

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут
Кафедра зварювання

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



к.т.н., доц. Матвієнко М.В.

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Електронно-променеве зварювання вилки карданного валу

Виконав: студент II курсу, групи 4121ст
спеціальності 131 Прикладна механіка за
освітньо-професійною програмою Інжині-
ринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Згуровський Дмитро Ростиславович 

(прізвище та ініціали)

Керівник Лебедєв Володимир Олександрович 

(прізвище та ініціали)

Рецензент Лой Сергій Анатолійович 

(прізвище та ініціали)

Миколаїв - 2025 р.

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Херсонський навчально-науковий інститут

Факультет суднобудівний
Кафедра зварювання
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма Інжиніринг зварювання та споріднених процесів
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



доц. В.В. Спіхтаренко

“ ” 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

студенту Згуровському Дмитру Ростиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Електронно-променеве зварювання вилки карданного валу

керівник проекту Лебедєв Володимир Олександрович, д.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені розпорядженням ХННІ НУК від “12” 03 2025 року № 07

2. Строк подання студентом проекту 12 червня 2022р.

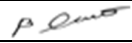
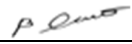
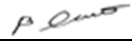
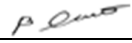
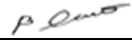
3. Вихідні дані до проекту Креслення виробу, базовий технологічний процес, матеріал Ст 35, Ст40

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз конструкції та варіантів технології зварювання. 2. Розрахунки технології зварювання. 3. Розробка технологічного процесу. 4. Охорона праці. 5. Визначення економічної ефективності.

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

1. Тема роботи. 2. Мета роботи, завдання. 3. Креслення вилки. 4. Діаграма термодинамічного перетворення аустеніту сталі 40. 5. Дослідження твердості та структур зварного з'єднання сталей 35 та 40. 6. Характеристики термокатодів зварювальних гармат. 7. Висновки.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Лебедєв В.О., професор		
2	Лебедєв В.О., професор		
3	Лебедєв В.О., професор		
4	Лебедєв В.О., професор		
5	Лебедєв В.О., професор		

7. Дата видачі завдання 17.03.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Аналіз конструкції та варіантів технології виготовлення вилки карданного валу	05.05.25р.	
2.	Розрахунки технології зварювання	12.05.25р.	
3.	Розробка технологічного процесу	19.05.25р.	
4.	Охорона праці	23.05.25р.	
5.	Визначення економічної ефективності	30.05.25р.	
6.	Графічна частина	10.06.25р.	

Студент


(підпис)

Згуровський Д.Р.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту


(підпис)

Лебедєв В.О.
(прізвище та ініціали)

Анотація

В кваліфікаційної роботі розглянуті питання зварювання вилки карданного валу. Здійснено аналіз існуючих способів зварювання, запропоновано оптимальний варіант технології з'єднання вилки і труби із застосуванням електронно-променевого зварювання. Виконано розрахунок термічного циклу зварювання, вибір режимів й зварювального обладнання, дослідження структури основного металу і ЗТВ. Визначені механічні характеристики зварного з'єднання. Розглянуті питання охорони праці, розраховано штучне освітлення та економічна ефективність запропонованої технології.

Ключові слова: електронно-променеве зварювання, режими зварювання, технологія, структура, механічні властивості.

Annotation

The qualification work deals with the issues of welding the fork of the cardan shaft. Existing welding methods have been analyzed, the optimal variant of the technology of connection of forks and pipes with the use of electron beam welding is proposed. The calculation of the thermal cycle of welding, the selection of modes and welding equipment, the study of the structure of basic metal and ZTV. The mechanical characteristics of the welded joint are determined. The issues of labor protection are considered, artificial lighting and economic efficiency of the proposed technology are calculated.

Keywords: electron beam welding, welding modes, technology, structure, mechanical properties.

