

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проект ділянки ремонтного цеху для відновлення валу приводного  
151.37.376-1 роздавальної коробки, з дослідженням методу наплавлення під  
шаром флюсу

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-61  
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Пальчевський Ю.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Рогатинський Р.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Левкович М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

В.о. зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2022

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

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«11» листопада 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Пальчевському Юрію Ярославовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект дільниці ремонтного цеху для відновлення валу приводного 151.37.376-1 роздавальної коробки, з дослідженням методу наплавлення під шаром флюсу.

Керівник роботи Рогатинський Р.М., д.т.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2022 року № 4/7-899

2. Термін подання студентом завершеної роботи 12 грудня 2022

3. Вихідні дані до роботи Характеристика підприємства, базовий технологічний процес.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Карта дефекації деталі – 1А1.

Методи відновлення зовнішніх циліндричних поверхонь – 1А1.

Установка для наплавлення під шаром флюсу – 1А1.

Привід обертача для накладання кільцевих швів – 1А1.

Базова технологія наплавлення під шаром флюсу та його недоліки – 1А1.

Структура та розподіл температури в наплавленому шарі – 1А1.

Характеристика вдосконаленого способу зварювання під шаром флюсу – 1А1.

Планування зварювально-наплавлювальної дільниці – 1А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 11.11.2022р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	16.11.2022	
2	Технологічний розділ	21.11.2022	
3	Конструкторський розділ	25.11.2022	
4	Науково-дослідний розділ	02.12.2022	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	02.12.2022	
6	Оформлення графічної частини	08.12.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	22.12.2022	

Студент

(підпис)

Пальчевський Ю.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Рогатинський Р.М.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

У даній магістерській роботі виконана задача по вдосконаленні та модернізації елементів конструкції установки для зварювання під шаром флюсу, тим самим з'явилась можливість регулюючи кут нахилу зварювальної головки покращити якість наплавленого шару.

Розроблений технологічний процес відновлення валу привода . Розраховано норми часу технологічного процесу відновлення валу привода та виконаний порівняльний аналіз базового та запропонованого процесу відновлення.

У конструкторському розділі роботи запропоновано удосконалену конструкцію установки для наплавлення під шаром флюсу з можливістю регулювання кута нахилу зварювальної головки. Розраховано механічні елементи установки.

У науковому розділі досліджувались закономірності виникнення тріщин та проаналізовано основні способи їх уникнення та підвищення зносостійкості деталі. Була проведена розрахункова оцінка схильності наплавленого металу до утворення холодних тріщин. Вибраний електродний дріт Св08 та керамічний флюс КС-1, що забезпечує кращі показники як зносостійкості так і стійкості проти утворення тріщин.

Ключові слова: терття, відновлення, наплавлення, деформація, твердість.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	7
<b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	8
1.1 Характеристика деталі.....	8
1.2 Характеристика умов роботи деталі та вимоги до неї. Вид та механізм зношування.....	9
1.3 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу.....	9
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	10
2.1 Технологічний процес дефектування деталі.....	10
2.2 Вибір установчих баз.....	11
2.3 Складання структурної послідовності технологічного процесу відновлення валу привода.....	12
2.4 Обладнання і інструмент для технологічного процесу відновлення деталі.....	13
2.5 Розрахунок режимів та норм часу виконання технологічного процесу відновлення деталі.....	13
2.6 Аналіз технологічного процесу і організація виконання робіт на зварювально-наплавлювальній дільниці.....	18
2.7 Розрахунок і вибір технологічного обладнання.....	19
2.8 Розрахунок площі зварювально-наплавлювальної дільниці.....	21
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ</b> .....	22
3.1 Вибір апаратури для підготовки повітря для пневматичного пристосування.....	22
3.2 Основні розрахунки модернізованої установки для наплавлення під шаром флюсу.....	27
3.3 Обґрунтування та вибір технологічної послідовності виконання робіт на пристосуванні, особливості його збирання.....	35
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ</b> .....	37
4.1 Гарячі тріщини. Методи оцінювання стійкості проти утворення гарячих тріщин.....	37
4.2 Удосконалення способу відновлення деталей автоматичним	

	6
наплавленням під шаром флюсу.....	41
4.3 Вибір флюсу для автоматичного зварювання під шаром флюсу легованих сталей.....	44
4.4 Випробування на мікротвердість.....	46
4.5 Температурне поле при русі джерела теплоти по циліндричній поверхні.....	48
4.6 Способи оцінювання схильності металу зварювального з'єднання до утворення холодних тріщин.....	50
4.7 Методи підвищення опору зварювальних з'єднань легованих сталей до утворення холодних тріщин.....	52
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>53</b>
5.1 Ідентифікація небезпечних і шкідливих факторів при наплавленні під шаром флюсу.....	53
5.2 Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного характеру.....	55
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>59</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>60</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Оскільки якість зварювання під шаром флюсу визначається параметрами процесу зварювання, такими як велика глибина проплавлення, що спричиняє несприятливий термічний вплив на матеріал деталі, тому ця проблема потребує розв'язання як з технологічної, так і з конструкторської точок зору.

Найефективніше використовувати автоматичне наплавлення у тих випадках, коли треба наплавити шар товщиною понад 3 мм. До таких деталей належать у першу чергу деталі ходової частини тракторів і деталі сільськогосподарських машин – котки, цапфи, ролики, осі тощо. Глибоке проплавлення небажане – воно збільшує деформації.

Недоліком цього способу є те, що електрод встановлений під кутом  $90^\circ$  до зварювальної поверхні збільшує зону термічного впливу на основний метал. При цьому змінюється металічна структура деталі, що призводить до появи тріщин. Крім того, геометричні параметри зварювального шову характеризуються малими радіусом та шириною його заокруглень.

# 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Характеристика деталі

Ведений вал привода встановлений на двох кулькових підшипниках, на передньому кінці якого встановлений зубчатий вінець для з'єднання з рухомою шестернею. На шліцьовий кінець валу посаджений фланець для приєднання кардана валу відбору потужності. Підшипники і фланець затягнуті на валу корончатою гайкою.

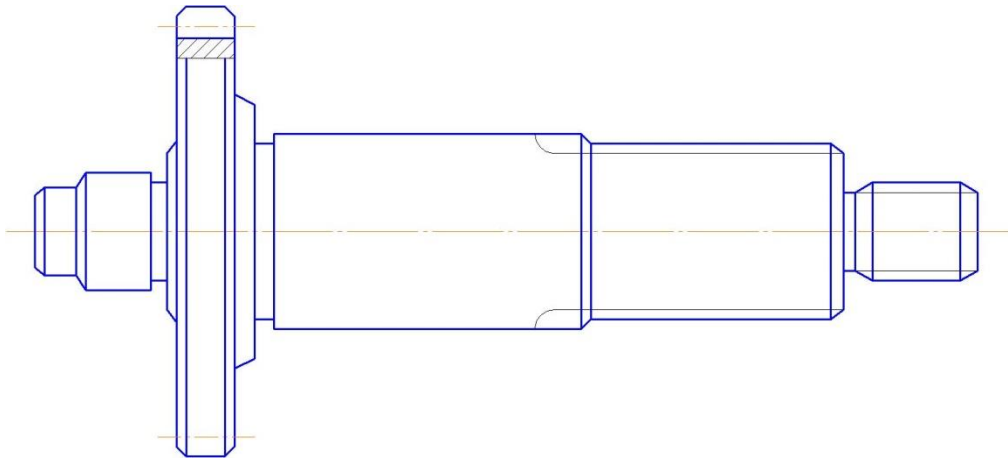


Рисунок 1.1 – Загальний вид валу привода валу відбору потужності

Деталь відноситься до класу «стержні з фасонною поверхнею». Для їх виготовлення застосовують конструкційні середньовуглецеві і леговані сталі, високоміцний чавун. Робочі поверхні в більшості випадків підлягають гартуванню струмами високої частоти або цементації з наступним гартуванням і низькотемпературним відпусканням.

Вал працює в умовах контактних навантажень в супроводі згинаючих зусиль. Руйнівними факторами є контактні навантаження, згин і тертя.

В якості матеріалу для виготовлення валу привода валу відбору потужності використовуємо леговану сталь 40ХН.

Хімічний склад матеріалу та механічні властивості наведені в таблицях 1.1-1.2.



Таблиця 1.1 – Хімічний склад, % (ГОСТ 14959-79).

C	Cr	Ni	Si	P	S	Mn
			Не більше			
0,4	1	1	0,25	0,035	0,035	0,20

Таблиця 1.2 – Механічні властивості

Сталь	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	НВ	HRC
40ХН	980	588	11	240-270	—

## 1.2 Характеристика умов роботи деталі та вимоги до неї. Вид та механізм зношування

Вал працює в умовах контактних навантажень, згину і тертя.

Під дією змінних контактних напруг, які перевищують деякий граничний діапазон, в найбільш напруженій зоні поверхневого шару з'являється тріщина, подальша зміна якої визначається загальними умовами в контакті. Специфічність процесу контактної втомлюваності полягає в значних діючих напруженнях стискання, в тепловиділенні від зовнішнього тертя, в наявності двох тіл і проміжного середовища між ними, яка активно бере участь у процесі, та в ролі мікронерівностей як концентраторів напруг.

## 1.3 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

Провести аналіз існуючих технологій підвищення зносостійкості, що використовуються потребують удосконалення, оскільки у зварювальному шові спостерігається схильність до появи тріщин.

Провести дослідження показали, що змінюючи кут нахилу зварювальної головки, можна керувати якістю наплавленої поверхні, тріщиностійкістю.

Підтвердити результати експериментальних досліджень покращення фізико-механічних властивостей. Розробити технологічний процес відновлення деталі з наведенням основних операцій.

Провести модернізацію установку для наплавлення під шаром флюсу. Розрахувати гвинтову передачу та кулачкову муфту.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Технологічний процес дефектування деталі

Дефектування є процесом визначення технічного стану деталей і можливості їх відновлення. У відповідності з типовою технологією деталі сортують за наступними групам: придатні, придатні в сполученні з новими, або відновленими до номінального розміру, підлягають ремонту і непридатні.

Придатні деталі віддаються в комплектувальні відділення або на склад; деталі які підлягають ремонту - на відповідні дільниці відновлення. Браковані деталі здаються в утиль.

Дефектування проводиться візуально й з використанням інструменту, пристроїв і пристосувань.

Візуально можливо визначити наявність сколів та тріщин на поверхнях валу, а також перевірити стан різьби.

Основні дефекти валу привода приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні дефекти валу привода

Дефект	Розміри, мм.			Висновок
	Номінальний	Допустимий без ремонту	Допустимий для ремонту	
Тріщини і злами	–	–	–	Бракувати
1 Зношення поверхні під шарикопідшипник	25±0,007	24,99	24	Наплавлення в середовищі CO <sub>2</sub> та шліфування під номінальний розмір
2 Зношення по товщині, викришування робочих поверхонь зубів	–	–	–	Заміна спрацьованого вінця на новий
3 Зношення поверхні під шарикопідшипник	40±0,008	40,01	39	Наплавлення під шаром флюсу та шліфування

4 Зношення шліців по товщині	6-0,045	5,18	5	Приварювання стрічки з одночасним осадженням по бокових поверхнях з метою одержання припуску
------------------------------	---------	------	---	--

## 2.2 Вибір установчих баз

Правильний вибір установочних баз при розробці технологічних процесів визначає їх точність по координаційно-кінематичних розмірах. Вибір баз для обробки ремонтних заготовок представляє відому складність, пов'язану з можливим зносом, викривленням і коробленням базових поверхонь. У цьому випадку слід керуватися наступними положеннями:

- якщо у ремонтної заготовки збереглася заводська допоміжна база, то її слід прийняти за установочну;
- при обробці деталі не за всіма, а по окремим поверхням в якості установочної бази потрібно брати базові поверхні що збереглися;
- кращі результати по координаційній і координатній точності досягаються в тих випадках, коли всі операції виконуються від однієї і тієї ж установочної бази;
- якщо потрібно обробка деталі по всім базовим і базисним поверхням то в якості чорнової опорної бази слід вибрати таку, при використанні якої можна обробити всі базові і базисні поверхні за одне встановлення.

Установочними базами називають такі поверхні деталі, якими вона встановлюється для обробки у визначеному положенні відносно ріжучого інструменту.

Перелік установочних баз по операціях та переходах запропонованого технологічного процесу відновлення дефектів валу привода наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік установочних баз по операціях запропонованого технологічного процесу відновлення дефектів валу привода

Номер операції	Назва операції	Установча база
005	Шліфування	Привальна площина
010	Наплавлення	–
015	Правка	Привальна площина
020	Токарна	Привальна площина
025	Гартування	–
030	Відпускання	–
035	Шліфування	Привальна площина

### 2.3 Складання структурної послідовності технологічного процесу відновлення валу привода

Технологічний процес відновлення валу привода складаємо у наступній послідовності, яка представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технологічний процес відновлення валу привода

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції
005	Шліфувальна	Шліфування поверхні під наплавлення
010	Наплавлювальна	Наплавлення валу електродним дротом Св08 під шаром керамічного флюсу КС-1
015	Правка	Вирівнювання валу після наплавлення для усунення вигнутості
020	Токарна	Токарна обробка

		наплавленої поверхні
025	Гартувальна	Гартування струмом високої частоти
030	Відпускаюча	Нагрів до 723°C. Охолодження разом з піччю
035	Шліфувальна	Чистове шліфування наплавленої деталі

#### **2.4 Обладнання і інструмент для технологічного процесу відновлення деталі**

Обладнання, яке використовується при виконанні технологічного процесу відновлення валу привода представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Обладнання необхідне для виконання технологічного процесу

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Шліфувальна	Шліфувальний станок 3М151
010	Наплавлювальна	Обертач 509-35-213А
015	Правка	Прес К 2538 6300кН
020	Токарна	Токарний станок 16К20
025	Гартувальна	Індуктор СВЧ
030	Відпускаюча	Піч індукційна
035	Шліфувальна	Шліфувальний станок 3М151

