулою:

$$P_z = \frac{C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^\omega}, \quad (3.1)$$

Рисунок 3.2 – Загальна схема сил, що діють на заготовку під час фрезерування

де t – глибина різання, мм;

S – подача, мм/зуб;

B – ширина фрезерування, мм;

z – кількість зубів фрези;

D – діаметр фрези;

n – частота обертання фрези;

K_p – загальний поправковий коефіцієнт.

C_p, x, z, u, ω – коефіцієнт та показники ступеня, обираємо з таблиць довідників.

Визначаємо силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 2^{0,85} \cdot 0,18^{0,75} \cdot 35^{1,0} \cdot 6}{100^{0,73} \cdot 90^{-0,13}} = 813 \text{ (Н)}.$$

Отже сила затиску $P=813$ Н.

Розраховану силу затиску необхідно збільшити на коефіцієнт запасу K :

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (3.2)$$

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

K_1 – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання внаслідок випадкових нерівностей поверхні, $K_1=1,2$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує затуплення ріжучого інструменту, $K_2 = 1,4$;

K_3 – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання при переривчастому різанні,
 $K_3 = 1,2$;

K_4 – коефіцієнт, що характеризує постійність сил закріплення. При автоматичному закріпленні $K_4 = 1,0$.

K_5 – коефіцієнт, що характеризує ергономіку затискних механізмів, $K_5 = 1,0$;

$K_6 = 1,0$.

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,02 .$$

Тоді необхідна сила затиску: $P = P_{розр.} \cdot K = 813 \cdot 3,02 = 2455$ (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:

$$Q = \frac{P}{i}, \quad (3.3)$$

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

З урахуванням цього зусилля $Q = P = 2455$ (Н).

Знайдемо діаметр поршня пневмоциліндра:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p}{4} \cdot \eta, \quad (3.4)$$

з цієї формули визначимо значення діаметра:

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

де D – діаметр поршня;

$\eta=0,9$ - ККД пневмоциліндра;

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

Обчислимо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2455}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,9}} = 76,1 \text{ (мм)}.$$

Приймаємо стандартний діаметр $D=80$ мм.

3.4 Розрахунок слабкої ланки

На наш погляд слабкою ланкою в цьому пристосуванні є болти, що обмежують переміщення втулки разом з центрами.

Перевірку виконуємо по допустимому напруженні на зминання $[\sigma_{зм}]$.

Для розрахунку необхідне виконання умови:

$$\frac{P}{d \cdot h \cdot n} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.6)$$

де $P=2455$ – сила, що діє впоперек болта, Н;

$h=4$ – висота ділянки зминання, мм;

$d=8$ – діаметр болта, мм;

$n=2$ – кількість болтів;

$[\sigma_{зм}]=120$ – допустиме напруження на зминання, МПа.

Розрахуємо:

$$\sigma = 2455 / (0,008 \cdot 0,004 \cdot 2) = 38,36 \text{ (МПа)}.$$

Перевірка:

$$\sigma \leq [\sigma_{3M}], \quad (3.7)$$

$$38,36 < [120].$$

Виконаємо перевірку болтів на умову можливого зрізу:

$$\tau = \frac{4P}{\pi \cdot d^2 \cdot n} \cdot K \leq [\tau_{зр}]. \quad (3.8)$$

де $d=8$ – діаметр болта (різьби);

$K=3,5$ – коефіцієнт запасу;

$[\tau_{зр}]$ – допустиме напруження на зріз, МПа:

$$[\tau_{зр}] = (0,2-0,3) \cdot [\sigma_T]. \quad (3.9)$$

Проведемо розрахунок:

$$\tau = [2455 \cdot 4 / (3,14 \cdot 0,008^2 \cdot 2)] \cdot 3,5 = 85,5 \text{ (МПа)};$$

$$[\tau_{зр}] = 0,25 \cdot 360 = 90 \text{ (МПа)};$$

$$\tau \leq [\tau_{зр}], \quad (3.10)$$

$$85,5 < 90 \text{ МПа.}$$

Проведені розрахунки дають можливість зробити висновок про працездатність болтів під дією даної сили та виконання ними своїх функцій.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Проаналізуємо два найбільш прийнятних методи виготовлення заготовки вісі черв'ячного редуктора: кування та штампування [1, 4, 5, 30, 34, 49].

