

**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 виробництва  
валу муфти шарнірної»

КРБ.133ГМбд\_31[2].09.00.00.000 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]  
СКОРИК Дмитро

Керівник: докт. техн. наук, професор  
ВЛАСОВЕЦЬ Віталій

**Полтава – 2025 року**

## ВСТУП

Сучасне сільське господарство неможливо уявити без широкого застосування механізованої техніки, що забезпечує високу продуктивність та ефективність аграрних робіт. Одним з ключових елементів конструкції сільськогосподарських машин є шарнірні муфти, призначені для передачі крутного моменту між валами, осі яких можуть бути зміщені або знаходитися під кутом. Ці пристрої відіграють важливу роль у забезпеченні надійної та стійкої роботи техніки, дозволяючи компенсувати механічні усунення, знижувати вібрації та запобігати поломкам. Завдяки своїм технічним характеристикам шарнірні муфти широко застосовуються в тракторах, комбайнах, сівалках та інших видах сільгосптехніки, що робить вивчення їх конструкції та принципу дії особливо актуальним.

Отже, використання шарнірних муфт є невід'ємною частиною кінематичних схем приводу сучасних сільськогосподарських машин.

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

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;
- запропонувати спеціальний різальний інструмент для реалізації процесу механічної обробки деталі, а також здійснити розрахунок основних його параметрів;
- 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.

Полтавський державний аграрний університет

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

На розгляд виноситься муфта шарнірна (рисунок 1.1, таблиця 1.1).

Рисунок 1.1 – Муфта шарнірна: 1 – вал; 2 – хрестовина; 3 – шарнір зовнішній; 4 – шарнір внутрішній; 5 – поводок; 6 – шестерня ведуча; 7 – болт; 8 – напіл муфта; 9 – прокладка; 10 – кільце опорне; 11 – втулка; 12 – кільце пружинне; 13 – кільце; 14 – втулка; 15 – кільце розпирне; 16 – підшипник розпирний; 17 – кільце стопорне; 18 – шайба; 19 – редуктор; 20, 21 – прокладка; 22 – підшипник; 23 – гайка; 24 – шпонка; 25 – болт; 26 – шайба

Шарнірна муфта слугує для передачі обертового моменту із двигуна на вісь. Складається з ведучого шарніра, який знаходиться зовні двигуна тобто в гнізді щита підшипника на стороні колектору, далі знаходиться карданний вал, який проходить пустотілим корпусом ротора. На іншому кінці валу є ведений шарнір який з'єднується з поводком шестерні коробки передач.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика муфти шарнірної

Назва параметра	Величина
Частота обертання максимальна, об/хв.	1230
Тип руху, що передається	обертовий

Обертний момент, що передається, Н·м	800
Компенсація кутів між осями, град.	15
Габаритні розміри, мм	1300×520×520
Маса, кг	120

Перенесення обертового моменту здійснюється за допомогою переднього зуба і пазу із пустотілої цапфи запірної частини корпусу ротора на поводок, який прикріплений болтами і зафіксований рифльованими прокладками. У цьому поводкові своїми клинами розміщено дві букси. Вони прикріплені болтами і зафіксовані рифльованими прокладками. Перенос моменту проходить через підшипникові втулки на карданний хрест. Перенос обертового моменту від карданного ведучого хреста виконується наступною парою букс (закріплені також своїми клинами у поводку, який має з кінцем карданного валу одне ціле) на ведений протилежний поводок, напружений на пазовому кінці карданного валу. Для запобігання корозії канавкове з'єднання оброблене епоксидом. Щоб запобігти аксіальному переміщенню у вирізаних канавках поводок зафіксований роз'ємним клином, яке захищається гайкою і запобіжною прокладкою. У цьому ведучому поводку знову поміщені та закріплені болтами дві букси із підшипниковими втулками. За їх допомогою виконується перенос обертового моменту на карданний хрест, потім на наступні букси з підшипниковими втулками, які вставлені у поводок шестерні коробки передач і з шестерні на зубчасте колесо. Воно з'єднане з віссю колісної пари. Аксіальне переміщення коробки передач порівняно з двигуном, яке спричинено коливанням осі під час їзди, запобіжено аксіальним переміщенням шестерні в підшипниках коробки передач.

Змащування підшипникових втулок і передніх поверхонь цапф карданних хрестів обох шарнірів забезпечується змащувальними шпательками за допомогою маслянки жиром так, щоб жир виходив в порожнину карданного хреста. Підшипникові втулки змащуються автоматично із середини підведеним змащенням і вони захищаються від проникнення бруду спеціальними ущільнювачами.