Зміст	стор.
Вступ.....	7
1. Аналіз конструкції та варіантів технології зварювання.....	8
1.1 Конструктивні особливості виробу.....	9
1.2 Характеристика основного металу.....	10
1.3 Базовий технологічний процес складання та зварювання вилки.....	14
1.4 Перспективні способи зварювання вилки.....	18
1.5 Мета та завдання кваліфікаційної роботи.....	22
2. Розрахунки технології зварювання.....	23
2.1 Обґрунтування вибору способів зварювання	24
2.2 Розрахунок термічного циклу зварювання.....	26
2.3 Дослідження структури ЗТВ та механічних характеристик зварного з'єднання.....	31
2.4 Оцінка очікуваної структури ЗТВ сталі 40.....	35
3. Розробка технологічного процесу.....	39
3.1 Розробка технологічного процесу складання та зварювання вилки.....	40
3.2 Вибір зварювального обладнання.....	43
3.3 Діагностика електронного променя, вибір матеріалу катоду.....	48
3.4 Методи контролю якості.....	57
4. Охорона праці.....	60
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів при зварюванні вилки.....	61
4.2 Розрахунок штучного освітлення.....	69
5 Визначення економічної ефективності.....	74
5.1 Оцінка економічної ефективності.....	75
5.2 Розрахунок капітальних витрат.....	75
5.3 Розрахунок фонду заробітної плати.....	76
5.4 Розрахунок вартості основних матеріалів.....	79
5.5 Розрахунок собівартості продукції.....	79
Загальні висновки.....	82

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 00. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Список джерел інформації.....84

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Якість та надійність зварних конструкцій залежать від застосованих зварювальних процесів та якості їх виконання.

Процес електронно-променевого зварювання (ЕПЗ) відноситься до категорії високих технологій і в основному застосовується при виготовленні конструкцій, до яких пред'являються високі вимоги за якістю, міцністю і надійністю зварних з'єднань. Він широко застосовується в ракетно-космічній техніці, енергетиці, машинобудуванні, суднобудуванні. За цей час створені могутні високостабільні блоки, що оснащені комп'ютерними системами управління, діагностики електронного променя і протоколювання результатів зварювання.

Електронний промінь з успіхом застосовується для зварювання виробів з високоміцної сталі, високоміцних сплавів на основі титану та алюмінію. Мінімальне деформування зварювального виробу та високі фізико-механічні характеристики зварного з'єднання безпосередньо після зварювання дозволяють не застосовувати подальшу механічну та термічну обробку.

Широкі можливості автоматичного, а останніми роками комп'ютерного управління ЕПЗ, здійснення процесів у вакуумі, які забезпечують не тільки збереження початкової чистоти оброблюваного металу, але і його рафінування, висока концентрація енергії в електронному пучку, недоступна традиційним джерелам нагріву – все це сприяє застосуванню ЕПЗ як в галузях, пов'язаних з виробництвом малогабаритних виробів, так і в галузях, що виробляють великогабаритні вироби.

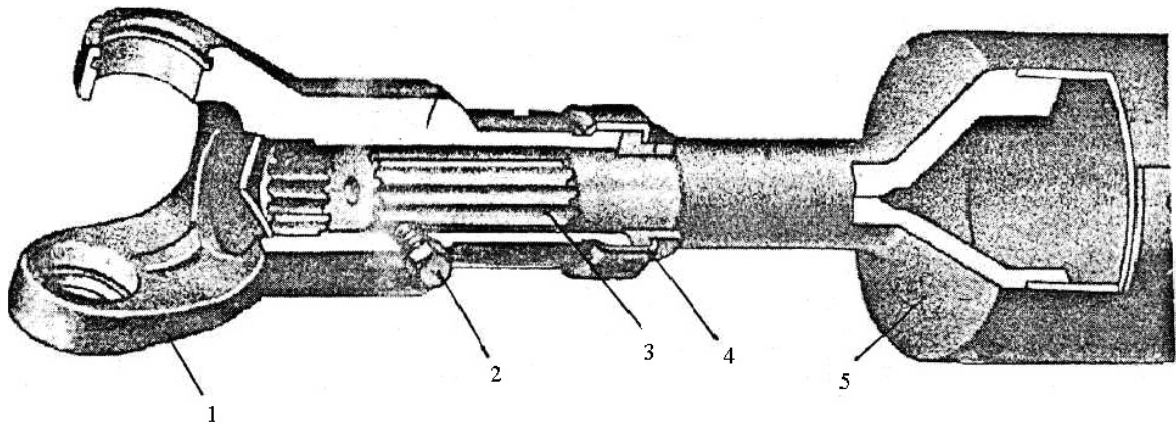
У вирішенні цілого ряду питань електронно-променевого зварювання досягнуті значні успіхи, хоча багато чисельні труднощі все ще перешкоджають самому широкому впровадженню його у промисловість[1].