Розрахуємо собівартість виготовлення заготовки деталі.

Собівартість заготовки, грн., виготовленої куванням та штампуванням, розраховуємо за формулою:

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

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

G_g – маса деталі, кг, $G_g = 2,3$ кг;

G_K – маса кованки, кг:

$$G_{K(\text{кув-я})} = \frac{2,3}{0,7} = 3,3 \text{ кг};$$

$$G_{K(\text{штам-я})} = \frac{2,3}{0,8} = 3,0 \text{ кг}.$$

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

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

У відповідності до стандарту основними ознаками класифікації штампованих кованок є: точність виготовлення, група сталі, конфігурація поверхні рознімання штампу, що використовується, ступінь складності.

Визначаємо для заготовки деталі вісь: ступінь складності С2; група сталі М2; клас точності Т4; група серійності 2.

Значення коефіцієнтів: $K_{TK}=1,23$; $K_{CK}=1,14$; $K_{BK(кув-я)}=1,14$; $K_{BK(штам-я)}=1,04$; $K_{ПК}=1,15$; $K_{МК}=1,23$.

Визначаємо оптову ціну однієї тони сталі 40Х – 120000 грн., оптову ціну відходів сталі 40Х – 7000 грн.

Порівнюємо ціни кованок для двох методів отримання заготовок: для вільного кування та штампування:

$$C_{B.кув} = 0,001(120000 \cdot 3,3 \cdot 1,23 \cdot 1,14 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 1,14 - (3,3 - 2,3) \cdot 7000) = 888,4 \text{ грн.};$$

$$C_{шт} = 0,001(120000 \cdot 3,0 \cdot 1,23 \cdot 1,14 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 1,04 - (3,0 - 2,3) \cdot 7000) = 737,7 \text{ грн.}$$

Таким чином, порівнюючи отримані значення ціни заготовки, видно, що з економічної сторони, нам вигідно застосовувати штампування, ніж кування. Економічний ефект у цьому випадку буде становити:

$$E = (888,4 - 737,7) \cdot 930 = 140151 \text{ (грн.)}.$$

Висновок: проаналізувавши два методи виготовлення заготовки обираємо метод виготовлення заготовок штампуванням, оскільки собівартість виготовлення заготовки даним методом менша на 150,7 грн. за одиницю у порівнянні з виготовленням заготовки куванням.

4.2 Розрахунок занулення електричного приводу

Зануленням називається з'єднання корпусів електроприймача або іншого устаткування (яке може виявитися під напругою в результаті порушення ізоляції) з нульовим проводом за допомогою металевих провідників. Задача занулення та ж, що і для захисного заземлення – ліквідація небезпеки ураження електричним

струмом при порушенні ізоляції і появі на корпусі обладнання небезпечної напруги. Принцип дії занулення – перетворення пробою на корпус в однофазне коротке замикання, тобто утворення так званого ланцюга короткого замикання (корпус – нульовий провід – фазна обмотка трансформатора), що має досить малий опір – десяті частки Ому. При пробі на корпус в ланцюгу короткого замикання виникає великий струм короткого замикання $I_{КЗ}$, що забезпечує швидке згоряння плавких запобіжників за 5...7 с або відключення пошкоджених фаз автоматичними пристроями, що реагують на струм короткого замикання за 1...2 с. На протязі короткого часу, що визначається швидкістю спрацювання захисту, людина, що дотикається до пошкодженого обладнання, потрапляє під фазну напругу. Якщо захисне занулення не спрацює у встановлений час, то людина може бути уражена електричним струмом. Для надійного спрацювання захисту необхідне виконання умови: $I_{КЗ} \geq 3I_{пл.вст.}^H$, де $I_{пл.вст.}^H$ - номінальний струм плавкого запобіжника, або $I_{КЗ} \geq 1,25I_{авт.}^H$, де $I_{авт.}^H$ - номінальний струм спрацювання автоматичного відключення [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Проведемо розрахунок захисного занулення при потужності живлячого трансформатора 630 кВА, схема з'єднання обмоток трансформатора – зірка, матеріал фазного і нульового проводів – мідь, діаметри проводів 3 мм, довжина фазного і нульового проводів – 50 м, електродвигун асинхронний серії 4А, $U = 380$ В, $n = 3000$ хв.⁻¹, тип 4А112М2.