Деталлю, що вноситься на детальний розгляд, є вал (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 – Вал

Вал, що проектується, виготовлений з матеріалу сталь 38ХГН, ДСТУ 7806-2015. Він має сумарну довжину 1040 мм, підлягає обов'язковій термообробці, так як працює в складних умовах. Термічна обробка полягає у нормалізації (нагріванні до температури 780...950°C та короткочасному охолодженню на повітрі).

### 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].

Таблиця 1.2 – Аналіз параметрів точності

Тип поверхні	Розмір і допуск	Квалітет	Відхилення форми	Відхилення розташування дання	Шорсткість, $R_a$ , мкм
Циліндрична	$\phi 80$	h7	-	-	3,2
Циліндрична	$\phi 90$	h7	-	-	6,3
Циліндрична	$\phi 365$	h14	-	-	3,2
Циліндрична	$\phi 78$	h7	-	-	3,2
Циліндрична	M78x3	-	-	-	6,3
Циліндрична	M20x1,5	-	-	-	3,2
Лінійний	14	h10	-	-	3.2
Лінійний	36	h10	-	-	3.2

Лінійний	103	h10	-	-	3,2
Лінійний	955 <sub>+0,5</sub>	h10	-	-	3,2
Лінійний	20	h9	-	-	3,2
Лінійний	36	h10	-	-	3,2
Лінійний	1040 <sub>+0,5</sub>	h10	-	-	3,2

Провівши аналіз якості виконання поверхонь деталі, маємо, що найточніший розмір у поверхонь, що виконані за 7-им класом із шорсткістю  $R_a=3,2$  мкм. Деталь може бути виготовлена у заводських умовах.

### 1.3 Характеристика матеріалу деталі, заміна

Матеріалом валу є сталь марки 38ХГН за ДСТУ 7806-2015 [24, 37]. Вона призначена для виготовлення валів, осей, шатунів, зубчатих коліс, муфт, валів-шестерень та інших відповідальних навантажених деталей, що зазнають вібраційних і динамічних навантажень, до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності і в'язкості.

Термічна обробка сталі 38ХГН включає ряд процесів, що покращують її механічні властивості, зокрема твердість, міцність і зносостійкість. Основні етапи термічної обробки для сталі 38ХГН наступні.

1. Нагрівання перед обробкою. Сталь нагрівається до температури, яка є оптимальною для подальшої термічної обробки:

- температура нагріву для гартування 850-880 °С;
- температура нагріву для відпускання 500-550 °С (залежно від бажаних властивостей).

2. Гартування – це процес нагрівання сталі до високої температури, після чого вона швидко охолоджується у воді або оліві, щоб досягти високої твердості. Температура гартування 850-880 °С. Охолодження в оліві або воді забезпечує необхідну твердість і міцність, а також підвищує зносостійкість сталі. Після

гартування сталі 38ХГН має високу твердість, але може бути дуже крихкою, тому необхідно проводити наступний етап – відпускання.

3. Відпускання – це процес, при якому загартована сталь нагрівається до нижчих температур (приблизно 500-550 °С) і утримується на цій температурі протягом певного часу, щоб зменшити внутрішні напруження і покращити пластичність і ударну в'язкість. Температура відпускання 500-550 °С (точна температура залежить від бажаних механічних властивостей).

Відпускання знижує твердість, але значно підвищує механічну стійкість і в'язкість сталі.

4. Анізотропія властивостей. Після відпускання сталь 38ХГН здобуває оптимальний баланс між міцністю, твердою стійкістю до зношування і в'язкістю, що робить її придатною для виготовлення високонавантажених деталей.

5. Температурні діаграми для нормалізації. Якщо потрібно, сталь 38ХГН може також піддаватися нормалізації, процесу нагріву до температури 880-900 °С з наступним охолодженням на повітрі. Цей процес дає більш однорідну структуру, що підвищує міцність і пластичність.

Термічна обробка сталі 38ХГН зазвичай включає гартування і відпускання для досягнення оптимальних механічних властивостей, таких як висока міцність, зносостійкість і достатня пластичність.

Хімічний склад і механічні властивості сталі 38ХГН, а також можливі варіанти її заміни наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі

Марка матеріалу	Хімічний склад, %					Механічні властивості			
	Cr	C	Mn	Ni	Si	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_m$ , МПа	$\delta$ , %	HRC
Сталь 38ХГН (основна)	0,5-0,8	0,35-0,43	0,8-1,1	0,7-1,0	0,17-0,37	Гартування 850...870°C олива. Відпускання 180...200°C повітря			

						780	685	12	50-53
Сталь 20ХНР (заміна)	0,7-	0,16-	0,6-	0,8-	0,17-	Гартування 820...840°C, олива. Відпускання 180...200°C, повітря			
	1,1	0,23	0,9	1,1	0,37				
						1060- 1420	970- 1370	10- 15	57- 63

Залишаємо матеріал, призначений конструктором без змін.