#### **2.5 Розрахунок режимів та норм часу виконання технологічного процесу відновлення деталі**

005 Шліфувальна

Припуск на подальшу обробку деталі:

$$h = \frac{D-d}{2}, \quad (2.1)$$

$$h = \frac{40-39}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

Для попередньої обробки поперечна подача:

$$S_{II} = 0,023 \text{ мм / об.}$$

Повздовжня подача:

$$S_{III} = 0,45 \text{ мм / об.}$$

Число проходів, яке необхідне для зняття припуску:

$$i = \frac{h}{t}, \quad (2.2)$$

$$i = \frac{0,5}{0,03} = 16.$$

Перераховуємо повздовжню подачу по формулі:

$$S_{III} = B_K \beta, \quad (2.3)$$

$$S_{III} = 15 \cdot 0,3 = 4,5 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_O = \frac{Li}{nS_{III}} K_3, \quad (2.4)$$

$$T_O = \frac{67 \cdot 16}{44 \cdot 4,5} \cdot 1,2 = 6,5 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму часу за формулою, хв.:

$$T_H = T_O + T_D + T_{\text{дод}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \quad (2.5)$$

$$T_H = 6,5 + 0,6 + 0,82 + \frac{13}{1} = 20,9$$

Сума основного та допоміжного часу складає оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_O + T_D \quad (2.6)$$

$$T_{\text{оп}} = 8,5 + 0,6 = 9,1$$

Додатковий час розраховуємо пропорційно до затрат оперативного, хв.:

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} K}{100}, \quad (2.7)$$

$$T_{\text{дод}} = \frac{9,1 \cdot 9}{100} = 0,82$$

### 010 Наплавлення

Визначаємо норму часу за формулою, хв.:

$$T_H = T_O + T_D + T_{\text{дод}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \quad (2.8)$$

Основний час визначають за формулою, хв.:

$$T_O = \frac{Li}{nS}, \quad (2.9)$$

$$T_O = \frac{67 \cdot 1,3}{44 \cdot 2,5} = 0,79$$

Число проходів:

$$i = \frac{D-d}{2t}, \quad (2.10)$$

$$i = \frac{43-39}{2 \cdot 1,6} = 1,3$$

$$T_H = 0,79 + 0,91 + 1,37 + 16 = 19,07$$

### 015 Правка

Норма часу визначається за формулою, хв.:

$$T_H = T_O + T_D + T_{\text{НАГ}} + T_{\text{дод}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \quad (2.11)$$

$$T_{\text{НАГ}} = K_{\text{НАГ}} T_{\text{ОП}}, \quad (2.12)$$

$$T_{\text{НАГ}} = 0,49 \cdot 1 = 0,49 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{дод}} = 0,25 T_{\text{ОП}} \quad (2.13)$$

$$T_{\text{дод}} = 0,25 \cdot 9,1 = 2,275 \text{ хв.}$$

Виразивши затрати часу через оперативний час, отримаємо:

$$T_H = T_{\text{ОП}} + K_{\text{НАГ}} T_{\text{ОП}} + 0,25 T_{\text{ОП}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \quad (2.14)$$

Позначивши суму коефіцієнтів при оперативному часі через  $K$ , отримаємо формулу для розрахунку норми часу, хв.:

$$T_H = K T_{\text{ОП}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n_{\text{шт}}}, \quad (2.15)$$

$$T_H = 1,65 \cdot 9,1 + \frac{8}{1} = 18,75$$

020 Токарна

Припуск на обробку деталі:

$$h = \frac{43 - 41}{2} = 1 \text{ мм}$$

Число проходів, яке необхідне для зняття припуску:

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

Основний час визначають за формулою, хв.:

$$T_o = \frac{67 \cdot 1,3}{44 \cdot 2,5} = 0,79$$

$$T_D = 0,95 \text{ хв.}$$

Додатковий час розраховуємо пропорційно до затрат оперативного, хв.:

$$T_{\text{дод}} = \frac{9,1 \cdot 9}{100} = 0,82$$

$$T_{\text{ПЗ}} = 9 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму часу за формулою, хв.:

$$T_H = 0,79 + 0,95 + 0,82 + 9 = 11,56$$

025 Гартувальна

Гартування СВЧ відбувається на протязі 15 с. при температурі 900...920°C.

030 Відпускарна

Відпускання відбувається на протязі 45 хв. Деталь нагрівається до 170...190°C. Охолодження разом з піччю.

035 Шліфувальна

Число проходів, яке необхідне для зняття припуску:

$$i = \frac{0,5}{0,04} = 12.$$

Перераховуємо повздовжню подачу по формулі:

$$S_{\text{ПР}} = 15 \cdot 0,3 = 4,5 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{67 \cdot 12}{44 \cdot 4,5} \cdot 1,5 = 6 \text{ хв.}$$

Визначаємо норму часу за формулою, хв.:



$$T_H = 6 + 0,6 + 0,59 + \frac{13}{1} = 26,19$$

Сума основного та допоміжного часу складає оперативний час:

$$T_{оп} = 6 + 0,6 = 6,6$$

Додатковий час розраховуємо пропорційно до затрат оперативного, хв.:

$$T_{дод} = \frac{6,6 \cdot 9}{100} = 0,59$$

На миття деталі та дефекацію виділяється 3 та 5 хв. відповідно.

Таблиця 2.4 – Норми часу на проведення операцій базового та запропонованого процесу відновлення валу привода

Базовий метод		Запропонований метод	
Номер та найменування операції	Норма часу на операцію $T_H$ , хв.	Номер та найменування операції	Норма часу на операцію $T_H$ , хв.
005 Шліфування	20,9	005 Шліфування	20,9
010 Приварювання стрічки	23,1	010 Наплавлення	19,07
015 Правка	18,75	015 Правка	18,75
020 Токарна	11,56	020 Токарна	11,56
025 Термічна (гартування)	0,25	025 Термічна (гартування)	0,25
030 Термічна (відпускання)	45	030 Термічна (відпускання)	45
035 Шліфування	26,19	035 Шліфування	26,19
Всього	153,13	Всього	149,72

## **2.6 Аналіз технологічного процесу і організація виконання робіт на зварювально-наплавлювальній дільниці**

Зварювально-наплавлювальна дільниця призначена для відновлення пошкоджених і зношених деталей шляхом зварювання, наплавлення, наварювання.

Зварювально-наплавлювальні дільниці організовують на всіх ремонтнообслуговуючих підприємствах незалежно від їх типу і призначення. Для виконання робіт на таких дільницях необхідно мати обладнання для електродугового і газополуменевого зварювання, а також для декількох видів механізованих наплавлень.

Деталі в зварювально-наплавлювальну дільницю поступають з дільниці дефектування, зі складу деталей, що очікують ремонту, або із слюсарно-механічної дільниці, де при необхідності їх підготовляють до зварювання, наплавлення або наварювання.

В залежності від виду і особливостей ведення зварювального процесу деталі на дільниці сортують на чотири групи:

- деталі, що відновлюються газовим зварюванням;
- деталі, що відновлюються ручним електродуговим зварюванням;
- деталі, що потребують при відновленні попереднього загального нагріву і наступного повільного охолодження;
- деталі, що відновлюються механізованими способами.

Наплавленням в середовищі рідини відновлюють в основному деталі, які працюють при невеликих знакозмінних навантаженнях.

В середовищі захисних газів відновлюють деталі, які працюють при значних повторних змінних навантаженнях, але від яких не вимагається висока зносостійкість. Під флюсом відновлюють деталі, що працюють при великих знакозмінних навантаженнях і від яких вимагається висока зносостійкість.

Після перевірки якості зварювання і наплавлення деталі поступають в слюсарно-механічну або термічну дільницю для їх подальшої обробки.

## 2.7 Розрахунок і вибір технологічного обладнання

Все обладнання ремонтних підприємств за призначенням розділяють на виробниче, допоміжне, підйомно-транспортне і енергетичне.

Кількість обладнання і робочих місць розраховують у відповідності з технологічним процесом, трудомісткістю робіт і фондами часу. Кількість одиниць зварювального та наплавочного обладнання можна визначити по формулі:

$$N_{об} = \frac{T_p \cdot K_B}{\Phi_{д.об} \cdot K_H}, \quad (2.15)$$

Підставив значення у формулу визначаємо число:

– постів ручного електродугового зварювання і наплавлення

$$N_e = \frac{11816 \cdot 0,15}{1883,8 \cdot 0,9} = 1,05,$$

Приймаємо  $N_e = 1$  пост.

– постів ручного газополуменевого зварювання і наплавлення

$$N_z = \frac{11816 \cdot 0,13}{1883,8 \cdot 0,9} = 0,9,$$

Приймаємо  $N_r = 1$  пост

– установок для механізованого зварювання і наплавлення під шаром флюсу

$$N_\phi = \frac{11816 \cdot 0,14}{1883,8 \cdot 0,9} = 0,98,$$

Приймаємо  $N_\phi = 1$  установку.

– установок для механізованого зварювання і наплавлення у середовищі захисних газів і порошковим дротом

$$N_c = \frac{11816 \cdot 0,33}{1883,8 \cdot 0,9} = 2,29,$$

Приймаємо  $N_c = 2$  установки

– установок для вібродугового наплавлення

$$N_s = \frac{11816 \cdot 0,25}{1883,8 \cdot 0,9} = 1,74,$$

Приймаємо  $N_B = 2$  установку.

Розраховане і прийняте обладнання дільниці зводимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Відомість обладнання зварювально-наплавочної дільниці

Номер на кресленні та найменуванні обладнання	Кількість	Марка, тип обладнання	Габаритні розміри, мм	Площа, м <sup>2</sup>		Установлена потужність, кВт
				одиниці обладнання	усього обладнання	
1. Верстат наплавочний	2	У-653М	2720×1220	3,32	6,64	5,10
2. Верстат токарно-гвинторізний, для наплавочних робіт	1	ТН-15	2812×1181	3,32	3,32	0,5
3. Головка наплавлювальна	1	АБС	1740×300	0,22*	0,44*	0,44
4. Установка для контактного наварювання	1	011-1-02М “Ремдеталь”	2730×880	2,40	2,40	2,20
5. Стіл для електрозварювальних робіт	1	ОКС-7523 ГОСНИТИ	1100×750	0,82	0,82	-
6. Стіл для газозварювальних робіт	1	ОКС-7547 ГОСНИТИ	1100×750	0,82	0,82	-
7. Екран захисний	5	Власного вигот.	*	*	*	-
8. Випрямляч селеновий	4	ВДУ-504	1275×816	1,04	3,12	160,00
9. Трансформатор зварювальний	2	ТС-500	760×570	0,43	0,86	64,00
10. Обдирочно-шліфувальна машина з гнучким валом	1	ЗА382	725×530	0,38	0,38	2,20
11. Підставка під кисневі балони	1	Власного вигот.	1000×500	0,50	0,50	-
12. Балон кисневий	2	150П	Ø300	0,07*	0,14*	-
13. Генератор ацетиленовий	1	ГВР-1,25М	Ø480	0,18	0,18	-
14. Стелаж для корпусних деталей	1	Власного вигот.	2800×1200	3,36	3,36	-
15. Стелаж для деталей	2	Власного вигот.	1000×600	0,60	1,20	-
16. Вертушка для дроту	1	Власного вигот.	500×500	0,25	0,25	-
17. Ящик для піску	1	ОРГ-1468-03-320	500×400	0,20	0,20	-
18. Ларь для обтирочних матеріалів	1	ОРГ-1468-07-090А	1000×500	0,50	0,50	-
19. Кран консольно-поворотний	1	П-402	1500×1500	2,25	2,25	4,50
<b>Усього</b>					<b>27,38</b>	<b>238,94</b>

## 2.8 Розрахунок площі зварювально-наплавлювальної ділянки

До виробничої площі відноситься площа, що зайнята технологічним, підйомно-транспортним обладнанням, об'єктами ремонту, що знаходяться на робочих місцях і біля них, а також проходами між обладнанням і робочими місцями .

Найбільш доцільно використовувати розрахунок площі ділянки по площині підлоги, яку займає обладнання, і по перехідним коефіцієнтам.

$$F = \sum F_o \cdot k = 27,38 \cdot 4,5 = 123,21 \text{ м}^2 \quad (2.16)$$

Приймаємо площу ділянки,  $F=126 \text{ м}^2$

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Вибір апаратури для підготовки повітря для пневматичного пристосування

Вологоочисники. Для стійкої роботи пневматизованого оснащення необхідно відповідно підготувати стиснуте повітря, що надходить з мережі. Підготовка в більшості випадків зводиться до очищення його від вологи і механічних домішок; при необхідності в ньому розпилюється масло. Крім того, коли бажано отримати стабільне затискне зусилля, тиск повітря додатково регулюється шляхом пониження його і автоматичної підтримки на заданому рівні.

Вологоочисники по своєму призначенню є апаратами, що фільтрують, і їх установка обов'язкова перед кожним споживачем - станком, оснащеним пневматичним пристосуванням.

У повітряній магістралі вологоочисник ставиться попереду всього обладнання, яке складає дану пневматичну систему.

Підведення стислого повітря до вологоочисника (рисунок 3.1) здійснюється через різьбовий отвір П в корпусі 1. Далі повітря проходить в стакан 2 через щілини відбивача 7, які надають повітрю рух по гвинтовій лінії. Дрібні частинки води, що знаходяться в потоці повітря в підвішеному стані, під дією відцентрових сил відкидаються на стінки стакана 2. Ці частинки збираються на стінках в краплі, які стікають в спокійну зону, відокремлену від решти частини заслінкою 6, і збираються в резервуарі прозорого стакана 3. Висушене повітря проходить через фільтр 3 (металокерамічний), очищається від механічних домішок і поступає до вихідного отвору О.

Для спуску конденсату, що накопичився, відкривається запірний кран 5. Викид води з апарату відбувається під дією стислого повітря. Разом з конденсатом віддаляються механічні домішки, затримані фільтром 3.

Прозорий стакан 4 дозволяє стежити за кількістю конденсату, що скупчився, і проводити його своєчасний спуск.