Необхідно перевірити умову спрацювання захисного занулення:

$$I_{КЗ} \geq 3I_{пл.вст.}^H \quad (4.2)$$

де $I_{КЗ}$ – струм короткого замикання, визначається за формулою:

$$I_{КЗ} = U_{\phi} / (Z_T / 3 + Z_{II}) \quad (4.3)$$

де U_{ϕ} – фазна напруга, В;

Z_T – опір трансформатора, Ом;

Z_{Π} – опір петлі фаза-нуль, який розраховується за формулою:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(R_{\phi} + R_H)^2 + (X_{\phi} + X_H + X_3)^2}, \quad (4.4)$$

де R_{ϕ} і R_H – активні опори фазного і нульового провідників, Ом;

X_{ϕ} і X_H – внутрішні індуктивні опори фазного і нульового провідників, Ом;

X_3 – зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль, Ом.

Значення X_{ϕ} і X_H для мідних провідників не великі, тому ними зазвичай нехтують. Величину зовнішнього індуктивного опору петлі фаза-нуль в практичних розрахунках приймають рівним 0,6 Ом/км:

$$X_3 = 0,6l_{\Pi}. \quad (4.5)$$

де l_{Π} – довжина петлі фаза-нуль, км.

$$X_3 = 0,1 \cdot 0,6 = 0,06 \text{ (Ом)}.$$

Для розрахунку активних опорів провідників R_{ϕ} і R_H скористаємося формулою:

$$R = \frac{pl}{S}, \quad (4.6)$$

де p – питомий опір провідника (для міді $p = 0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$);

l – довжина провідника, м;

S – переріз провідника, мм^2 .

$$R = \frac{0,018 \cdot 30}{7,06} = 0,076 \text{ (Ом)}.$$

Оскільки фазний і нульовий провідники мають однакову довжину, і виготовлені з одного матеріалу, то $R_\phi = R_H$.

Знайдемо номінальний струм електродвигуна:

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{н}} = P1000 / \sqrt{3} U_H \cos \alpha, \quad (4.7)$$

де P – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

U_H – номінальна напруга, В;

$\cos \alpha$ – коефіцієнт потужності.

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{н}} = 7,5 \cdot 1000 / \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 = 12,95 \text{ (A)}.$$

Розраховуємо пусковий струм електродвигуна:

$$I_{\text{ел.дв}}^{\text{пус}} = 7,5 \cdot 12,95 = 97,12 \text{ (A)}.$$

Номінальний струм плавкого запобіжника:

$$I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}} = I_{\text{ел.дв}}^{\text{пус}} / \alpha, \quad (4.8)$$

де α – коефіцієнт режиму роботи.

$$I_{\text{пл.вст.}}^{\text{н}} = 97,12 / 2 = 48,56 \text{ (A)}.$$

Знаходимо очікуване значення струму короткого замикання:

$$I_{\text{КЗ}} = 3 \cdot 48,56 = 145,67 \text{ (A)}.$$

Розраховуємо опір петлі фаза-нуль:

$$Z_{\Pi} = \sqrt{(0,076 + 0,076)^2 + 0,06^2} = 0,163 \text{ (Ом)}.$$

Тоді струм короткого замикання дорівнюватиме:

$$I_{K3} = 380 / (0,129 / 3 + 0,163) = 1840 \text{ (А)}.$$

Перевіряємо умову надійного спрацювання захисного занулення:

$$1840 > 3 \cdot 48,56 \text{ (А)}.$$

Струм I_{K3} більше, ніж у три рази перевищує номінальний струм плавкого запобіжника, тому при замиканні на корпус плавкий запобіжник перегорить за 5...7 с і відімкне пошкоджену фазу.