#### 1.4 Визначення типу виробництва та програми запуску

Маркетингове дослідження показало попит ринку на вали муфти у кількості 250 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 за частини, 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 за частини.

$$N_{зан} = (250 + 0,04 \cdot 250) \cdot (1 + 0,025) = 267 \text{ (шт.)}$$

Максимальна маса оброблених заготовок деталей одного найменування вузла (вал) становить 59 кг, тому за [34] визначаємо тип виробництва – середньосерійне.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1 Аналіз технологічності вузла та деталі

Аналіз технологічності вузла відіграє важливу роль, оскільки саме він визначає ступінь змін у процесах складання та пригонки його складових. Окрім цього, технологічний аналіз є ключовим етапом у вдосконаленні ергономічних, економічних та технічних характеристик вузла. [23].

Аналіз технологічності шарнірної муфти полягає в оцінці конструкції виробу з точки зору її придатності до виготовлення, складання, обслуговування та експлуатації з мінімальними витратами часу, ресурсів і праці.

1. Конструктивна простота. Шарнірна муфта має відносно просту конструкцію, яка складається з валів, з'єднувальних елементів (шарнірів), кріплень (болтів, шпонок тощо). Простота форми сприяє легкості виготовлення і зменшенню обсягу механічної обробки.

2. Матеріали. Для виготовлення частин муфти зазвичай використовують вуглецеві або легировані сталі, що добре піддаються обробці та термічному зміцненню. Це підвищує довговічність і зносостійкість вузла.

3. Технологічність виготовлення. Більшість елементів можна виготовити на стандартному металообробному обладнанні (токарні, фрезерні, свердлильні верстати). Можливе використання литва або штампування для заготовок, що знижує витрати. Поверхні, що труться, обробляються з високою точністю, але це не вимагає надмірно складних операцій.

4. Точність і допуски. Окремі елементи муфти (наприклад, посадочні отвори, шліци, шпонкові пази) потребують дотримання певних допусків, однак ці вимоги є типовими для машинобудування і не створюють суттєвих складнощів при виробництві.

5. Складання та обслуговування. Шарнірна муфта зручна в складанні: вузли легко монтуються й демонтуються. Доступність до змашування та перевірки технічного стану забезпечує зручність обслуговування.

6. Уніфікація і стандартизація. Багато деталей (підшипники, болти, шпонки) – стандартні вироби, що полегшує закупівлю та зменшує вартість виготовлення.

Коефіцієнт стандартизації обчислюється за формулою:

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

де  $E_{cm}$  – кількість стандартизованих одиниць;

$E$  – загальна кількість.

$$K_{cm} = \frac{22}{50} = 0,44.$$

Обчислення коефіцієнта уніфікації відбувається за формулою:

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

де  $E_y$  – кількість уніфікованих одиниць;

$E$  – загальна кількість одиниць.

$$K_{yn} = \frac{20}{50} = 0,4.$$

Отже, шарнірна муфта має високу технологічність завдяки простій конструкції, використанню стандартних матеріалів та деталей, а також можливості виготовлення на звичайному обладнанні. Це робить її вигідною як з технічного, так і з економічного погляду.

У загальному конструкцію валу можна вважати технологічною і придатною для виготовлення й експлуатації відповідно до технічних вимог.

В таблиці 2.1 наводимо аналіз його технологічності.

Таблиця 2.1 – Аналіз на технологічність деталі

№ з. п.	Показники і вимоги до технологічності	Висновки по показниках технологічності	Заходи з покращення технологічності
1		3	4
1	Наявність зручних технологічних баз, які забезпечують жорстке і надійне закріплення заготовки, вільний підхід інструмента до оброблюваної поверхні.	Так, технологічно.	-
2	Конструкція деталі повинна забезпечувати її установку за допомогою простих загискових пристроїв та пристосувань.	Так, технологічно.	-
3	Отвори повинні бути такими, щоб їх можна було обробляти на прохід.	Так, технологічно.	-

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
4	Для можливості автоматизації обробки в деталі не бажано застосовувати різьбові отвори діаметром менше 6 мм.	В деталі різьбові отвори не застосовуються.	-
5	У конструкції деталі необхідно передбачити можливість захвату її роботом.	Захват деталі може проводитись роботом за циліндричну поверхню.	-
6	Ступінчаті вали повинні мати невеликі переходи по діаметру, а їх довжини однаковими, або кратними.	Так, технологічно.	-
7	При обробці валів зі шпонковими канавками надавати перевагу обробці дисковими фрезами.	Вал не має шпонкових канавок.	-
8	Вали повинні мати центрові отвори.	Дана вимога виконується.	-

Отже, деталь є цілком технологічною з точки зору автоматизованого виробництва.