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 00. ПЗ.	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз конструкції та варіантів технології зварювання	Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент		Зауровський Д.Р						8	15
Керівник		Лебедев В.О.							
Конс.		Лебедев В.О.							
Н. Контр.									
Зав. каф.		Матвієнко М.В.				ХННІ НУК			

1.1 Конструктивні особливості виробу

Вилка карданного валу призначена для передачі крутячого моменту від карданної передачі до заднього мосту автомобіля. Уявляє з себе хвостовик круглого перерізу з внутрішніми прямокутними шліцями розміром $65 \times 56 \times 16$ мм. По хвостовику переміщується шліцевий кінець карданного валу. Мінімальне остаточне зачеплення складає 40 мм. На кінці хвостовика є різьба для встановлення елементів діаметрального ущільнення. З другого кінця труби вилка має проушини, в отвір яких монтуються голчаті підшипники хрестовини. Вилка шліцева показана на рис. 1.1.



1 – вилка шліцева; 2 – маслянка; 3 – кінець шліцевий; 4 – обойма сальника; 5 – труба.

Рисунок 1.1 Вилка шліцева

Осі отворів вилки повинні лежати в одній площині та бути паралельними між собою. На площастях проушини є два різьбових отвори для встановлення кришки підшипника. Кут повертання шарніру від осі вилки складає 30° . Вилка повинна бути збалансована з центруванням по діаметру. Конструкція складається з двох деталей: вилки та труби, які з'єднанні між собою за допомогою зварювання. Вилка виготовляється зі сталі марки Ст35, а труба із сталі марки Ст40.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.

Арк.

9

Вилка карданного валу повинна витримувати крутячий момент не менш ніж 10 кН·м, без остаточного деформування. Вилка проходить термічну обробку шліців токами високої частоти з охолодженням у воді для отримання твердості 229...289 НВ.

1.2 Характеристики основного металу

Сталі 35 і 40 відносять до середньо вуглецевих якісних конструкційних сталей. Вони підлягають подвійній термічній обробці: загартування у воді та високий відпуск. Режим термообробки надано у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Рекомендовані режими термічної обробки сталей Ст35 та Ст40

Режим термообробки			Площа перерізу заготовки, мм ²	Твердість, НВ
Операція	Температура нагріву, °С	Охолоджуюче середовище		
нормалізація відпуск	860-880 600-650	повітря	до 100 100-500	130-180
загартування відпуск	840-860 560-620	вода	60	190-230

Для середньо вуглецевих конструкційних сталей, у яких після гартування з'являється структура мартенситу, потрібен не просто відпуск, а високий відпуск, який проводять при високих температурах.

При цьому відбувається повний розпад мартенситу з утворенням зернистої високодисперсної структури сорбіт (феріто-карбідної суміші). Отримана структура має найкраще сполучення міцності та ударної в'язкості.

Вуглецеві конструкційні сталі характеризуються вмістом вуглецю 0,3...0,4% та визначеною кількістю легованих елементів.