4.3 Компостування із отриманням добрив

Компостування – це технологія переробки відходів, що базується на їх природньому розкладанні. Найбільш широко компостування застосовується для переробки відходів органічного, а також рослинного походження, таких як листя, гілки, трава тощо. Існують технології компостування харчових відходів та відходів сільського господарства.

Компост, отриманий на сміттєпереробному заводі (СПЗ), використовується у якості органічного добрива, що призводить до підвищення врожайності овочів та картоплі на 20...30%.

На даний час на СПЗ існує дві технології переробки – компостування сміття та його спалювання.

Компостом називають органічні добрива, що отримані у результаті розкладання рослинних і тваринницьких залишків мікроорганізмами. Для їх

приготування використовують гній, гнійну жижу, послід птахів у суміші із різними видами торфу, міське сміття, опале листя дерев, соломі та ін.

При компостуванні в органічній масі підвищується вміст харчових речовин (азот, фосфор, калій) у формі, що засвоюється рослинами, знезаражується патогенна мікрофлора, зменшується кількість целюлози та пектинових речовин; добрива стають сипкими, що полегшує їх унесення до ґрунту. Різні за складом і способом приготування компости застосовують під більшість культур. Компост часто використовують замість гостродефіцитних органічних добрив (навоз, торф).

У спеціальних компостних установках процес розкладання спеціально регулюється: створюється температура до 70°C , за якої гинуть мікроби та насіння рослин-сорняків.

На СПЗ технологія компостування наступна: відходи перевантажуються у бункер-накопичувач, потім краном у завантажувальні воронки, потім у обертові барабанні грохоти, де поділяються на дві фракції – дрібну та крупну. Дрібна фракція проходить крізь дробарку та потрапляє до біотермічних веж, де за 3...4 діб у результаті аеробного процесу відходи перетворюються на компост, який після просіювання на віброгрохотах потрапляє на склад готової продукції. Крупна фракція потрапляє до котлоагрегатів та спалюється за температури $800\ldots 1000^{\circ}\text{C}$. Димові гази очищуються в електрофільтрах на 96...98% та викидаються до атмосфери.

У котлоагрегатах утворюється пара із тиском 1,3 МПа і температурою до 250°C , який частково використовують для потреб заводу та житлових будівель.

Попередньо магнітними сепараторами із відходів, що надійшли, виймаються чорний та кольоровий металоллом, він пакується та реалізується як вторинна сировина.

Компостування – один із найбільш раціональних способів переробки органічних відходів.

Одним з найбільш ефективних способів компостування є біодинамічний компост із підвищеним вмістом азотистих бактерій. Біодинамічний компост не тільки підвищує рівень врожайності сільськогосподарської продукції більше, ніж у

60 країнах, але й сприяє перетворенню радіонуклідів у нерадіоактивні елементи. Ця біотехнологія екологічно чиста, яку, можливо, раціонально використовувати не тільки для нейтралізації ґрунту від радіації, але й для ліквідації ядерних шламових сховищ.

У живій природі бактерії знищують радіацію. Так, радіоактивні відходи розташовують у сталеву цистерну із бактеріями, які за короткий час на 90% з'їдають небезпечний для людини матеріал.

Отже, бактеріальні технології також доцільно розробляти та використовувати для ліквідації радіоактивних відходів.

ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення редуктора черв'ячного диференційного для передачі обертового моменту. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною редуктора, а саме вісі. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно заміни аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – середньосерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталей. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь вісі редуктора. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні $\varnothing 25h6$ мм розрахунково-аналітичним методом, а на решту поверхонь – табличним способом.

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

4. Здійснено техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки вісі редуктора черв'ячного диференційного. Річний економічний ефект для програми випуску 930 шт. склав 140151 грн. Окрім того, здійснено розрахунок захисного занулення при потужності живлячого трансформатора 630 кВА. Приділено увагу компостуванню як технологічному процесу для отримання добрив та переробки відходів органічного та рослинного походження.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик редуктора черв'ячного диференціального, кресленик вісі, кресленик заготовки вісі, складальний кресленик пристосування для виконання операції механічної обробки.