## 2.2 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення

Вузол виготовляється в умовах дрібносерійного виробництва, що визначає специфіку технологічного процесу. Для таких умов характерне використання універсального обладнання, а також верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК). Через невеликі обсяги виготовлення немає гострої потреби у високоточному нормуванні часу обробки, що призводить до деяких нераціональних рішень у дільчому технологічному процесі, зокрема щодо тривалості обробки окремих поверхонь.

Застосування універсальних верстатів у поєднанні зі значними габаритами заготовки валу вимагає додаткової оснастки, такої як центри, повідкові патрони та лонети. Це ускладнює процес обробки, знижує зручність виконання операцій та призводить до втрати точності.

Також застосовувався різальний інструмент низької продуктивності.

## 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:

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

де  $\varepsilon$  – загальне значення;

$\varepsilon_i$  – окремі ступені уточнення;

$L$  – 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:

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

1. Для обробки поверхні  $\varnothing 78h7$ . Допуск за креслеником 0,03 мм, допуск заготовки – 0,4 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{0,4}{0,03} = 13,3.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 13,3}{0,46} \approx 2,4.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 3 етапів обробки для даної поверхні.

2. Для обробки поверхні  $\varnothing 90h7$ . Допуск за креслеником 0,035 мм, допуск заготовки – 0,4 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{0,4}{0,035} = 11,4.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки:

$$n_p = \frac{\lg 11,4}{0,46} \approx 2,3.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 3 етапів обробки для даної поверхні.

3. Для обробки поверхні  $\varnothing 375 \pm 0,1$ . Допуск за креслеником 0,2 мм, допуск заготовки – 1,0 мм. Загальне уточнення складає:

$$\varepsilon = \frac{1,0}{0,2} = 5.$$

Орієнтовна кількість ступенів обробки.

$$n_p = \frac{\lg 5}{0,46} \approx 1,5.$$

Отже, необхідно передбачити не менше 2 етапів обробки для даної поверхні.

#### 2.4 Обробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут обробки деталі будемо на підставі обраних маршрутів обробки окремих поверхонь з урахуванням типу виробництва (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Маршрут обробки деталі

№ операції	Обладнання	Зміст операції
1	2	3
005 Заготівельна	Молот	
010 Термічна	Піч камерна ПКО 1,4-300	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
015 Фрезерно- центрувальна	Фрезерно- центрувальний MP-71M	
020 Вертикально- фрезерна	Вертикально- фрезерний 6T13	
025 Токарна із ЧПК	Токарно- гвинторізний 16K30T1	
030 Токарна із ЧПК	Токарно- гвинторізний 16K30T1	
035 Токарна	Токарно- гвинторізний 16K25	
040 Вертикально- фрезерна	Вертикально- фрезерний 6T13	
045 Радіально- свердлильна	Радіально- свердлильний 2M55	

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
050 Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний 6Т13	
055 Термічна	Установка СВЧ 4250-0036	
060 Шліфувальна	Горизонтально-шліфувальний верстат ЗУ142	
065 Контрольна	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 розмір  $\varnothing 90h7_{(-0,035)}$  мм.

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

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

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

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

$\rho_{i-1}$  – 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;

$\varepsilon_i$  – 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.

Таблиця 2.3 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів за технологічними переходами при обробці  $\varnothing 90h7_{(-0,035)}$  мм

Техно-логічний перехід	Елемент припуску			Розрах. припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Розрах. розмір $d_p$ , мм	Допуск, мкм	Граничний розмір		Гранич. припуск		
	$R_z$	T	$\rho$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$	
Заготовка	320	350	1890	95,585	2200	95,6	97,8	-	-		
Точіння чорнове	100	100	0	5120	90,465	870	90,5	91,37	5100	6430	
Точіння чистове	25	25	0	400	90,065	140	90,1	90,24	400	1130	
Шліфування	5	15	0	100	89,965	35	89,965	90	135	240	
Усього								5635	7800		

Проводимо перевірку правильності розрахунку:

$$2 \cdot Z_{\max} - 2 \cdot Z_{\min} = \delta_z - \delta_d, \quad (2.7)$$

$$7800 - 5635 = 2200 - 35;$$

$$2165 = 2165.$$

Для наочності результати розрахунків зручно зобразити графічно (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 – Графічна схема розташування припусків на обробку ступені валу  $\varnothing 90h7_{(-0,035)}$  мм

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Розробка фасонного різального інструменту

При проектуванні валу виникає потреба у виготовленні модульної фрези для нарізання шліца. Для зменшення часу на нарізання і підвищення продуктивності праці спроектуємо спеціальну дискову фрезу, яка складається з двох дискових фрез і закріплена на валу [12, 36, 38, 39]. Складальний кресленик різального інструменту представлено у графічній частині роботи, а також на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Фреза фасонна модульна

Інструмент складається із наступних елементів: 1 – фреза торцева; 2, 3 – втулка; 4 – вал; 5 – втулка; 6 – шайба; 7 – гайка; 8 – шпонка.