Хімічний склад сталі 35 та сталі 40 наведено у таблиці 1.2., механічні властивості представлено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 Хімічний склад сталі 35 та сталі 40, %

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Cu	Ni	S	P
Ст 35	0,32-0,40	0,17-0,37	0,5-0,8	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,035
Ст 40	0,37-0,45	0,17-0,37	0,5-0,8	≤0,25	≤0,25	≤0,25	≤0,04	≤0,035

Таблиця 1.3 Механічні властивості сталі 35 та сталі 40

Марка сталі	σ_B	σ_T	δ_5	ψ	a_H , кДж/м ²
	МПа		%		
Ст 35	540	320	20	45	700
Ст 40	580	340	19	45	600

Термообробка та технічні переваги: Сталі добре реагують на гартування з подальшим відпуском, що дозволяє досягти оптимального балансу між твердістю і в'язкістю. Це важливо для підвищення ресурсу роботи деталі без ризику крихкого руйнування. Можливість змінювати властивості в широкому діапазоні робить їх гнучкими у використанні — їх можна адаптувати до різних умов навантаження [2].

Для подолання труднощів при зварюванні, у першу чергу для підвищення стійкості металу шва проти кристалізаційних тріщин, намагаються зменшити вміст вуглецю у металі шва. Намагаються також забезпечити шов з великим значенням коефіцієнту форми шва та використовують попередній та супроводжуючий підігрів.

Про зварювання, стосовно його чутливості до загартування, судять за коефіцієнтом еквівалентної концентрації вуглецю $C_{екв}$, за яким можна оцінити схильність сталі до утворення холодних тріщин.

Є багато формул для розрахунку $C_{екв}$, які відрізняються коефіцієнтами при значеннях концентрації легуючих елементів. В 1967 р. Міжнародним

інститутом зварювання (МІЗ) для розрахунку еквівалентної концентрації вуглецю в низьколегованих сталях рекомендовано формулу:

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}, \% \quad (1.1)$$

Якщо $C_{екв} \leq 0,40 \%$, то сталь вважається не схильною до утворення холодних тріщин при зварюванні. За формулою (1.1) визначаємо $C_{екв}$ для сталі 35 і сталі 40:

Сталь 35:
$$C_{екв} = 0,32 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,25}{5} + \frac{0,25+0,25}{15} = 0,487\%$$

Сталь 40:
$$C_{екв} = 0,37 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,25}{5} + \frac{0,25+0,25}{15} = 0,537\%$$

В обох випадках $C_{екв} \geq 0,40 \%$, тобто Ст 35 та Ст 40 схильні до утворення холодних тріщин.

Пізніше Еренбургом Була запропонована діаграма для визначення температури підігріву низьколегованих сталей залежно від товщини металу та $C_{екв}$:

$$C_{екв} = C + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cr+V}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0.0024\delta \quad (1.2)$$

де δ — товщина металу, мм.

При $C_{екв} \leq 0,25 \%$, метал не підігрівається, тобто небезпеки утворення холодних тріщин немає.

Підставивши значення у формулу (1.2), отримаємо:

Сталь 35:

$$C_{екв} = 0,32 + \frac{0,25}{15} + \frac{0,25}{5} + \frac{0,25}{13} + \frac{0,035}{2} + 0.0024 \cdot 14 = 0,457\%$$

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Сталь 40:

$$C_{екв} = 0,37 + \frac{0,25}{15} + \frac{0,25}{5} + \frac{0,25}{13} + \frac{0,035}{2} + 0,0024 \cdot 14 = 0,507\%$$

З розрахунків видно, що обидві сталі схильні до утворення холодних тріщин.

Японськими дослідниками Іто та Бессіо [3] запропоновано параметр $P_{ст}$

$$P_{ст} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo+V}{15} + 5B. \quad (1.3)$$

Холодні тріщини відсутні, якщо $P_{ст} \leq 0,25 \%$.

$$\text{Сталь 35: } P_{ст} = 0,32 + \frac{0,17}{30} + \frac{0,5+0,25+0,25}{20} + \frac{0,25}{60} = 0,38\%.$$

$$\text{Сталь 40: } P_{ст} = 0,37 + \frac{0,17}{30} + \frac{0,5+0,25+0,25}{20} + \frac{0,25}{60} = 0,43\%.$$

Параметр $P_{ст} \geq 0,25 \%$, тому у сталях присутні холодні тріщини.