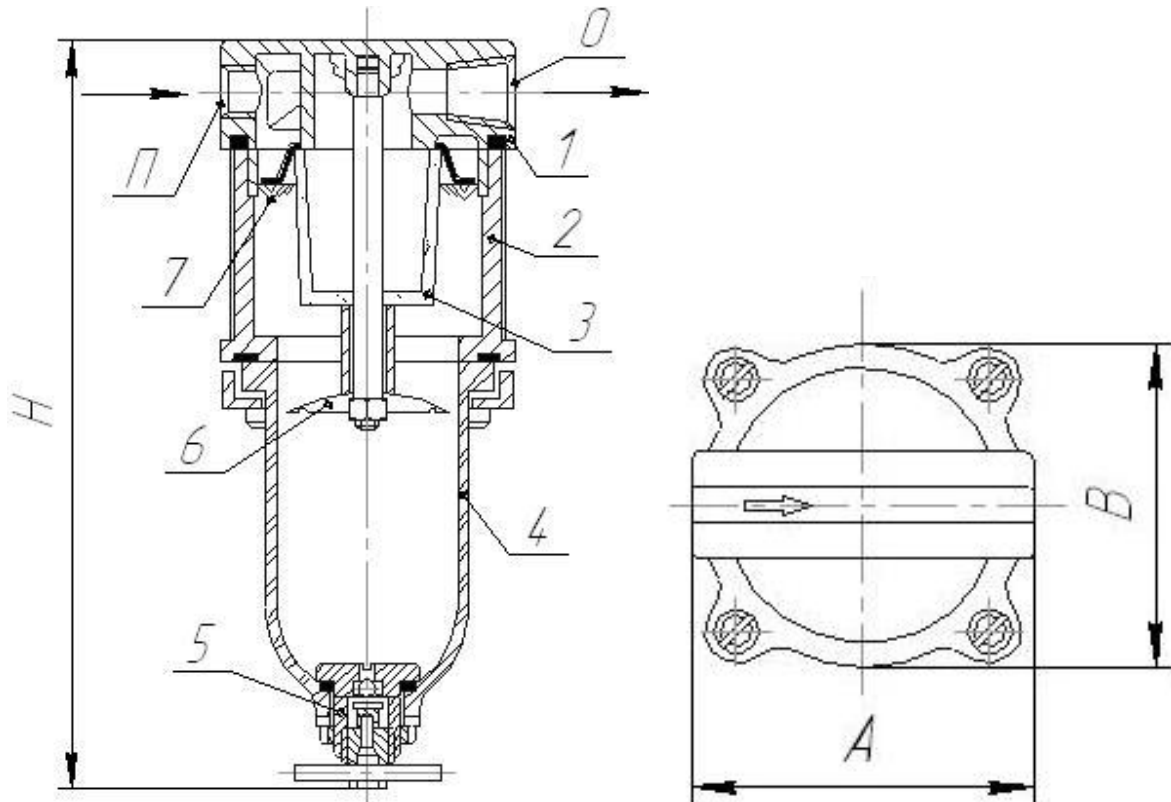


Рисунок 3.1 – Вологоочисник з металокерамічним фільтром

Вологоочисники розраховані на роботу при тиску повітря від 2 до 6 кгс/см<sup>2</sup>. Вони відокремлюють з повітряного потоку приблизно 85% вологи і затримують механічні домішки величиною 0,05 мм і більше.

Маслорозпилювачі. Для внесення до стиснутого повітря тонкорозпиленого мастила, призначеного для змащування поверхонь пневматичних пристроїв, що труться, застосовуються маслорозпилювачі, що виготовляються Московським заводом пневмоапаратів.

Застосовуючи ці пристрої, необхідно враховувати, що використання їх в цехах у великих кількостях приводить до додаткового забруднення атмосфери у виробничих приміщеннях, тому встановлювати їх треба тільки при дійсній необхідності.

Як показала практика, поршневі двигуни ходом до 100 мм справно працюють і за відсутності в повітряній мережі маслорозпилювачів. Це пояснюється тим, що для змащування ущільнень поршня і штоку цілком достатньо плівки з води і масла, яка утворюється на поверхні манжет, оскільки вологоочисник не повністю затримує вологу і частинки мастила, що заносяться повітрям з компресора.

Що стосується застосування маслорозпилювачів для діафрагмових і камерних двигунів, та наявність їх у повітрянопідвідній мережі неприпустимо, оскільки мастило сприятиме розчепленню гуми. Виходячи з цього, апарати для розпилювання мастила слід встановлювати тільки для мастила поршневих двигунів, що мають хід більше 100 мм, або в складних системах з пневматичною апаратурою, що вимагає хорошого мастила. Що стосується окремих пристосувань, що обслуговуються одним пневматичним циліндром з невеликим ходом поршня, то встановлювати маслорозпилювач недоцільно.

Найчастіше застосовуються маслорозпилювачі типу В44-23 і В44-24 (рисунок 3.2). Підведення стислого повітря в них здійснюється через різьбовий отвір П в корпусі 1.

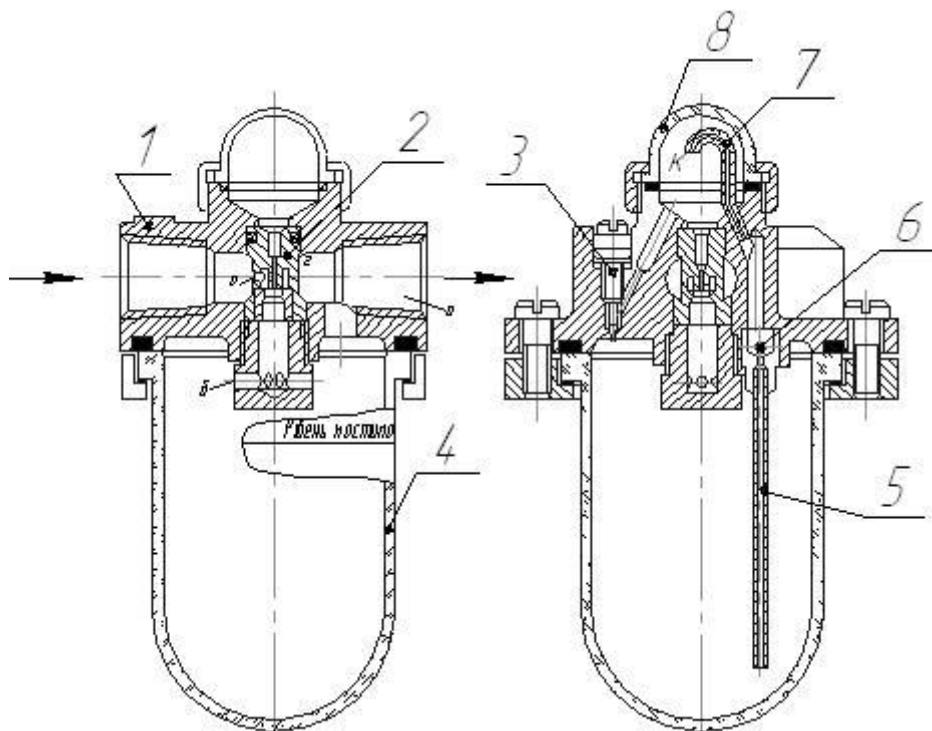


Рисунок 3.2 – Маслорозпилювач з автоматичною подачею мастила

Проходячи через маслорозпилювач, повітряний потік розділяється - одна частина його (основний потік) прямує до вихідного отвору П по головному каналу, обтікаючи розпилювач 2, а інша - через канали а, б і в.

Коли дросель 3 повністю відкритий, тиск в резервуарі для мастила і в порожнині к під ковпаком 8 однаковий. Тому падіння крапель не відбувається. При дросельному регулюванні тиск у порожнині К стає менше, ніж в резервуарі, внаслідок чого мастило підіймається по трубці 5, піднімає кульку 6



від сідла втулки і потрапляє в трубку 7. Оскільки в зоні Г розпилювача відбувається місцеве пониження тиску, то мастило витягується з трубки 7, проходить через отвір малого діаметру розпилювача 2 і розпилюється в потоці стислого повітря. Важчі частинки мастила осідають в резервуарі, а легкі внаслідок місцевого пониження тиску в зоні г разом з потоком повітря несуться до вихідного отвору О через отвір у в корпусі. Потрапляючи в основний потік повітря, мастило піддається вторинному розпилюванню, тому в пневмосистемі потрапляють найдрібніші його частинки. Дозування витрати мастила здійснюється дроселем 3. При повністю закритому дроселі різниця тиску в стакані і в порожнині К буде найбільшою і, отже, витрата

мастила також буде найбільшою. Збільшення витрати стислого повітря, що проходить через маслорозпилювач, створює велику різницю тиску в стакані і в порожнині К. Це викликає збільшення витрати мастила при тому ж положенні дроселя.

Кулька 6 перешкоджає пониженню рівня мастила в трубках 5 і 7 за відсутності витрати повітря через маслорозпилювач. Тому падіння крапель починається відразу після відновлення подачі повітря через маслорозпилювач. Стакан 4 заповнюється мастилом через пробки до рівня, позначеного на прозорому стакані 4 лінією у маслорозпилювачів В44-23 і В44-24, до початку різьблення під пробки -у маслорозпилювача В44-26.

Наявність прозорого ковпачка 8 дозволяє бачити падіння крапель з будь-якого боку апарату. У маслорозпилювача В44-26 збільшений резервуар за рахунок проміжного стакана. Апарат має додатковий пристрій, що забезпечує подачу мастила в трубку 5 з постійного рівня, для чого мастило внаслідок різниці тиску перекачується з резервуару в лоток, що знаходиться у верхній частині проміжного стакана.

Регулятори тиску. Зниження тиску стиснутого повітря, що надходить з повітропроводу, і автоматична підтримка цього тиску на заданому рівні досягається за допомогою регуляторів.

Для звичайних схем слід застосовувати регулятори з гумовою діафрагмою типу В57-13, В57-14 і В57-16. Ці регулятори прості по конструкції, володіють достатньою чутливістю і надійністю в роботі, проте вимагають, щоб

в системі, яку він обслуговує, витрата стислого повітря була безперервною або був передбачений ніпель для підбурювання повітря.

У системі, де повністю відсутні витоки повітря, застосування такого регулятора не доцільне, оскільки в цих умовах тиск на виході його може підвищитися до величини, рівної тиску на вході. Підведення стиснутого повітря до апарату здійснюється через різьбовий отвір П в корпусі 1. У момент пуску повітря пружина 7 через штовхач 2 відтискає клапан 3, внаслідок чого повітря проходить через кільцеву щілину між гумовою шайбою 5 клапана 3 і стінками центрального отвору корпусу і виходить в повітропровід системи.

Одночасно повітря через отвір К поступає в порожнину М під діафрагмою 6 і створює протидію пружині.

Пружину 7 настроюють на потрібний тиск так, щоб зусилля її було урівноважене силою тиску стиснутого повітря, що поступає під діафрагму. Якщо тиск в системі, до якої підключений своїм вихідним отвором регулятор, впаде нижче заданої величини, то вказана рівновага порушиться. Мембрана 6 прогнеться і через штовхач 2 підніме клапан 3, збільшивши прохід повітря з отвору П у вихідний отвір О. Клапан буде до тих пір відкритий, поки тиск в порожнині вихідного отвору О і в порожнині М не підвищиться до заданої величини і, долаючи опір пружини, не відтисне вгору діафрагму. Тим самим тиск на виході регулятора підтримується відносно постійним і відповідає натягненню пружини 7. Налаштування необхідного тиску на виході регулятора проводиться за допомогою гвинта 8 і контролюється показниками манометра 9, встановленого на корпусі апарату.

Клапан 3 перекриває прохід повітря з отвору П в отвір О за допомогою пружини 3. Для кращого ущільнення клапан 3 забезпечений вкладишем 5 з маслостійкої гуми.

У спеціальних випадках, коли необхідно виключити небезпеку підвищення тиску на виході регулятора до величини тиску в повітряній мережі, слід віддати перевагу складнішим апаратам марки БВ57-13 і БВ57-13. У цих регуляторах є клапан для викидання повітря в атмосферу, яке відкривається при перевищенні тиску на виході регулятора на 0,2 ат. проти заданого налаштуванням. У регуляторах тиску з умовним проходом 25 мм (тип БВ57-28)

зусилля пружини замінене тиском стислого повітря, величина якого встановлюється за допомогою допоміжного регулятора БВ57-32. Така конструкція дозволяє управляти апаратом з дистанції, оскільки допоміжний регулятор можна встановити на відстані до 10 м.

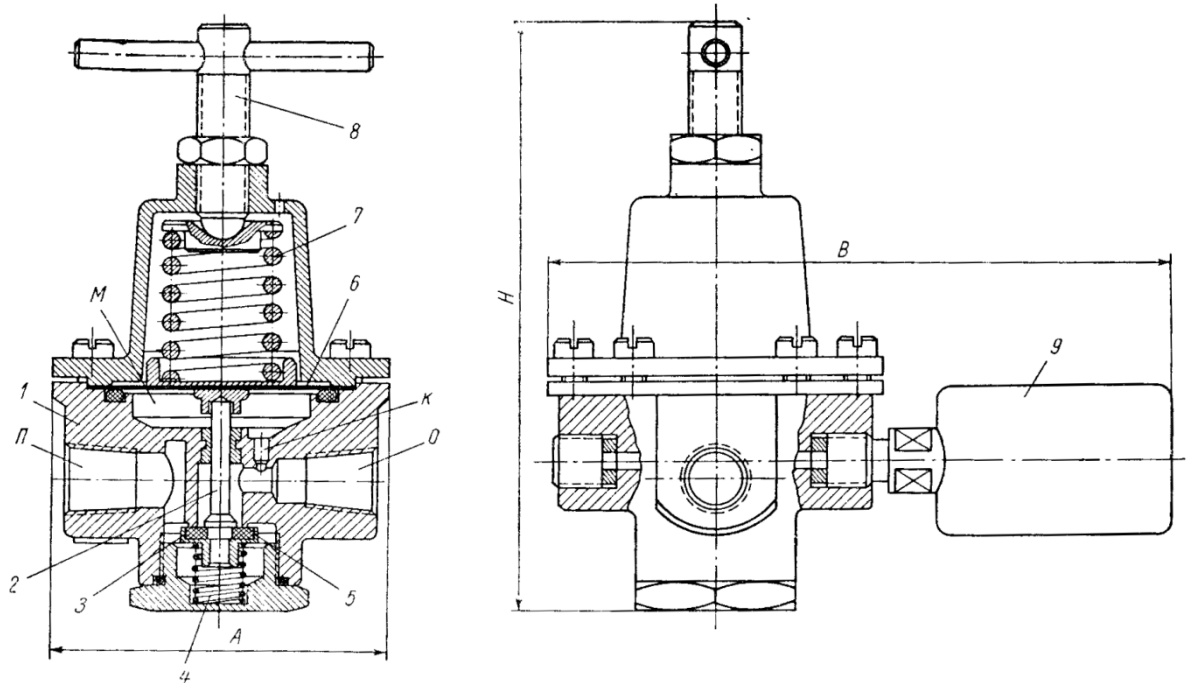


Рисунок 3.3 – Регулятор тиску

### 3.2 Основні розрахунки модернізованої установки для наплавлення під шаром флюсу

Оскільки гвинт механізму працює на стиск і кручення, виконуємо розрахунок по середньому діаметру для упорної різьби:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot \psi_2 \cdot \xi \cdot [p]}} = \sqrt{\frac{59245}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 0,7 \cdot 12}} = 0,0387 \text{ м}, \quad (3.1)$$

$$Q = 59245 \text{ Н}; \psi_2 = 1,5; \xi = 0,7; [p] = 12 \text{ Н / мм}^2 = 120 \text{ Н / м}^2.$$

Приймаємо упорну різьбу з наступними розмірами елементів: зовнішній діаметр  $d = 55 \text{ мм}$ ; внутрішній діаметр  $d_1 = 41,116 \text{ мм}$ ; середній діаметр  $d_2 = 49,0 \text{ мм}$ ; крок різьби  $S = 8 \text{ мм}$ ; глибина різьби  $h_1 = 6,942 \text{ мм}$ ; робоча висота профілю  $h = 6,0 \text{ мм}$ ; радіус  $r = 0,994 \text{ мм}$ .