Обираємо основні конструктивні параметри фрези:  $D = 100$  мм,  $m = 2,5$  мм,  $d_{\text{отв}} = 30$  мм,  $z = 12$ ,  $B = 8$  мм.

Призначаємо допуски та граничні відхилення дискових зубонарізних фрез відхилення від радіальності  $A_f = \pm 0,005$  мм, биття бічних різучих кромки по нормалі 0,063 мм, радіальне биття по зовнішньому діаметру за 1 оберт 0,063 мм, биття 2-х суміжних зубів не більше 0,032 мм, відхилення профілю зуба: на ділянці евольвенти 0,05 мм; на вершині зуба 0,1 мм.

Призначаємо кут профілю стружкової канавки ( $\varphi = 18 \dots 30^\circ$ ).

Приймаємо  $\varphi = 25^\circ$ . Радіус дна канавки  $r = 2 \dots 5$  мм. Приймаємо  $r = 5$  мм.

Профільний зуб фрези можна розрахувати аналітично а побудувати його, використовуючи таблиці координат. У цих таблицях задані координати точок В, С, О, та Е і координати будь-яких інших точок Х та У на евольвентній ділянці. Обираємо профіль фрези типу 11. Цей профіль призначено для фрез №6, 7, 8. Вписуємо табличні значення для розрахунку величин  $H_1$  і  $S_1$  у залежності від заданого  $m$ : т. В:  $H_1 = 0,84375$  мм,  $S_1 = 1,24725$  мм. т. D:  $H_3 = 5,43275$  мм,  $S_3 = 3,092$  мм, т. E:  $H_4 = 5,75$  мм,  $S_4 = 3,26$  мм.  $H_5 = 5,75 + 0,2 \cdot 2,5 = 6,25$  мм,  $S_5 = 8/2 = 4$  мм. Центр кола  $X_{ц} = 0,1445$  мм,  $Y_{ц} = 1,1425$  мм

Далі пронумеруємо 4...6 точок на евольвентній ділянці та визначаємо коефіцієнти цих точок. Користуючись таблицею для побудови евольвентної ділянки, величину  $Y_i$  слід обирати більше ніж значення  $H_1$ , тобто більше за значення, що стоять у чисельнику (33,75) та менше тих же значень для визначення  $H_3$  тобто менше 217,13.

У нашому випадку обираємо.

$$y_1^{таб} = 40 \quad y_2^{таб} = 80 \quad y_3^{таб} = 120 \quad y_4^{таб} = 160 \quad y_5^{таб} = 200;$$

$$Y_1 = 1, \quad Y_2 = 2, \quad Y_3 = 3, \quad Y_4 = 4, \quad Y_5 = 5.$$

Цим значенням  $Y_i$  відповідають значення  $X_{цi}$ :

$$X_1 = 1,29; \quad X_2 = 1,6035; \quad X_3 = 1,9745; \quad X_4 = 2,393; \quad X_5 = 2,873.$$

Розраховуємо величину затилування, мм, за формулою.

$$K = \frac{\pi D_0 \cdot \sin \varphi}{z_{фр}} \quad (3.1)$$

$\alpha_{\beta} = 10 \dots 12^{\circ}$  (приймаємо  $12^{\circ}$ );

$D_a = 100$  мм;

$$K = \frac{3,14 \cdot 100}{12} \cdot \operatorname{tg} 12^{\circ} = 5,6$$

Повна глибина стружкової канавки.

$$h_k = 5,75 + 5,6 + 5 = 16,35 \text{ (мм)},$$

приймаємо  $h_k = 16$  мм.

### 3.2 Розрахунок зусилля різання

Силу різання, що виникає під час фрезерування  $P_z$  визначимо за формулою [7, 28, 12, 36, 38, 39]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n} \cdot K_p, \quad (3.2)$$

де  $t = 1,0$  мм – глибина різання;

$S = 0,1$  мм/зуб – подача;

$B = 8$  мм – ширина фрезерування;

$z = 12$  – кількість зубів фрези;

$D = 100$  мм – діаметр фрези;

$n = 80$  хв<sup>-1</sup> – частота обертання фрези;

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

$C_p = 68,2$ ;  $x = 0,86$ ;  $y = 0,72$ ;  $u = 1,0$ ;  $q = 0,86$ ;  $\omega = 0$  – коефіцієнт та показники ступеня.