Широко відома формула розрахунку $C_{екв}$ з врахуванням концентрації бору, за якою при $C_{екв} \leq 0,45 \%$ сталь потенційно схильна до холодних тріщин.

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} + 5B, \% \quad (1.4)$$

Розрахуємо $C_{екв}$ за формулою (1.4):

$$\text{Сталь 35: } C_{екв} = 0,32 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,17}{24} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,25}{5} = 0,485\%;$$

$$\text{Сталь 40: } C_{екв} = 0,37 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,17}{24} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,25}{5} = 0,535\%.$$

Як видно з розрахунків, сталь 40 та сталь 35 відносяться до обмежено зварювальних сталей, вони схильні до загартування та тріщин, потребують при зварюванні підігріву, особливих технологічних прийомів зварювання та термообробки.

Слід мати на увазі, що при розрахунках можна отримати лише орієнтовну оцінку, оскільки на кінетичні параметри процесу перетворення аустеніту та схильність до холодних тріщин впливає дуже багато факторів.

Однак, однією з головних переваг ЕПЗ є висока концентрація енергії і можливість одержання вузької і глибокої зони проплавлення. За рахунок цього, вузька зона термічного впливу зменшує небезпеку неприпустимих змін фізико-механічних властивостей основного металу, хоча не виключає виникнення тріщин у сталях, схильних до їх утворення. Інша важлива перевага ЕПЗ – можливість використання ефективного вакуумного захисту і поліпшення властивостей металу шва в результаті вакуумного переплаву [4].

1.3 Базовий технологічний процес складання та зварювання вилки

У наш час вилка виготовляється за допомогою зварювання тертям. Зварювання тертям – це зварювання тиском із нагріванням металу в зоні з'єднання внаслідок тертя його поверхонь під час обертання або зворотно-поступального руху однієї поверхні відносно іншої. Схема процесу зварювання показано на рисунку 1.2.

Звичайно зварювання тертям застосовується при виготовленні деяких деталей, які мають форму тіл обертання. Співвісно розташовані деталі стискаються зварюваними поверхнями з певним зусиллям, а одній із деталей надається обертання. При обертанні відбувається притирання торців та інтенсивне тепловиділення. Забруднення разом із розігрітим до пластичного стану металу витискаються зі стику. Після досягнення в стику достатньої температури відносно переміщення деталей миттєво припиняють і стискають їх із певним зусиллям осадки. У цей момент і утворюється з'єднання.