Для зручності і безпечності при роботі на стенді різьба гвинта повинна задовольняти умовам самогальмування, яке визначається виразом:

$$\alpha < \varphi' ,$$

Визначаємо значення кута підйому середньої гвинтової лінії:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S}{\pi \cdot d_2} = \frac{8}{3,14 \cdot 49,0} = 0,052 \quad (3.2)$$

Для значення тангенса 0,052, знаходимо кут  $\alpha = 2^\circ 58'$ .

Знаходимо приведенний кут профілю:

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \delta} = \operatorname{arctg} \frac{0,1}{\cos 3^\circ} = 5^\circ 45' \quad (3.3)$$

$$f = 0,1; \delta = 3^\circ.$$

Таким чином, кут підйому середньої гвинтової лінії значно менший приведенного кута профілю, умова самогальмування в гвинтовій парі виконується.

Проводимо перевірку гвинта на стійкість, задавшись його довжиною, із конструктивних міркувань.

Гнучкість гвинта визначаємо за формулою:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \quad (3.4)$$

$$\mu = 2 ; l = 100 \text{ мм};$$

Радіус інерції гвинта можна визначити за формулою:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{d_i^2 \cdot 4}{64}} = \sqrt{\frac{41,116^2 \cdot 4}{64}} = 0,0103 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Тоді гнучкість гвинта дорівнює:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 100}{0,0103} = 0,0194 \quad (3.6)$$

По знайдений гнучкості гвинта приймаємо коефіцієнт пониження допустимого напруження на стиск,  $\phi_0 = 0,95$ .

Перевіряємо гвинт на стійкість:

$$Q_{\text{дон}} = \phi_0 \cdot [\sigma]_{\text{cm}} \cdot F \geq Q \quad (3.7)$$

$$\phi = 0,95; [\sigma]_{\text{cm}} = 750 \text{ Н / м}^2;$$

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 41,116^2}{4} = 1,3271 \text{ м}^2; \quad (3.8)$$

$$Q = 59245 \text{ Н.}$$

Підставивши значення, отримаємо допустиме навантаження на гвинт:

$$Q_{дон} = 0,95 \cdot 75 \cdot 1327,1 = 94559 \text{ Н.}$$

Як видно із проведених розрахунків допустиме навантаження на гвинт значно переважає осьову силу, що необхідна для затиснення цанги:

$$Q < Q_{дон} = 59245 \text{ Н} < 94559 \text{ Н.}$$

Визначаємо кількість витків в гайці гвинтового механізму виходячи з умови обмеження тиску в різьбі в припущенні рівномірного розподілу навантаження по її виткам:

$$z = \frac{Q}{\pi \cdot d_2 \cdot h \cdot q} = \frac{59245}{3,14 \cdot 49 \cdot 6 \cdot 12} = 5,3, \quad (3.9)$$

$$q = 12 \text{ Н} / \text{мм}^2.$$

Приймаємо  $z = 6$  витків.

Із умови міцності на згин, виток розглядаємо як консольну балку (рисунок 3.3).

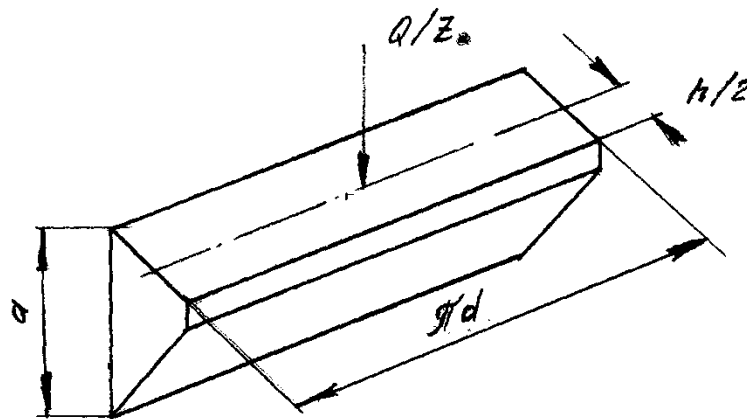


Рисунок 3.3 – Схема для розрахунку кількості витків з умов міцності

$$z = \frac{3 \cdot Q \cdot h}{\pi \cdot d \cdot a^2 \cdot [\sigma]_{32}} = \frac{3 \cdot 59245 \cdot 6}{3,14 \cdot 55 \cdot 6,012^2 \cdot 45} = 3,8, \quad (3.10)$$

$$[\sigma]_{32} = 450 \text{ Н} / \text{м}^2.$$

$$a = S - 2 \cdot r = 8 - 2 \cdot 0,994 = 6,012, \quad (3.11)$$

Приймаємо  $z = 4$  витка.

З умови міцності на зріз:

$$z = \frac{Q}{\pi \cdot d \cdot a \cdot [\tau]_{зр}} = \frac{59245}{3,14 \cdot 55 \cdot 6,012 \cdot 32} = 1,8, \quad (3.12)$$

$$[\tau]_{зр} = 320 \text{ Н / м}^2.$$

Приймаємо  $z = 2$  витка.

З трьох знайдених значень кількості витків різьби гайки приймаємо більше,  $z = 6$  витків.

Визначаємо висоту гайки виходячи з кількості витків і кроку різьби.

$$H = S \cdot z = 8 \cdot 6 = 48 \text{ мм.} \quad (3.13)$$

Припускаючи, що все навантаження розтягує гайку, знайдемо товщину її тіла із умови міцності на розтяг і кручення моментом гвинтової пари в небезпечному перерізі А-А (рисунок 3.4).

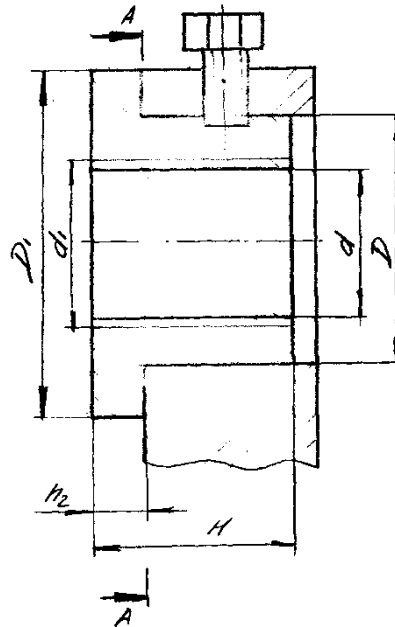


Рисунок 3.4 – Схема для визначення товщини тіла гайки.

$$D = \sqrt{\frac{5 \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]_p} + d^2} = \sqrt{\frac{5 \cdot 59245}{3,14 \cdot 45} + 55^2} = 0,0717, \quad (3.14)$$

$$[\sigma]_p = 450 \text{ Н / м}^2.$$

Приймаємо зовнішній діаметр тіла гайки,  $D = 0,075 \text{ м}$ .

Діаметр буртика гайки визначаємо із умови міцності на зминання (рис. 3.3):

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]_{з.м}} + D^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 59245}{3,14 \cdot 70} + 75^2} = 0,081 \text{ м.} \quad (3.15)$$

$$[\sigma]_{3m} = 700 \text{ Н / м}^2.$$

Приймаємо діаметр буртика гайки,  $D_1 = 0,085 \text{ м}$ .

Висоту буртика гайки конструктивно приймаємо 0,01 м і перевіряємо на згин як консольну балку:

$$\sigma_{3z} = \frac{3 \cdot Q \cdot (D_1 - D)}{2 \cdot \pi \cdot D \cdot h_2^2} \leq [\sigma]_{3z}, \quad (3.16)$$

$$[\sigma]_{3z} = 45 \text{ Н / мм}^2;$$

$$h_2 = 0,01 \text{ м}.$$

$$\sigma_{3z} = \frac{3 \cdot 59245 \cdot (85 - 75)}{2 \cdot 3,14 \cdot 75 \cdot 10^2} = 377 \text{ Н/м}^2. \quad (3.17)$$

Умова міцності виконується.

Для кріплення гайки в стійці приймаємо стопорний гвинт М6х25.48 ГОСТ 1478 і перевіримо, чи буде він працювати на зріз від повертання гайки моментом гвинтової пари, приймаючи, що гайка встановлена в отвір стійки вільно (рис. 3.5).

Визначаємо момент гвинтової пари, що намагається повернути гайку в опорній стійці станда:

$$\begin{aligned} M_1 &= Q \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\alpha + \phi') = 59245 \cdot \frac{49}{2} \cdot \text{tg}(2^\circ 58' + 5^\circ 45') = \\ &= 222544,4 \text{ Н} \times \text{мм} \gg 223 \text{ Н} \times \text{м} \end{aligned} \quad (3.18)$$

$$\alpha = 2^\circ 58'; \phi' = 5^\circ 45'.$$

Знаходимо момент на опорній поверхні заплечника гайки, що запобігає її повертання в стійці станда:

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{1}{3} \cdot f \cdot Q \cdot \frac{D_1^3 - D^3}{D_1^2 - D^2} = \frac{1}{3} \cdot 0,1 \cdot 59245 \cdot \frac{85^3 - 75^3}{85^2 - 75^2} = \\ &= 237288,6 \text{ Н} \times \text{мм} \gg 237 \text{ Н} \times \text{м}, \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$f = 0,1; D_1 = 0,085 \text{ мм}; D = 0,075 \text{ мм}.$$

Як видно з приведених розрахунків момент на опорній поверхні гайки, що запобігає її повертання, переважає момент, що намагається повернути гайку в стійці. Гайка повертатися не буде і перевіряти гвинт на зріз немає необхідності.

Для розрахунку елементів упорного вузла гвинта виконаємо розрахункову схему, представлену на рисунку 3.5.

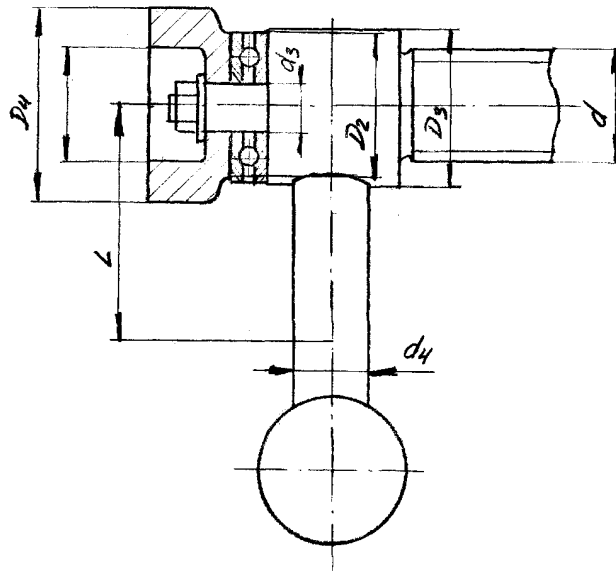


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема для розрахунку елементів упорного вузла гвинта

Конструктивно приймаємо діаметр направляючого стержня:

$$d_3 = 0,6 \cdot d = 0,6 \cdot 55 = 0,033 \text{ м}, \quad (3.20)$$

$$d = 0,055 \text{ м}.$$

Визначаємо зовнішній діаметр опорної поверхні кільця, що прилягає до гвинта:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot q} + d_3^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 59245}{3,14 \cdot 12} + 33^2} = 0,0859 \text{ м}, \quad (3.21)$$

$$q = 120 \text{ Н / м}^2.$$

Приймаємо  $D_2 = 0,086 \text{ мм}$ .

Обчислюємо діаметр головки гвинта:

$$D_3 = D_2 + 5 = 86 + 5 = 91 \text{ мм} = 0,091 \text{ м} \quad (3.22)$$

Розраховуємо висоту кільця:

$$h_4 = 1,5 \cdot d = 1,5 \cdot 55 = 82,5 \text{ мм} = 0,0825 \text{ м} \quad (3.23)$$

Приймаємо  $h_4 = 80 \text{ мм} = 0,08 \text{ м}$ .

Довжину рукоятки визначаємо з умови рівноваги моментів, прикладених до гвинта:



$$M_p = M_1 + M_3, \quad (3.24)$$

$$M_1 = 223H \times m;$$

Для зменшення моменту тертя між упорним кільцем і головкою гвинта встановлюємо упорний підшипник кочення, тоді:

$$M_3 = f \cdot Q \cdot \frac{d_3}{2} = 0,01 \cdot 59245 \cdot \frac{33}{2} = 9775 \text{ Н} \times \text{мм} \gg 9,8 \text{ Н} \times \text{м}, \quad (3.25)$$

$$d_3 = 33 \text{ мм} = 0,033 \text{ м}.$$

Момент, що створюється робітником, можна визначити за формулою:

$$M_p = P \cdot L, \quad (3.26)$$

$$P = 300 \text{ Н};$$

Перетворивши вирази, отримуємо формулу для визначення довжини рукоятки:

$$L = \frac{M_1 + M_3}{P} = \frac{223 + 9,8}{300} = 0,776 \text{ м}. \quad (3.27)$$

Приймаємо  $L = 0,8 \text{ м}$ .

До цієї довжини слід додати  $\Delta L = 200 \text{ мм}$ , щоб зручно було взятись за рукоятку:

$$L_k = L + \Delta L = 0,8 + 0,2 = 1,0 \text{ м}. \quad (3.28)$$

Діаметр рукоятки визначаємо з рівняння згину, як для консольної балки:

$$d_4 = \sqrt[3]{\frac{P \cdot L_1}{0,1 \cdot [\sigma]_{32}}} = \sqrt[3]{\frac{300 \cdot 754,5}{0,1 \cdot 90}} = 29,3 \text{ мм} = 0,0293 \text{ м}. \quad (3.29)$$

$$\text{де } L_1 = L - \frac{D_3}{2} = 800 - \frac{91}{2} = 754,5 \text{ мм} = 0,755 \text{ м}; \quad (3.30)$$

$$[\sigma]_{32} = 900 \text{ Н} / \text{м}^2.$$

Приймаємо діаметр рукоятки,  $d_4 = 30 \text{ мм} = 0,03 \text{ м}$

Розрахунок кулачкової муфти. Для з'єднання веденої шестерні редуктора з шпинделем застосована пружино - кулачкова запобіжна муфта. Кулачкові запобіжні муфти подібні до керованих кулачкових муфт, але вони не мають механізму примусового керування. Тут пів муфти замикаються зусиллям стиснутих пружин. При перевантаженнях зачеплення кулачків порушується через осьове зміщення рухомої пів муфти. Така муфта відрізняється простотою

конструкції і невисокою вартістю. Кожна півмуфта виконана з легованої сталі, поверхні кулачків цементовані і загартовані до 58...62 HRC. Кількість кулачків,  $z = 8$ . Конструкція і основні розміри кулачкової півмуфти представлені на рисунку 3.6.