Визначимо силу різання:

$$P_c = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 1,0^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 8^{1,0} \cdot 12}{100^{0,86} \cdot 80^0} \cdot 1,1 = 261,5 \text{ (Н)}.$$

Обертний момент становить:

$$T = \frac{F_z \cdot D}{2 \cdot 100} \quad (3.3)$$

$$T = \frac{261,5 \cdot 100}{2 \cdot 100} = 130,8 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Враховуючи те, що фреза здвоєна, це значення сили та моменту збільшуємо у два рази.

### 3.3 Розрахунок слабкої ланки на міцність

Проведемо розрахунки шпонкового з'єднання на діаметрі 30 мм на зминання та зріз.

Умова міцності на зминання має вид:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_0 \cdot (h - t_1)} \leq [\sigma_{зм}], \quad (3.4)$$

де  $\sigma_{зм}$  – діюче напруження зминання, МПа;

$T$  – номінальний обертовий момент, Н·м;

$d$  – діаметр валу, 30 мм;

$l_0$  – робоча довжина шпонки, 42 мм;

$h$  – висота шпонки, 8 мм;

$t_1$  – глибина паза на валу, 5 мм;

$[\sigma_{зм}]$  – допустиме напруження зминання, 130 МПа.

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 130,8 \cdot 10^3}{[30 \cdot 42 \cdot (8 - 5)]} = 138,4 \text{ (МПа)}.$$

Міцність з'єднання на зминання достатня, бо розрахункове напруження (138,4 МПа) менше від допустимого (160 МПа при заданих умовах експлуатації з'єднання) для вибраної шпонки 10×8×42 мм.

Умова міцності на зріз:

$$\tau_{zp} = \frac{F}{S} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot b \cdot l_0} \leq [\tau_{zp}], \quad (3.5)$$

де  $\tau_{zp}$  — діюче напруження зрізання, МПа,

$[\tau_{zp}]$  — допустиме напруження зрізання,  $[\tau_{zp}] = 0,6 [\sigma_{зм}]$ .

$$\tau_{zp} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 130,8 \cdot 10^3}{30 \cdot 10 \cdot 42} = 41,5 \text{ (МПа)};$$

$$[\tau_{zp}] = 0,6 \cdot 160 = 96 \text{ (МПа)};$$

$$\tau_{zp} = 41,5 \text{ МПа} < [\tau_{zp}] = 96 \text{ МПа}$$

Міцність з'єднання на зріз достатня, бо розрахункове напруження (41,5 МПа) менше від допустимого (96 МПа при заданих умовах експлуатації з'єднання) для вибраної шпонки 10×8×42 мм.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Для валу, що виготовляється зі сталі 38ХГН, способи отримання заготовок для порівняння наступні: виготовлення кованням та штампування на молотах [1, 4, 5, 30-34, 49].

Ціну кованки визначаємо:

$$C_{гк} = 0,001 \cdot (C_{бк} \cdot G_{гк} \cdot K_{гк} \cdot K_{ск} \cdot K_{МК} \cdot K_{ПК} \cdot K_{Вк} + (C_{гк} \cdot G_{г}) \cdot C_{ВХ}) \quad (4.1)$$

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

$G_{г}$  – маса деталі, кг,  $G_{г} = 59$  кг.;

$G_{к}$  – маса кованки, кг,

$$G_{к(кув-я)} = \frac{59}{0,6} = 98,3 \text{ (кг)};$$

$$G_{к(штам-я)} = \frac{59}{0,7} = 84,3 \text{ (кг)}.$$

$K_{гк}$ ,  $K_{ск}$ ,  $K_{МК}$ ,  $K_{ПК}$ ,  $K_{Вк}$  – коефіцієнти відповідно точності, розмірів, конструктивної та технологічної складності, марки матеріалу, програми річного замовлення та виду кувалального обладнання;

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

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

Знаходимо для заготовки деталі вал:

- ступінь складності С3;

- група сталі М2;
- клас точності Т2;
- група серійності 2.

Знаходимо значення коефіцієнтів:

$$K_{TK}=1,0; K_{CK}=1,37; K_{BK}=1,2; K_{TK}=1,3; K_{MK}=1,09;$$

$$K_{TK}=1,0; K_{CK}=1,15; K_{BK}=1,14; K_{TK}=1,23; K_{MK}=1,09.$$

Визначимо оптову ціну слієї тону сталі 38ХГН – 67000 грн. за тону, оптову ціну відходів сталі 38ХГН – 10000 грн.

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

$$C_{B.KVB} = 0,001(67000 \cdot 98,3 \cdot 1,0 \cdot 1,37 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,09 - (98,3 - 59) \cdot 10000) = 14949,6 \text{ грн.};$$

$$C_{ШТ} = 0,001(67000 \cdot 84,3 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,14 \cdot 1,23 \cdot 1,09 - (84,3 - 59) \cdot 10000) = 9674,4 \text{ грн.}$$

Визначимо економічний ефект з урахуванням річної програми випуску:

$$E = (14949,6 - 9674,4) \cdot 250 = 1318800 \text{ (грн.)}.$$

Висновок: як видно із розрахунків ціна заготовок, отриманих штампуванням, нижча за ціну кованок.

## 4.2 Розрахунок місцевого освітлення робочої зони

Штучне освітлення призначається для освітлення робочих поверхонь в темний час доби або при недостатньому їх освітленні. Воно проектується двох видів: загальне та місцеве. Загальне призначається для освітлення всього цеху в цілому, а місцеве використовується для освітлення конкретного робочого місця, умови роботи на якому не задовольняють загальному освітленню в цеху [2, 8, 10, 14-17, 19, 20, 22, 26, 27, 31, 33, 41-46, 50].

Точковий метод призначений для розрахунку локалізованого та комбінованого освітлення певних площин. В основу точкового методу покладено наступне рівняння:

$$E = \frac{I_a \cos \alpha}{r^2}, \quad (4.2)$$

де  $I_a$  – сила світла в напрямку від джерела на задану точку робочої поверхні, кд;  
 $\alpha$  – кут падіння світлових променів, тобто кут між променем та перпендикуляром до освітлюваної поверхні;  
 $r$  – відстань від світильника до заданої точки (рисунк 4.1), м.

Рисунок 4.1 – Освітленість точки А, що належить площині С точковим джерелом С

Для практичного використання в формулу (4.1) підставляємо коефіцієнт запасу  $k_3$  та значення  $r$ :

$$r = \frac{h_p}{\cos \alpha}, \quad (4.3)$$

Тоді формула (4.3) матиме вид:

$$E = \frac{I_a \cdot \cos^3 \alpha}{K_e \cdot h_p}. \quad (4.4)$$

Висираємо лампи типу ДРЛ потужністю 400 Вт, світловий потік лампи  $\Phi_{\text{л}} = 19\,000$  лм, величини сили світла  $I_a = 20\,000$  кд.

Розрахуємо освітленість стола верстата в механічному цеху. Визначимо висоту підвісу  $h$  світильника. Висота приміщення цеху в розділі 7 була прийнята 10,0 м, звідси за наступною формулою визначаємо висоту підвісу  $h$  світильника:

$$h = H - h_p - h_c, \quad (4.5)$$

$$h = 10 - 1 - 1 = 8 \text{ м},$$

де  $H$  – загальна висота приміщення;

$h_p$  – висота до робочої поверхні;

$h_c$  – висота світильника.

Кут падіння світлових променів, умовно приймемо  $30^\circ$ . Тоді маємо, що:

$$E = \frac{20000 \cdot \cos^3 30}{1,5 \cdot 8} = 1082,5 \text{ (лк)}.$$

У результаті розрахунку освітленості можна зробити висновок, що вибрані лампи у достатній мірі забезпечують освітлення робочої поверхні верстату, так як норма освітленості  $E_{\text{н}} = 300$  лк, а розрахована освітленість  $E = 1082,5$  лк.

### 4.3 Екологічні аспекти утилізації стружки

Сучасне виробництво неможливо уявити без процесів механічної обробки металів та інших матеріалів. В результаті фрезерування, точіння, свердління та інших операцій утворюється значна кількість відходів – насамперед стружки. Незважаючи на те, що стружка є побічним продуктом, вона є цінним вторинним ресурсом, особливо в умовах обмеженості природних ресурсів. Однак неправильне поводження зі стружкою може завдати істотної шкоди навколишньому середовищу. Тому утилізація стружки має розглядатися не лише як економічна необхідність, а й як екологічний пріоритет.

Стружка – це уламки матеріалу, що виникають у процесі різання та зняття припуску із заготовки. Найчастіше йдеться про металеву стружку, що отримується при обробці сталі, алюмінію, міді, латуні та інших сплавів. Також існує деревна та пластикова стружка. Кожен вид стружки має свої фізико-хімічні властивості, що впливають на методи її утилізації.

Особливістю металевої стружки є наявність масляно-охолоджуючих рідин (МОР), які використовуються у процесі обробки. Ці рідини містять олії, емульсії та хімічні добавки, здатні завдати шкоди екосистемі при попаданні в ґрунт або водойми. Крім того, металева стружка може бути забруднена токсичними сполуками, особливо, якщо обробляються леговані сталі, як у нашому випадку.

Неправильна утилізація стружки може призвести до ряду екологічних наслідків, які ми й розглянемо.