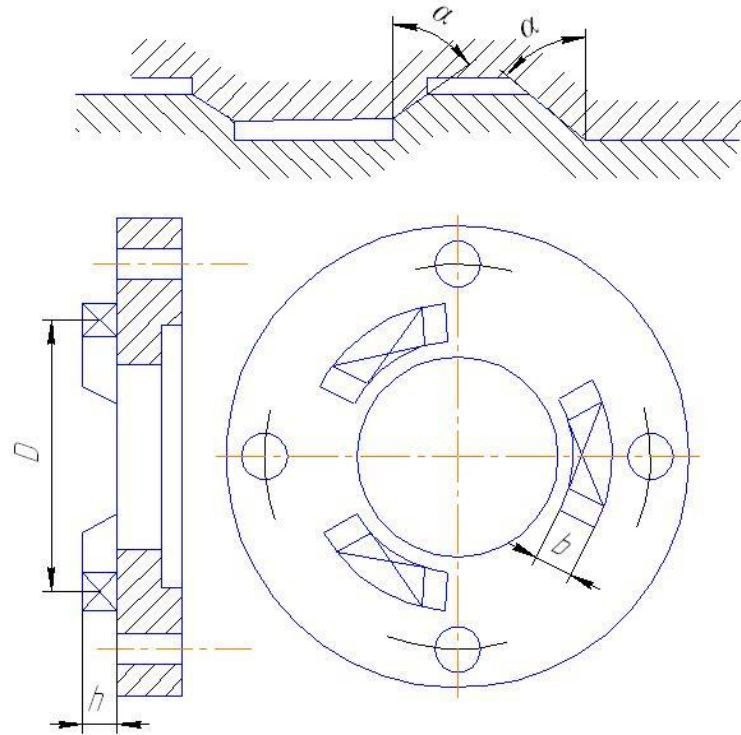


Рисунок 3.6 – Конструкція і основні розміри півмуфти

Кулачки запобіжної пружино – кулачкової муфти розраховуємо на зминання та згин. Проводимо перевірочний розрахунок елементів муфти.

Перевірка міцності кулачків на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{3M_{вих}}{z_p \cdot D_{cp} \cdot h \cdot b} \leq [\sigma]_{зм}, \quad (3.31)$$

Вважається, що є нерівномірність розподілення навантаження між кулачками муфти, тому розрахункове число кулачків визначається за наступною формулою

$$z_p = \frac{2}{3} z = \frac{2}{3} 30 = 20 \text{ шт.}$$

Для термооброблених кулачків можна прийняти допустиме напруження на зминання,  $[\sigma]_{зм} = 900 \text{ Н/м}^2$ .

Підставивши значення у вираз (3.1) виконуємо перевірку міцності кулачків на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{3 \cdot 72 \cdot 10^3}{20 \cdot 55 \cdot 1,2 \cdot 3} = 550 \text{ Н / м}^2$$

Таким чином,  $\sigma_{зм} < [\sigma]_{зм} = 550 \text{ Н / м}^2 < 900 \text{ Н / м}^2$  тому міцність кулачків на зминання буде забезпечена.

Перевірка міцності кулачків на згин

$$\sigma_{зг} = \frac{2M_{вих} \cdot \frac{h}{2}}{D_{ср} \cdot z_p \cdot \frac{b \cdot \ell^2}{6}} = \frac{6M_{вих} \cdot h}{D_{ср} \cdot z_p \cdot b \cdot \ell^2} \leq [\sigma]_{зг}, \quad (3.32)$$

$$\ell = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot z} + h \cdot \text{tg} \alpha = \frac{3,14 \cdot 55}{2 \cdot 30} + 12 \cdot \text{tg} 20^\circ = 0,00725 \text{ м}. \quad (3.33)$$

Для термооброблених кулачків можна прийняти допустиме напруження на згин,  $[\sigma]_{зм} = 800 \text{ Н/м}^2$ .

Підставивши значення у вираз (3.2) виконуємо перевірку міцності кулачків на згин

$$\sigma_{зг} = \frac{6 \cdot 72 \cdot 10^3 \cdot 12}{55 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 7,25^2} = 29,9 \text{ Н / м}^2$$

Таким чином,  $\sigma_{зг} < [\sigma]_{зг} = 29,9 \text{ Н/м}^2 < 800 \text{ Н/м}^2$  тому міцність кулачків на згин буде забезпечена.

Виконуємо розрахунок сили стиснення пружини, для передачі потрібного обертowego моменту, без урахування сил тертя

$$P_{кр} = \frac{2 \cdot M_{вих}}{D_{ср}} \text{tg} \alpha = \frac{2 \cdot 72}{55 \cdot 10^{-3}} \text{tg} 20^\circ = 952,9 \text{ Н}. \quad (3.34)$$

### 3.3 Обґрунтування та вибір технологічної послідовності виконання робіт на пристосуванні, особливості його збирання

Якість робіт по відновленню зношених поверхонь деталей буде залежати від працездатності і надійності модернізованої установки, що дозволяє проводити зварювання під шаром флюсу.

Послідовність виконання робіт на установці:

підготовка установки до роботи. Для цього необхідно перевірити надійність підведення електроенергії, бункер з флюсом та стан електродного дроту;

установка деталі, що підлягає наплавленню, та її закріплення;

здійснення технологічного процесу по наплавленню під шаром флюсу металу на відновлювану поверхню;

зняття деталі з установки і переміщення її на стелаж або у відповідну тару;

очищення установки від частинок металу та залишків флюсу.

До особливостей збирання модернізованої установки слід віднести досягнення визначеної точності монтажу зварювальної головки, безперебійна подача електродного дроту. Всі різьбові з'єднання повинні бути надійно закріпленні.

При випробуванні установки виконується перевірка працездатності всіх складових частин, їх взаємодія і надійність. Модернізована установка повинна бути підготовлена до експлуатації в ремонтному цеху або дільниці. Попередньо всі поверхні деталей проходять підготовку, тобто вони повинні бути захищені і в той же час не повинні мати помітних слідів зачищення.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Гарячі тріщини. Методи оцінювання стійкості проти утворення гарячих тріщин

На рисунку 4.1 показані гарячі тріщини зварних з'єднань.

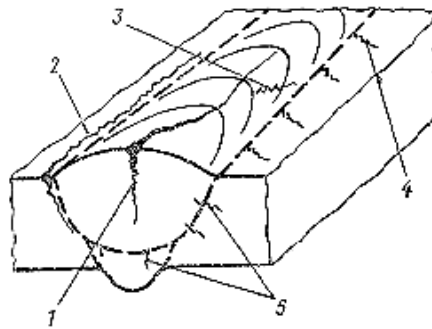


Рисунок 4.1 – Типи гарячих тріщин в зварювальних з'єднаннях:

1-2 – повздовжні в шві та біля зони зварювального шову; 3-4 – поперечні в шві та біля зони зварювального шову; 5 – поперечні тріщини по товщині зварюваного металу.

Випадки виникнення гарячих тріщин в процесі виготовлення зварювальних конструкцій привели до появи безлічі методів оцінки опору зварювальних матеріалів, які застосовуються, до їх утворення. Їх можна розділити на наступні групи:

методи, що дозволяють отримувати порівняльну достовірну оцінку застосованих зварювальних матеріалів. Як правило, ці методи передбачають примусове деформування зварювальних чи наплавлених з'єднань за заданою програмою в процесі їх формування.

технологічні проби різної жорсткості. В цьому випадку величину деформації шову задається типом досліджуваної зварюваної конструкції, її розмірами, послідовністю виконання швів і т. п.

непрямі методи оцінки технологічною міцністю результатам механічних випробувань зразків, які проводяться при нагріві або охолодженні їх за заданою програмою, імітуючи зварювальний термічний цикл.

Для підвищення опору зварювальних з'єднань утворенню гарячих тріщин необхідно в процесі виробництва прагнути до поєднання їх властивостей,

технологічних прийомів і способів зварювання та наплавлення, а конструктивного оформлення вузлів.

Для цього необхідно прагнути до зменшення інтервалу крихкості, збільшення пластичності металу шва і зниженню темпу деформації.

Всі відомі способи підвищення технологічної міцності кінцевому висновку зводяться до наступних основних:

- 1) зміна хімічного складу;
- 2) вибір оптимального режиму зварювання;
- 3) застосування раціонального типу конструкції і порядку накладання зварювальних швів.

Методи визначення технологічної міцності наведені в таблиці 4.1. Група 1 об'єднує непрямі методи. Їх можна вважати приблизними, так як технологічна міцність залежить не тільки від хімічного складу сплаву, але й від способу виплавлення, вихідного розміру зерна, ступеня наклепу, а особливо від режиму зварювання. Група 2-5 об'єднує прямі методи, які передбачають проведення випробувань за допомогою проб, тобто зварювання та дослідження спеціальних зразків в заданій послідовності та при певних умовах.

Хімічний склад металу шва і основного металу – один з головних чинників, що визначають інтенсивність розвитку деформації усадки. Зварювання плавленням представляє великі можливості регулювання складу металу шва, а в деякій мірі і складу зони плавлення.

При зварюванні із застосуванням присадного матеріалу – ручною, зварюванням під флюсом, в аргоні і ін. – хімічний склад металу шову і особливості його кристалізації визначаються часткою участі основного і присадного металу і схемою кристалізації, яка залежить як від умов твердіння і хімічного складу, так і від структури основного металу.

Великий вплив має характер структури, що утворюється при кристалізації. Сприятливою, наприклад, вважається дендритна рівноосна структура. Для її отримання вдаються до модифікування зварювальних швів рідкоземельними, тугоплавкими або поверхнево-активними елементами.

Нерідко застосовують також різні способи зовнішньої дії на метал шову – ультрамагнітне і ультразвукове перемішування, механічні коливання ванни в

процесі кристалізації і ін. Для створення умов, які сприяють переходу від плоскої схеми кристалізації до об'ємної, іноді вдаються до впровадження в зварювальну ванну додаткового холодного металу у вигляді дроту або металеві крупи того ж складу, що й зварювальний метал.

Таблиця 4.1 – Методи оцінювання стійкості проти утворення гарячих тріщин

Номер методу	Назва методу	Критерій	Призначення
1	Розрахунок ступеня схильності сплаву до утворення гарячих тріщин по хімічному сплаву	Еквівалент вуглецю $C_{\text{ЕКВ}}$ , %. Кількість $\delta$ -Fe% для аустенітних сталей. Кількість рівноважної евтектики, %.	Приблизна кількісна оцінка сплавів
2	Зварювання зразків лабораторних технологічних проб	а) наявність гарячих тріщин при зварюванні проб б) частота утворення гарячих тріщин в) відносна довжина гарячих тріщин г) критична швидкість зварювання д) критичний розмір зразка проби	Якісна (а), напівякісна (б-г) та кількісна (д) оцінка сплавів
3	Деформування шову в процесі його кристалізації при зварюванні	Критична швидкість розтягування Критичний темп розтягнення Критична деформація Критична напруга	Кількісна оцінка сплавів Кількісна оцінка сплавів і технологічних варіантів зварювання Не рекомендується

4	Зварювання зразків галузевих проб	Допустимі умови зварювання, при яких не утворюються гарячі тріщини	Вибір технології зварювання
5	Визначення запасу опору металу гарячим тріщинам при зварюванні конструкцій	Різниця між дійсним і допустимим показниками опору гарячим тріщинам для даної конструкції	Оцінка стійкості конструкції проти гарячих тріщин при зварюванні в заданих умовах

Введення присадки, що охолоджує, створює у ванні зону термічного переохолодження і сприяє отриманню об'ємної схеми кристалізації.

Зазвичай високоміцні, високолеговані сталі і самі більше схильні до утворення гарячих тріщин, ніж звичайні конструкційні. Це можна пояснити більшою направленістю кристалічної структури в шві, збільшеною усадкою, багатокомпонентним легуванням, яке сприяє утворенню евтектичних складових по межах зерен. Для підвищення технологічної міцності таких сплавів окрім дуже жорсткого обмеження вмісту шкідливих домішок (сірки і фосфору) часто вдаються до додаткового легування молібденом, марганцем, вольфрамом, а також введенням в шов деякої кількості модифікаторів, сприяючих подрібненню структури.

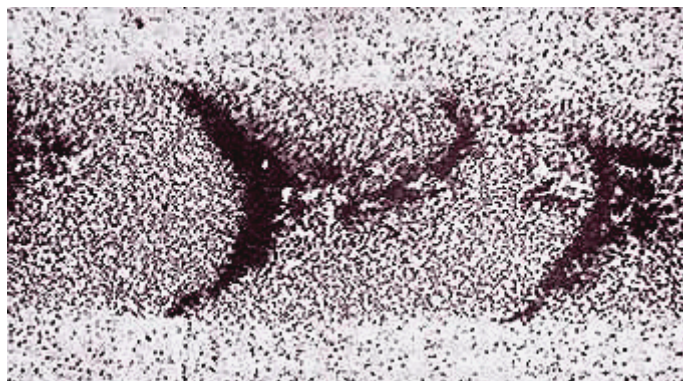


Рисунок 4.2 – Гарячі тріщини серповидної форми.

На рисунку 4.2 показано що полоса з зоною карбідної ліквациї і сусідня зона з нормальним вмістом вуглецю мають різну оброблюваність у гарячому стані, в результаті чого утворюються тріщини серповидної форми.



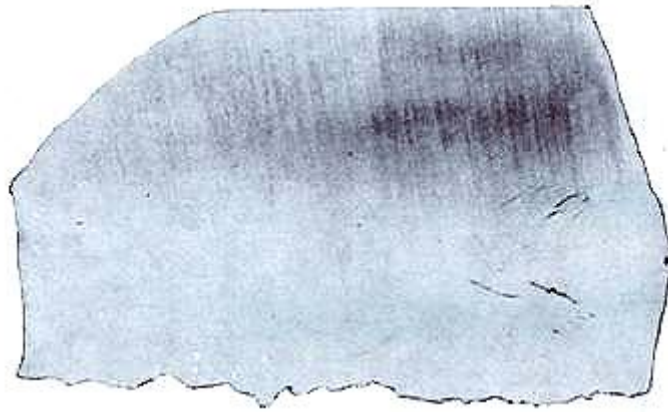


Рисунок 4.3 – Гарячі кутові тріщини.

На рисунку 4.3 показано зразок на якому магнітна дефектоскопія виявляє кутові тріщини, які не доходять до поверхні.

#### **4.2 Удосконалення способу відновлення деталей автоматичним наплавленням під шаром флюсу**

На рисунку 4.4 зображена схема вдосконаленого способу зварювання під флюсом, 1 – наплавлювана деталь; 2 – оболонка з рідкого флюсу; 3 – еластична оболонка; 4 – бункер з флюсом; 5 – мундштук; 6 – електрод; 7 – електрична дуга; 8 – шлакова кірка; 9 – наплавлений метал; а – величина зміщення дуги від зеніту.

Під час наплавлення виріб має глибину проплавлення  $H$ , що визначається з співвідношення:

$$H = de \cdot k_1 \cdot \sin \alpha, \quad (4.1)$$

$$k_1 = 10 \dots 15;$$

Перенесення металу в зварювальній дузі під шаром флюсу в порівнянні з ручним дуговим зварюванням (рисунок 4.5) зазвичай дрібнокрапельний без коротких замикань і піків струму  $i_d$  та напруги  $u_d$  (рисунок 4.5, б). Розмір крапель тим дрібніше, чим більший струм. Суттєву роль відіграє перенесення електродного металу паром. Краплі зазвичай пористі (щільність  $2 \dots 5 \text{ г/см}^3$  замість  $7,8 \text{ г/см}^3$  для сталі).

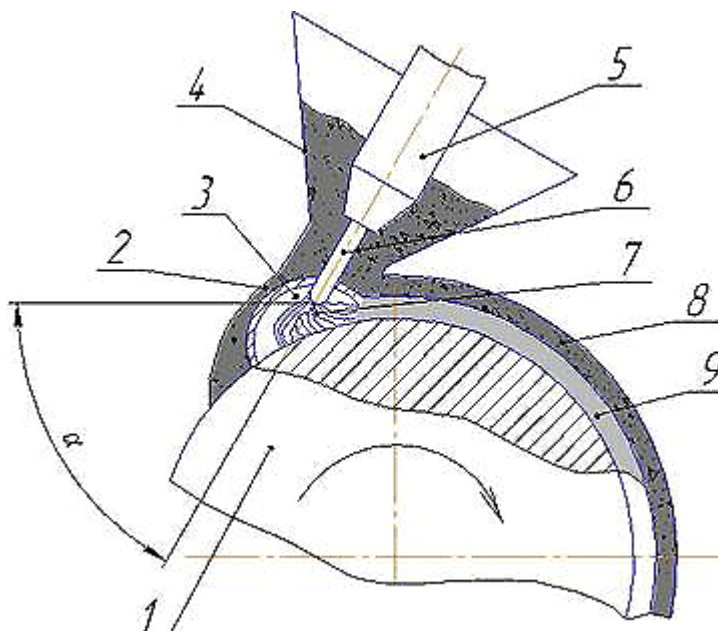
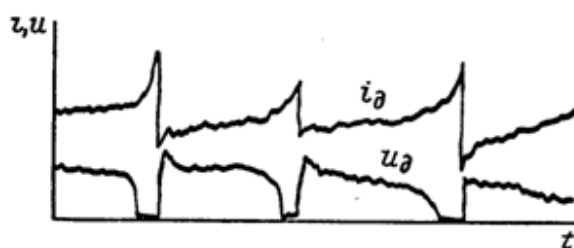
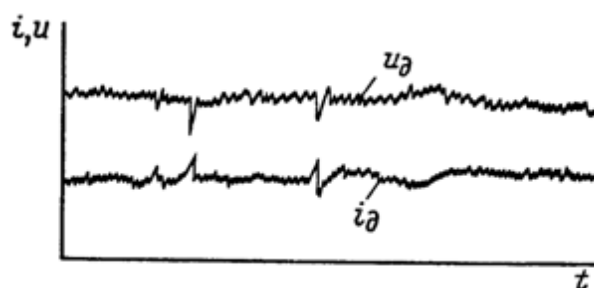


Рисунок 4.4 – Схема зварювання під шаром флюсу

В таблиці 4.2 показаний вплив елементів режиму зварювання на розміри, форму і склад шову при зварюванні на змінному та постійному струмі оберненої полярності.



а



б

Рисунок 4.5 – Осцилограми струму і напруги в зварювальній дузі (схематично)

а – ручне зварювання з короткими замиканнями; б – зварювання під шаром флюсу без коротких замикань.

Кількість дрібних крапель досягає 60...70% від їх загальної кількості. Температура зварювальної дуги 5000...7000 К. При зварюванні на змінному струмі вона коливається в залежності від зміни кута синусоїди  $\Psi$  (рис. 4.6).

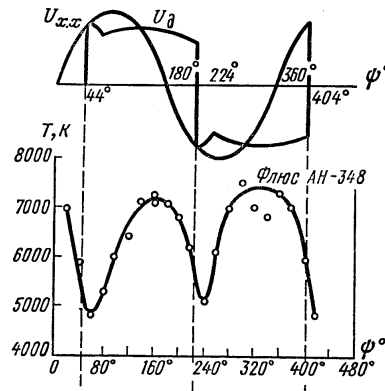


Рисунок 4.6 – Температура зварювальної дуги під шаром флюсу.

Процес зварювання під шаром флюсу відрізняється високим к.к.д. (рисунок 4.7), легко автоматизується і тому широко застосовується в промисловості.

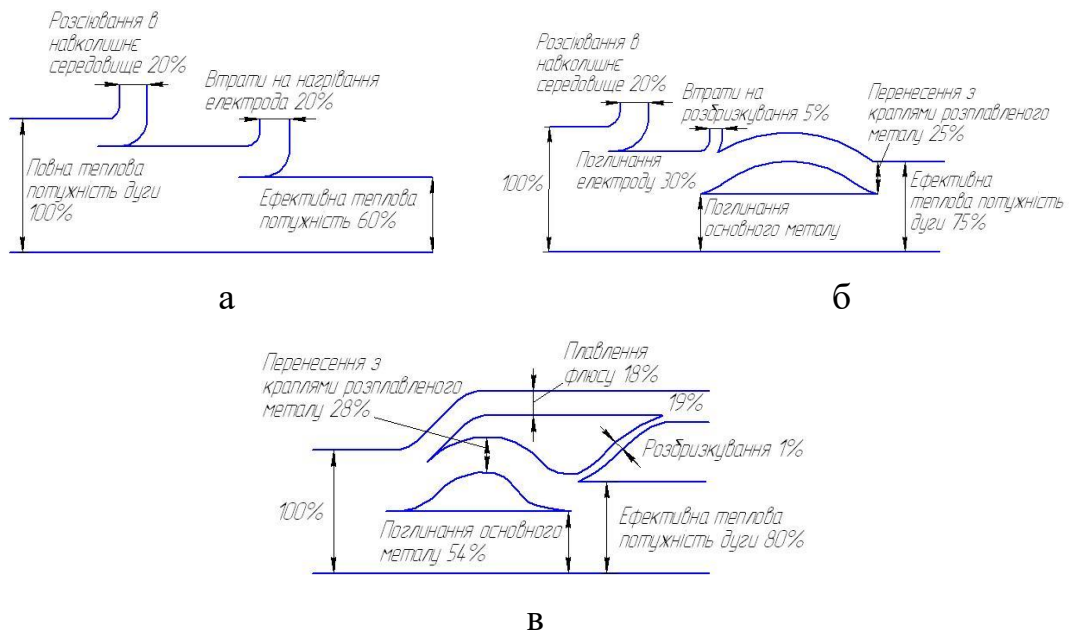


Рисунок 4.7 – Діаграма балансу енергії

а – вугільна дуга:  $I=1000$  А,  $U=40$  В (по даним І. Д. Кулагіна); б – відкрита Ме-дуга:  $I=200$  А,  $U=26$  В (по даним Н. Н. Рикаліна); в – Ме-дуга під шаром флюсу:  $I=1000$  А,  $U=36$  В,  $v=24$  м/год (по даним І. В. Кирдо).

Висока стійкість процесу дозволяє в переважній більшості випадків застосовувати змінний струм, що пов'язано з більшою простотою та економічністю обладнання. Різноманітний тепловідвід з електроду та виробу

обумовлює деяку асиметрію струму в зварювальній дузі під шаром флюсу. Однак вентиляний ефект порівняно малий, та, як правило, спеціальних приладів для його усунення не потребується.

### **4.3 Вибір флюсу для автоматичного зварювання під шаром флюсу легованих сталей**

Якість зварювання легованих сталей загалом можна оцінити по тому, наскільки властивості зварного з'єднання з леговою сталі відповідають властивостям основного металу.

Оскільки елементи з дроту вигоряють, то вибір оптимального складу електродного дроту часто досить важкий. Крім того, часто потрібно додатково легувати наплавлений метал елементами, що не містяться в основному металі, змінювати хімічний склад наплавленого металу в порівнянні з основним металом для підвищення стійкості проти утворення тріщин, додання, шову специфічних властивостей, для отримання певної кількості феритної фази. Це приводить до того, що доводиться застосовувати легований дріт далеко не оптимального складу в збиток якості зварювання.

При автоматичному зварюванні, може бути використаний інший спосіб легування – легування через флюс. Плавкі флюси, які найширше застосовуються в промисловості, не легують. До складу плавких флюсів можуть бути введені тільки оксиди металів і деякі солі, метали або феросплави не вводяться до їх складу. У цьому відношенні великими

перевагами володіють керамічні неплавкі флюси, за допомогою яких можна, практично необмежено легувати наплавлений метал, будь-якими елементами, що застосовуються в металургійному виробництві.

Керамічні флюси є механічною сумішшю дрібно розмелених компонентів, зцементовану рідким склом і виготовлену у вигляді крупки потрібної грануляції (рисунок 4.8). Кожна крупинка керамічного флюсу однорідна по складу і питомій вазі, тому при використуванні керамічних флюсів в них не відбувається сепарації, по окремим складовим частинам.

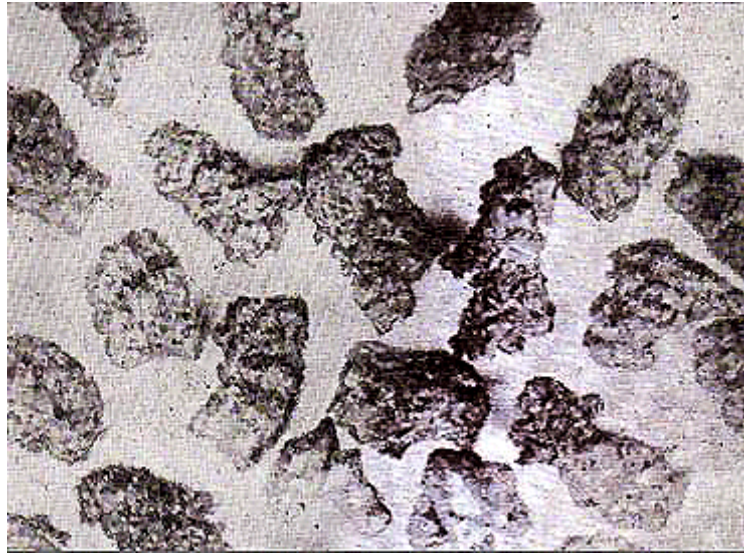


Рисунок 4.8 – Гранульований керамічний флюс ( $\times 15$ )

Оскільки в процесі виготовлення керамічні флюси, не плавляться, в їх склад окрім шлакоутворюючих мінеральних компонентів, таких як мармур, плавиковий шпат і ін., вводяться розкислювачі і легуючі компоненти: феросплави або порошки технічно чистих металів.

В даний час є достатньо експериментальних даних для того, щоб розрахувати кількість легуючих елементів, яку потрібно ввести до складу керамічного флюсу щоб отримати метал шва практично будь-якого заданого складу. При цьому в більшості випадків леговані сталі під керамічним флюсом зварюються із застосуванням звичайного мало вуглецевого електродного дроту.

Водень сприяє утворенню гарячих тріщин в металі шва і тріщин в біляшовній зоні при зварюванні легованих сталей, які піддаються гартуванню. Але при зварюванні під керамічним флюсом вдається значно знизити вміст водню в наплавленому шарі матеріалу. Це вдається досягти введенням до складу флюсів карбонатів і вищих оксидів марганцю або заліза.

Карбонати, наприклад  $\text{CaCO}_3$ , що вводиться у флюс у вигляді мармору, дисоціюють в процесі зварювання, виділяючи в середовище дуги значні кількості вуглекислого газу і кисню. Останній в даному випадку безпечний, оскільки керамічні флюси розкислюють зварювальну ванну. Газоподібні дисоціації карбонату кальцію різко знижують тиск водню в газовій фазі.

Експериментально встановлено, що в металі шову при зварюванні під флюсом на базі мармору майже в три рази менше водню ніж в металі, наплавленому, наприклад, під флюсом АН-348А.

Керамічні флюси на базі мармуру дозволяють понизити вміст сірки в наплавленому металі, підвищуючи тим самим стійкість швів проти утворення гарячих тріщин. Всі ці особливості керамічних флюсів дають високу якість зварювання сталей. Як правило, вдається отримати метал шва, що не поступається по механічних властивостях основному металу, а іноді і перевершує його.

Керамічні флюси дозволяють отримувати високолегований аустенітний наплавлений метал при використанні маловуглецевого зварювального дроту марки Св08.

При зварюванні під флюсом КС-1 (рисунок 4.19) метал шва має двофазну аустенітно-феритну структуру із змістом фериту близько 5%. Шви, зварені під флюсом КС-1, стійкі проти міжкристалічної корозії як після зварювання, так і після двогодинного відпускання при  $923^{\circ}$  К. Високу стійкість проявляють зварні з'єднання з легованої сталі при випробуванні на загальну корозію.