Забруднення ґрунту та водойм. МОР, що містяться у стружці, при попаданні в ґрунт, здатні порушити мікрофлору, змінити рН середовища, зробити ґрунт непридатним для сільського господарства. Попадання МОР у воду призводить до зниження вмісту кисню, загибелі риби та порушення біологічних ланцюжків.

При спалюванні стружки, що особливо містить оливи або синтетичні добавки, виділяються токсичні сполуки – діоксини, фуран та важкі метали, що негативно впливає на здоров'я людини та тварин.

Захоронення стружки на звалищах займає великі обсяги та сприяє утворенню забрудненого фільтрату, який може потрапити у ґрунтові води.

При утилізації без переробки втрачається можливість повторного використання сировини, що веде до збільшення видобутку первинних ресурсів та зростання викидів парникових газів.

Для зменшення екологічної шкоди розглянемо основні методи утилізації стружки.

1. Механічна переробка. Збирання та сортування стружки з подальшим подрібненням, сушінням та пресуванням у брикети. Такий підхід полегшує транспортування та зберігання, знижує обсяг та підвищує вартість відходів при здачі у переробку. Пресування зменшує кількість МОР за рахунок їх віджиму. Віджату рідину можна направити на регенерацію та повторне використання, знижуючи споживання нових масел.

2. Очищення від МОР. Для зменшення забруднюючого ефекту використовуються установки для відмивання стружки від оливої та емульсій. Промивання може бути водним, лужним або з використанням спеціальних розчинників. Після очищення стружку можна безпечно переплавляти або спрямовувати на подальшу переробку.

3. Один із найефективніших способів утилізації металевої стружки – її переплавлення та повернення у виробництво. Однак для цього важливо забезпечити високу якість стружки: відсутність неметалевих включень, мінімальний рівень забруднення оливою та вологою. Наприклад, алюмінієва стружка може бути перероблена з утворенням нових алюмінієвих заготовок, що вимагає у 10 разів менше енергії, ніж виплавка з руди.

4. Для деяких видів стружки, що містять легуючі добавки або небезпечні компоненти, використовуються методи хімічної регенерації. Такі технології дозволяють вилучати цінні компоненти (наприклад, вольфрам, нікель, молібден) із складних сплавів та використовувати їх повторно.

У багатьох країнах утилізація виробничих відходів, зокрема стружки, суворо регулюється. Згідно з міжнародними екологічними стандартами (наприклад, ISO 14001), підприємства зобов'язані мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, у тому числі правильно поводитися з відходами.

Сучасні тренди спрямовані на «нульові відходи» та економіку замкнутого циклу, де стружка розглядається не як сміття, а як сировина.

Розглянемо деякі перспективні підходи:

- автоматизація збирання та переробки стружки на верстатах з ЧПК з моментальним відкачуванням МОР та пресуванням;
- нанотехнології уловлювання та очищення від забруднюючих речовин;
- створення композитних матеріалів на основі металеві стружки;
- біорозкладні МОР, які простіше утилізуються та не накопичуються у природі.

Отже, утилізація стружки – це не просто завдання щодо переробки відходів, а важливий елемент екологічно відповідального виробництва. Неухвалення цим питанням може спричинити серйозні наслідки для довкілля та здоров'я людини.

Сучасні технології дозволяють ефективно переробляти стружку, витягувати з неї цінну сировину і знижувати шкоду, яка завдається екосистемі. Тому необхідний системний підхід, що включає сортування, очищення, регенерацію та повторне використання матеріалів. Тільки в такому випадку можна говорити про перехід до сталого та екологічно безпечного виробництва.

## ВИСНОВКИ

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

1. Визначено службове призначення муфти шарнірної для передачі обертового моменту. Проведено аналіз деталі, що є складовою частиною, а саме валу. Охарактеризовано конструкційний матеріал цієї деталі, надано рекомендації стосовно заміника-аналогу. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – середньосерійний.

2. Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталь. Проаналізовано діючий технологічний процес виготовлення. Розроблено маршрут обробки поверхонь валу. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів поверхні  $\varnothing 90 \pm 0,07$  мм розрахунково-аналітичним методом.

3. Запропоновано конструкцію різального інструменту, а саме модульної зуборізної фрези, що може бути використана під час фрезерування плічів на поверхні валу. Визначено зусилля різання, обертовий момент. 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 250 шт. склав 1318800 грн. Окрім того, запропоновано розрахунок міцного освітлення робочої зони. Приділено увагу екологічним аспектам, пов'язаним з утилізацією стружки.

5. У графічній частині роботи наведено складальний кресленик муфти шарнірної, кресленик валу, кресленик заготовки валу, складальний кресленик різального інструменту для фрезерної обробки.