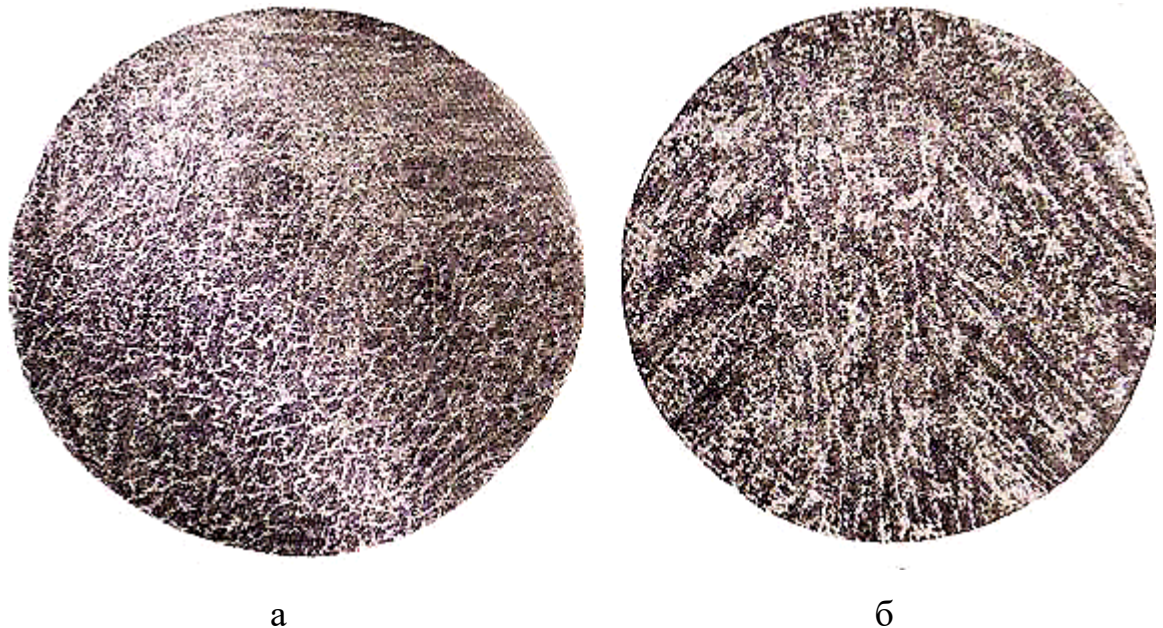


Рисунок 4.9 – Первинна структура металу, наплавлена в однакових умовах під керамічним та плавким флюсами ( $\times 45$ )

а – рівновісна первинна структура металу зварювального шову, керамічний флюс КС-1; б – стовпчаста первинна структура металу зварювального шову з зоною послаблення, флюс ОСЦ-45.

#### 4.4 Випробування на мікротвердість

Для визначення змін механічних властивостей поверхні тертя, проводимо випробування на мікротвердість на приладі ПМТ-3.

Основа 1 (рисунок 4.10) приладу має стійку 2, по якій гайкою 3 при послабленому гвинті 4 можна переміщувати кронштейн 5 з тубусом 6 мікроскопу. Кронштейн 5 має направляючі, по яким можна переміщувати тубус 6. Грубе переміщення тубуса 6 здійснюється обертанням гвинта 7 (макроподача), а мале переміщення – обертанням гвинта 8 (мікроподача). Тубус має нахилену трубку з окуляром 9 та об'єктивом 10. До тубуса приєднано механізм навантаження 11 з алмазним наконечником 12, який являє собою чотирьохгранну алмазну піраміду, яка має при верхівку 13б.

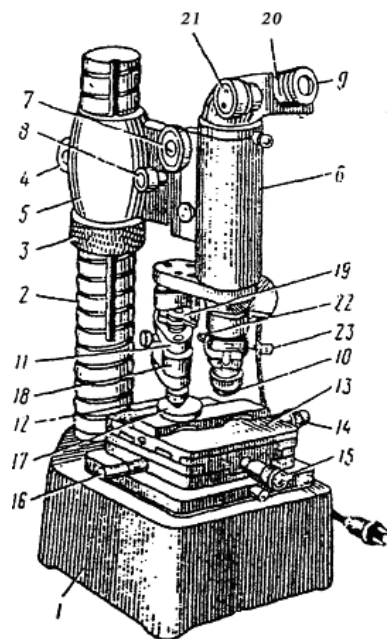


Рисунок 4.10. Прилад ПМТ-3

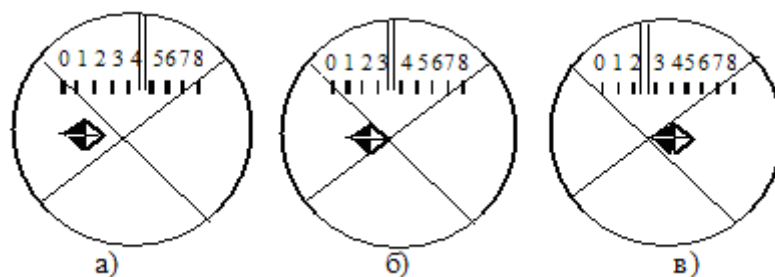


Рисунок 4.11 – Приклад вимірювання довжини діагоналі відбитку окулярним мікрометром АМ9-2 (АМ9-1)

а – підведення міток (зправа наліво) до правого кута відбитку ; б – положення міток біля верхнього правого кута відбитка для першого відрахунка (мітки підведені праворуч); в – положення міток біля верхівки лівого кута відбитка для другого відрахунка (мітки підведені також праворуч).

Число твердості  $H$  визначається по формулі

$$H = 1,8544 P / d^2, \text{ кг / мм}^2, \quad (4.2)$$

#### 4.5 Температурне поле при русі джерела теплоти по циліндричній поверхні

Температурне поле при русі джерела теплоти по циліндричній поверхні описується складними залежностями. Формули стають простіші, якщо виходити з пропозиції, що джерело теплоти швидко рухається. Тоді при наплавленні по твірній циліндра процес розповсюдження теплоти можна представити як вирівнювання температур від миттєвого джерела  $Q$ , розташованого в точці  $\varphi=0$  тонкого диска радіусом  $r_0$ , торці котрого теплоізолювані, а теплота віддається лише з циліндричної поверхні (рисунок 4.10).

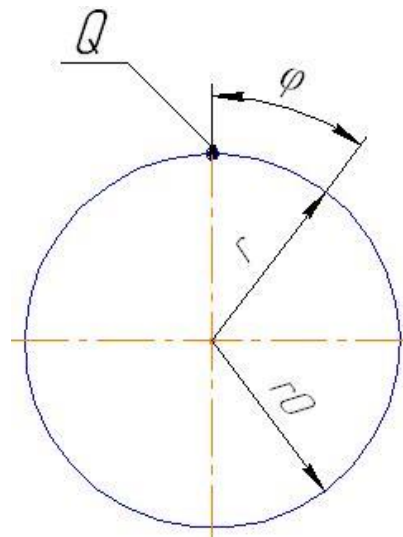


Рисунок 4.11 – Розташування джерела теплоти при нагріві циліндричної поверхні

В цьому випадку результати підрахунків для точок по лінії наплавлення ( $r=r_0, \varphi=0$ ) представлені на рисунку 4.12, а, де:



$$\theta = \frac{(T - T_H) \pi r_0^2 c \rho}{q/v} - \text{безрозмірна температура}; \quad (4.3)$$

$$\varpi = - \frac{\partial T \cdot \pi r_0^4 c \rho}{\partial t \left( \frac{q}{v} \right) a} - \text{відносна миттєва швидкість охолодження по лінії} \quad (4.4)$$

наплавлення в момент, коли температура точки дорівнює  $T$ ;

$$\tau_H = \frac{a t_H}{r_0^2} - \text{безрозмірний час перебування точки, яка знаходиться на лінії}$$

наплавлення, вище деякої температури  $\theta$  ( $t_H$  – час, с, перебування точки, яка знаходиться на лінії наплавлення вище деякої температури  $T$ );

На рисунку 4.16, б представлені максимальні відносні температури

$$\theta_{MAX} = \frac{(T_{MAX} - T_H) \pi r_0^2 c \rho}{q/v}, \quad (4.5)$$

Криві на рисунку 4.12, а, б побудовані криві для різноманітних значень безрозмірного критерію  $\alpha r_0 / \lambda$ , який характеризує тепловіддачу з поверхні.

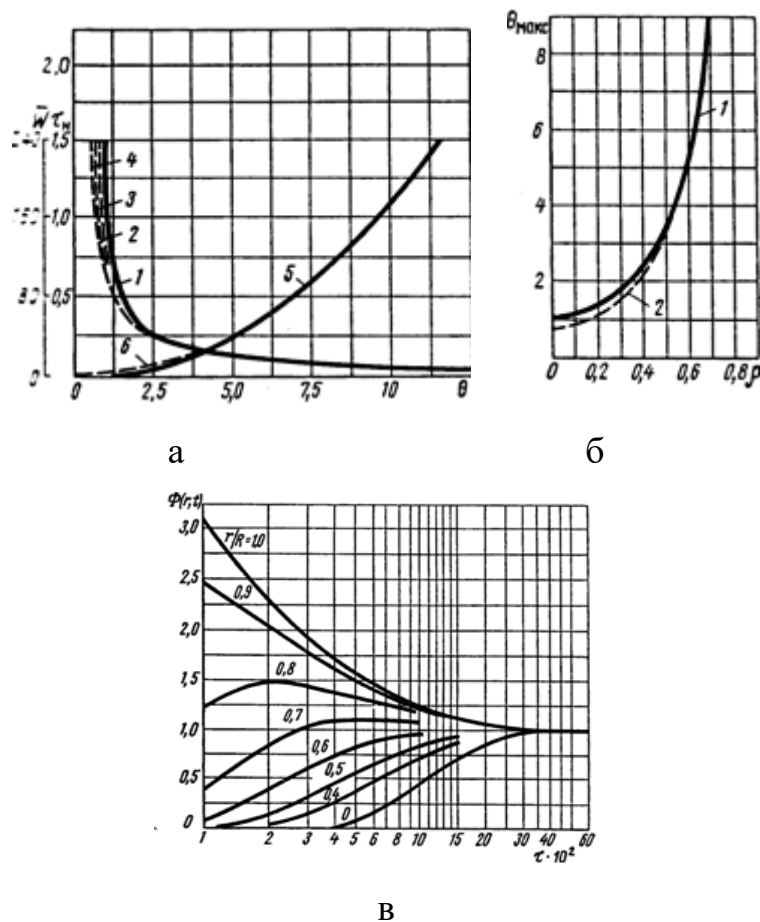


Рис. 4.12. Безрозмірні характеристики температурного режиму в зоні наплавлення циліндричної поверхні

а – безрозмірний час  $\tau_H$  перебування точок вище відносної температури  $\theta$  при наплавленні вздовж твірної ( $1 - \alpha r_0 / \lambda = 0,2 - 0,04, 3 - 0,1, 4 - 0,15$ ) та відносна миттєва швидкість охолодження  $\varpi$  по лінії наплавлення ( $5 - \alpha r_0 / \lambda = 0, 6 - 0,15$ ); б – максимальні відносні температури  $\theta_{MAX}$  при наплавленні вздовж твірної в залежності від відносної координати  $\rho_2 = r / r_0$  при  $\varphi=0$ : ( $1 - \alpha r_0 / \lambda = 0, 2 - 0,15$ ); в – номограма для визначення функції  $\Phi(r, t)$ .

#### 4.6 Способи оцінювання схильності металу зварювального з'єднання до утворення холодних тріщин

Способи оцінки схильності до тріщин підрозділяють на:

- 1) непрямі і прямі (по характеру процедури оцінки);
- 2) якісні і кількісні (по характеру критерію оцінки);
- 3) порівняльні і абсолютні (по характеру використання критеріїв оцінки).

Непрямі способи, дозволяють оцінювати схильність до тріщин розрахунковим шляхом по хімічному складу сталі без випробування зварювальних з'єднань. Один з таких способів – оцінка потенційної схильності сталі за значенням еквівалента вуглецю  $C_{EKB}$  (4.1). Значення  $C_{EKB}$  характеризує прогартованість сталі, тобто пропорційна її критичним швидкостям охолодження, що обумовлює гартування  $\omega_{M2}$  і  $\omega_{M1}$ . При заданому термічному циклі чим більше  $C_{EKB}$ , тим більше вміст складових при гартуванні в структурі в ЗТД. Проте  $C_{EKB}$  не враховує їх властивостей, наприклад, тетрагональності і твердості мартенситу, які визначаються вмістом вуглецю. Отже, враховуючи (4.6),  $C_{EKB}$  можна використовувати як порівняльний кількісний показник потенційної схильності різних марок сталі до утворення тріщин за умови, що вміст С і концентрації  $H_d$  в них рівні. З практичного досвіду, при  $C_{EKB} > 0,45\%$  сталі часто стають потенційно схильними до утворення тріщин.

$$C_{EKB} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5 \quad (4.6)$$

де символи хімічних елементів означають їх склад в сталі, %.

Більш досконалий розрахунок стійкості зварювальних з'єднань проти утворення холодних тріщин, заснований на зіставленні дійсного структурно-водневого і напруженого стану з критичним. Такий розрахунок на ЕОМ за програмою, що включає рішення теплової задачі, розрахунок структури, розподіли дифузійного водню, зварювальної напруги виконується відповідно до залежностей. Програма дозволяє оцінити вибрані матеріали, конструктивний і технологічний варіанти виготовлення зварних вузлів. За допомогою програми можуть бути складені технологічні карти зварюваності, що наочно ілюструють розвиток фізичних процесів, відповідальних за утворення тріщин, залежно від температури підігріву. Карти дозволяють визначити необхідну температуру підігріву і допустимий вміст водню в шві, що запобігають тріщинам.

$$r_3 = \left[ r_{3,0}^2 + 2A \int_{t_0}^t \exp\left(-\frac{Q_p}{kT}\right) dt \right]^{1/2} \quad (4.7)$$

$$M = 100 \left[ 0,95 - \exp(-k_M \omega_{6/5}^{n_M}) \right]; \quad (4.8)$$

$$\Phi\Pi = 100 \exp\left(-k_{\phi,\Pi} \omega_{6/5}^{n_{\phi,\Pi}}\right), \quad (4.9)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left( D_H \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( D_H \chi \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_H \frac{\partial C}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( D_H \chi \frac{\partial T}{\partial z} \right),$$

$$\sigma_y^{(z)} = \frac{E}{2b_3} \cdot \frac{1}{(1+4ez/\delta^2)} \cdot \frac{\delta}{\delta_{III}} \left( A \frac{\alpha}{c\gamma} \cdot \frac{q}{v\delta} - \varepsilon_{f1} b_{III} - \varepsilon_{f2} 2b_{зтд} \right) \left\{ \frac{1}{1+m[E/(2b_3 \cdot 10^2)]^n} \right\} \quad (4.11)$$

Прямі способи оцінки схильності сталей до ХТ включають зварювальні технологічні проби і спеціалізовані механічні випробування зварних з'єднань. Пробами є зварювальні зразки, конструкція і технологія зварювання яких викликають інтенсивний розвиток одного або декількох основних чинників, що обумовлюють утворення тріщин.

#### 4.7 Методи підвищення опору зварювальних з'єднань легованих сталей до утворення холодних тріщин

Способи запобігання холодним тріщинам в зварних з'єднання направлені на зменшення або усунення негативної дії основних чинників, що обумовлюють їх утворення, шляхом:

- 1) регулювання структури металу зварних з'єднань;
- 2) зниження концентрації дифузійного водню в шві;
- 3) зменшення рівня зварювальної напруги.

Найчастіше для запобігання холодним тріщинам застосовують попередній або подальший підігрів зварних з'єднань. При зварюванні вуглецевих і низьколегованих сталей, що не містять активних карбідоутворюючих, підігрів може виключити загартовані структури в шві і ЗТВ. Крім того, підігрів сприяє інтенсивному видаленню  $H_d$  із з'єднання. При неможливості або недоцільності застосування підігріву проводять низьке або високе відпускання зварювальних вузлів безпосередньо після зварювання.

Для запобігання холодним тріщинам у ряді випадків (мартенситні сталі невеликої товщини) достатня місцеве короткочасне відпускання за допомогою індуктора СВЧ або інших концентрованих джерел теплоти з нагрівом до 1000 К протягом 4...3 хв. Склад металу шову надає істотний вплив на опір біля шовної зони, проте механізм впливу шову на біля шовну зону ще недостатньо вивчений. Ефективно застосування матеріалів, що мають нижчі температури кристалізації, перетворення аустеніту, чим у основного металу, а що мають підвищену розчинність водню і знижений коефіцієнт його дифузії. Цими ефектами частково можна пояснити значне підвищення опору біляшовної зони тріщинам при застосуванні аустенітних зварювальних матеріалів замість ферито-перлітних. Способи зниження концентрації водню в металі зварювальних швів головним чином засновані на усуненні джерел, які забезпечують атмосферу дуги воднем. Це прожарення електродів з фтористо-кальцієвими покриттями при 720...770 К, низькокремнієвих флюсів при 870 К і фтористо-кальцієвих при 1170 К протягом 3...5 год.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Ідентифікація небезпечних і шкідливих факторів при наплавленні під шаром флюсу

При дуговому зварюванні на електрозварювальника діють шкідливі і небезпечні хімічні, фізичні та психофізіологічні фактори виробничого середовища.

Несприятливу дію шкідливих факторів виробничого середовища на здоров'я працівників і спричинені ними професійні захворювання у зварювальному виробництві можна розділити на 3 групи:

1. Захворювання, спричинені дією хімічних факторів (хімічних речовин).
2. Захворювання, спричинені дією фізичних факторів (нагрівання чи охолодження, мікроклімат, шум).
3. Захворювання, спричинені дією психофізіологічних факторів (фізичне навантаження, одноманітні, часто повторювані рухи, вимушена поза).

При зварюванні причинами травматизму також може бути: відсутність транспортних засобів для транспортування важких деталей і виробів; несправність транспортних засобів; несправний інструмент: кувалди, молотки, гайкові ключі, зубила і т. п., відсутність захисних окулярів при очищенні швів від шлаку; відсутність спецодягу і інших захисних засобів.

Серед виробничих факторів найбільшу загрозу для здоров'я та життя зварювальників становить зварювальний аерозоль, від якого і досі зварювальник захищений дуже слабо. Вплив зварювального аерозолу на організм призводить до бронхолегеневих захворювань зварювальників. Це перш за все пневмоконіоз, що виявляється у зварювальників, які відпрацювали у зварювальних виробництвах понад 15 років, і хронічний бронхіт, що виникає вже через 5 років праці за професією зварювальника.

Крім того, є дані які свідчать про те, що наявність у складі зварювального аерозолу канцерогенних речовин шестивалентного хрому і нікелю може підвищувати ризик розвитку онкологічних захворювань органів дихання.

Наслідками дії зварювального аерозолю можуть бути різноманітні отруєння шкідливими речовинами. До них у першу чергу належать інтоксикація (отруєння) марганцем, що характеризується ураженням центральної нервової системи. Наявність у повітрі високих концентрацій монооксиду вуглецю може бути причиною як гострого, так і хронічного отруєння. Вплив оксидів азоту в закритих приміщеннях може проявлятися розвитком набряку легень. Підвищений вміст твердих та газоподібних сполук фтору в зварювальному аерозолі призводить до ураження слизової оболонки верхніх дихальних шляхів, бронхів, розвитку бронхопневмонії. До супутніх захворювань, причиною яких є зварювальний аерозоль, належать функціональні порушення центральної нервової та серцево-судинної систем, алергічні захворювання, статеві ускладнення тощо.

При наплавленні під шаром флюсу спектр променевої енергії складається з інфрачервоних променів довжиною більше 1,05 мкм, променів Роста (1,5...0,7 мкм), світлових променів 0,7...0,4 мкм та ультрафіолетових променів 0,1...0,4 мкм. Ультрафіолетове випромінювання може викликати професійну хворобу очей – електрофтальмію та опіки відкритих частин тіла – іскри, бризки розплавленого металу.

Основними причинами ураження електричним струмом можуть бути доторкування до відкритих струмопровідних частин, перехід напруги на корпус обладнання.

В останні роки почала збільшуватись кількість випадків виявлення у зварювальників професійного раку, частка якого у структурі професійної захворюваності перевищила 5%. Крім того, фіксуються бронхіальна астма (близько 3%), хронічна інтоксикація марганцем (0,05-1,3%), а також отруєння газовими складовими зварювального аерозолю (1-2%).

Серед супутніх, так званих професійно зумовлених захворювань, що виявляються у зварювальників із вперше зареєстрованою профпатологією, становлять функціональні та патологічні зміни у серцево-судинній системі (41-43%), функціональні розлади центральної нервової системи (30-40%), фарингіти (20-30%), шлунково-кишкові захворювання (8-14%), деякі офтальмологічні хвороби (5-10%). Захворювання опорно-рухового апарата

(кістково-м'язова патологія) реєструються у 8-9% зварювальників, неврит слухового нерва – у 5-6% зварювальників.

Комплексний характер негативного впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів на здоров'я зварювальників, а також тяжкості і напруженості праці потребують дотримання вимог безпеки праці та проведення різноманітних оздоровчих заходів.

## **5.2 Класифікація надзвичайних ситуацій техногенного характеру**

Зростання масштабів господарської діяльності і кількості великих промислових комплексів, концентрація на них агрегатів і установок великої і надвеликої потужності, використання у виробництві потенційно небезпечних речовин у великих кількостях – все це збільшує ймовірність виникнення техногенних аварій. Надзвичайні ситуації техногенного походження містять у собі загрозу для людини, економіки і природного середовища або здатні створити її внаслідок ймовірного вибуху, пожежі, затоплення або забруднення (зараження) навколишнього середовища.

Ці надзвичайні ситуації виникають, як правило, на потенційно техногенно небезпечних виробництвах. До них належать, у першу чергу, хімічно-, радіаційно-, вибухо-, та пожежонебезпечні об'єкти, а також гідродинамічно небезпечні об'єкти. В останні роки значно зросла небезпека від аварій і катастроф на транспорті. Розподіл надзвичайних ситуацій техногенного характеру в Україні за видами наведено в табл. 5.1.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру прийнято класифікувати за такими основними ознаками:

за масштабами наслідків (об'єктового, місцевого, регіонального і загальнодержавного рівня);

за галузевою ознакою (надзвичайні ситуації у сільському господарстві; у лісовому господарстві; у заповідній території і т. ін.).

Таблиця 5.1. Розподіл надзвичайних ситуацій техногенного характеру за видами в 1997-2000 роках

Вид НС	Кількість НС	Рівень НС				Кількість загиблих, чол.	Кількість постраждалих, чол.	
		Загальнодержавний	Регіональний	Місцевий	Об'єктовий			
Транспортні аварії	472	6	8	239	219	723	1125	
Пожежі, вибухи	655	10	14	232	389	711	697	
Аварії з викидом (загрозою викиду) сильнодіючих отруйних речовин	51	-	-	Є	40	6	66	
Раптове руйнування споруд	273	1	5	56	211	245	122	
Аварії на електроенергетичних системах	210	6	51	11	142	-	1	
Аварії на системах життєзабезпечення	370	-	4	150	216	6	14	
Аварії на очисних спорудах	5	-	-	3	2	3	-	
Аварії систем зв'язку та телекомунікації	3	-	-	2	1	1	-	
Всього	2078	24	85	718	1186	1695	2039	

Згідно «Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій» *аварія* – це небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об'єкті, території або акваторії загрозу для життя і здоров'я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю.

Про катастрофу говорять тоді, коли виникла великомасштабна аварія чи інша подія, що призводить до тяжких, трагічних наслідків.

Аварії техногенного характеру класифікуються також з урахуванням критеріїв розміру заподіяних чи очікуваних економічних збитків.

Транспортні аварії (катастрофи). Щорічно в Україні перевозиться транспортом загального користування понад 900 млн. т вантажів (в тому числі велика кількість небезпечних), і понад 3 мільярди пасажирів. На частку



залізничного транспорту припадає близько 60% вантажних перевезень, автомобільного – 26%, річкового і морського – 14%.

У зв'язку з тим, що транспортом перевозяться і потенційно небезпечні вантажі (вибухонебезпечні, пожежонебезпечні, хімічні та інші речовини – 15% від загального обсягу вантажів), небезпека для життя і здоров'я збільшується. Скоротилося оновлення основних фондів всіх видів транспорту. Рівень зношеності транспорту становить понад 50%, а на деяких підприємствах і значно більше, велика кількість транспортних засобів підлягає списанню.

Залізнична аварія – аварія на залізниці, яка призвела до гибелі людей чи отримання ними тілесних ушкоджень, псування однієї чи декількох одиниць рухомого складу аж до вилучення його із обігу і (чи) спричинила повне припинення руху на час, що перевищує нормативний.

Аварія потягу – зіткнення пасажирського або вантажного потягу з іншим потягом або іншою перешкодою, сходження з рейок рухомого складу потягу, що призвело до загибелі людей чи отримання тілесних ушкоджень людей, пошкодження рухомого складу аж до вилучення його з обігу, а також, якщо виникла цілковита перерва руху на окремій ділянці, яка перевищує нормативний час усунення наслідків зіткнення чи сходження рухомого складу.

Основними причинами аварій та катастроф на залізничному транспорті є: несправності колій рухомого складу; засобів сигналізації, централізації та блокування; помилки диспетчерів; неуважність та халатність машиністів. Найчастіше виникають надзвичайні ситуації при сходженні рухомого складу з колій, зіткнення, наїздах на перепони на переїздах, при пожежах та вибухах безпосередньо у вагонах. Не виключаються розмиви залізничних колій, обвали, осипи, зсуви, затоплення. При перевезенні небезпечних вантажів, таких як газу, легкозаймисті, вибухонебезпечні, сильнодіючі отруйні та радіоактивні речовини, виникають вибухи, пожежі цистерн та інших вагонів. Такі аварії можуть призвести до небезпечного опромінення людей і радіоактивного забруднення навколишнього середовища, а при викиді сильнодіючих отруйних речовин у навколишнє середовище – до гострих отруєнь пасажирів і хімічного зараження повітря, ґрунтів і об'єктів колійного господарства.

Корабельна аварія (катастрофа) – аварія морського (річкового) об'єкта, внаслідок якої він затонув або сталося його повне конструктивне руйнування.

Зіткнення морських (річкових) об'єктів – зближення морських (річкових) об'єктів до фізичного контакту між ними, яке супроводжується нанесенням шкоди цим об'єктам, їх технічним засобам, вантажу, екіпажу і пасажирам.

Зіткнення морського (річкового) об'єкта з нерухомим об'єктом – зіткнення морського (річкового) об'єкта із стаціонарними береговими спорудами, яке супроводжується нанесенням шкоди морському (річковому) об'єкту, його технічним засобам, вантажу, екіпажу і пасажирам, а також береговим спорудам.

Ризик для безпеки життя людини на морських транспортних засобах значно вищий, ніж на авіаційних та залізничних видах, але нижчий, ніж на автомобільних.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених, присвячених розробці технологічних методів підвищення зносостійкості деталей наплавленням під шаром флюсу, а також результати отримані в даній роботі дають можливість зробити наступні висновки:

Існуючі технології підвищення зносостійкості, що використовуються потребують удосконалення, оскільки у зварювальному шові спостерігається схильність до появи тріщин.

Результати дослідження показали, що змінюючи кут нахилу зварювальної головки, можна керувати якістю наплавленої поверхні, тріщиностійкістю.

Результати експериментальних досліджень підтверджують покращення фізико-механічних властивостей.

Розроблено технологічний процес відновлення деталі з наведенням основних операцій.

Модернізовано установку для наплавлення під шаром флюсу. Розраховано гвинтову передачу та кулачкову муфту.

**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.

2. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Dzyura, V., Aulin, V., Khoroshun, R. Interpreting the main power characteristics choice of the wheel vehicles guided cushioning system (2021) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23 (2), pp. B139-B149. (Scopus).

3. Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Хорошун Р.В. Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2021. № 2 (25). С. 72–81.

4. Вплив силових параметрів керованої підвіски на стійкість руху КТЗ вздовж криволінійної ділянки / Б. І. Сокіл, О. Л. Ляшук, Р. В. Хорошун, М. Б. Сокіл // Підвищення надійності машин і обладнання : міжнар. наук.-практ. конф., 15-17 квіт. 2020 р., м. Кропивницький : матеріали конф. / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту машин. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – С. 183-186.

5. Конспект лекцій (частина I) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології» галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д.Навроцька., Р.Р. Заверуха., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 132 с.

6. Конспект лекцій (частина II) з дисципліни «Транспортні засоби» для студентів усіх форм навчання першого рівня освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт», галузі знань 27 «Транспорт» / О.Л. Ляшук, Т.Д. Навроцька., Л.М. Слободян., Р.В. Хорошун. – Тернопіль, ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 184 с.

7. Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 136 с.

8. Левкович М.Г., Кищун В.А., Гандзюк М.О. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 242 с.

9. Ю. Паливода. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Ю. Паливода, А. Дячун, Р. Лещук. – Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім.І.Пулюя, 2019. – 240с.

10. Луців І.В. Розробка алгоритмів створення багатолезового оснащення адаптивного типу для обробки поверхонь обертання / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №26, 2009. С.164 - 171.

11. Луців І.В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2009, Том 14, №4. С.144-149.

12. Гевко І.Б Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

13. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

14. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

15. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
16. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
17. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
18. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
19. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
20. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.