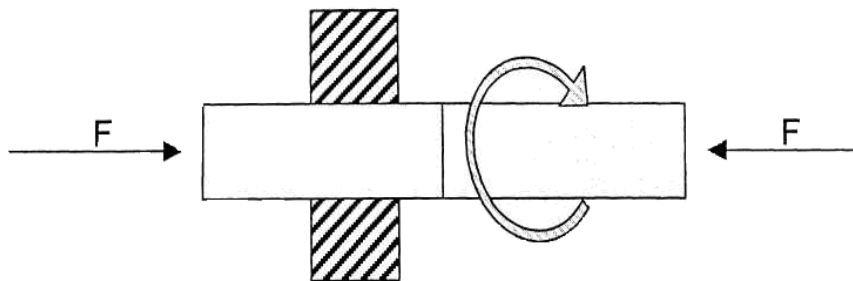


Рисунок 1.2 Схема процесу зварювання тертям

Тепловий режим при зварюванні тертям має важливе значення. Якісне з'єднання утворюється в результаті встановлення металічних зв'язків між ювенільними поверхнями деталей. Плівки різної природи, що є на з'єднувальних поверхнях, руйнуються при терті та видаляються із зони зварювання внаслідок значної пластичної деформації. Для досягнення необхідної деформації метал нагрівається під впливом теплоти, що виділяється при терті. Механічна енергія перетворюється в теплову локалізовано в тонких приповерхневих шарах. Робота, що витрачається на подолання сил тертя, перетворюється в теплоту, яка нагріває метал до необхідних температур. Для сталей, залежно від режиму зварювання, ці температури складають $950...1100^{\circ}\text{C}$. Метал може нагріватися тертям і до більш високих температур, але він витісняється із стику діючим аксіальним тиском нагрівання. Після досягнення потрібної температури відносно переміщення поверхонь повинно бути якомога швидше (миттєво) зупинено. Нагріті поверхні стискаються зусиллям осадки (проковки). Об'єм тонкого приповерхневого шару, який нагрівається до температури зварювання настільки малий, що весь цикл зварювання продовжується від декількох до 30 секунд [5].

Необхідною умовою утворення якісного з'єднання є пластична деформація металу в зоні стику. Її вимірюють величиною зближення деталей в осьовому напрямку і називають величиною осадки. Під дією температури та

тиску в зоні зварювання витіснений метал утворює „комірець”, який захищає зварювані поверхні від зовнішнього середовища. Його розміри та форма, як і ширина зони термічного впливу, залежить від зварюваних металів та параметрів режиму зварювання.

Основними параметрами режиму зварювання є частота обертання, тиск і час нагрівання, тиск проковування (осадки) і величина осадки металу. Машини для зварювання тертям мають досить високі осьові зусилля і швидкість обертання та повинні забезпечувати швидкий запуск і миттєву зупинку руху деталей відносно одна до одної.

Перевагами зварювання тертям перед іншими способами зварювання є: високі продуктивність та енергетичні показники процесу, якість і стабільність властивостей зварних з'єднань, простота механізації й автоматизації, відсутність шкідливих газових виділень, світлового ультрафіолетового випромінювання, розбризкування гарячого металу, незалежність якості зварних з'єднань від чистоти поверхні, низький рівень зварювальних деформацій і дефектності з'єднань, можливість зварювання в будь-якому просторовому положенні.

До недоліків зварювання тертям варто віднести деяку громіздкість устаткування, обмеження його застосування формами і розмірами деталі; необхідність потужних підкладок та надійного закріплення на них зварюваних заготовок; великі втрати металу (12 мм з кожної вилки); шум та вібрація при зварюванні; часте зношення приладів і оснастки.

Технологія процесу складання та зварювання вилки карданного валу полягає у наступному: вилка та труба поступають до цеху окремо. Вилка по конвеєру, а труба у накопичувальних бункерах. Далі відбувається підготовка деталей під зварювання. У накопичувальні бункера складаються вилка та труба (окремо для полегшення процесу зварювання) з виконаним розділом кромки. Зварник встановлює вилку та трубу в затискний пристрій (затискач та патрон). У патроні обертається труба, яка притирається з вилкою, після чого діє осьове зусилля, відбувається зварювання.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Поопераційне нормування за базовим проектом надано у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 Нормування за базовим проектом

Найменування операції	Перелік операцій та переходів	Тривалість, хв.
Механічна обробка	1. Взяти литу деталь, встановити її у фрезувальний верстат, фрезувати площу вушок одночасно з двох сторін.	1,70
	2. Свердлити, зенкерувати і розвернути два отвори в вушках до кута 45°.	1,01
	3. Точити деталь згідно ескізу обробітки.	0,57
	4. Фрезувати поверхню згідно ескізу.	0,28
	5. Передати на послідууючу операцію.	0,15
Складально-зварювальна	1. Взяти з підвісного конвеєру вилку, встановити її у траверсу автомата та зажати за допомогою цангового патрону.	0,40
	2. Взяти з конвеєра трубу, встановити її в патрон автомата та зажати за допомогою гідроциліндра.	0,22
	3. Провести зварювання.	1,57
	4. Зняти зварний вузол з траверси та передати його на послідууючу операцію.	0,20
Контроль якості	1. Взяти деталь з тари, встановити її на місце проведення контролю, вертикально вушками вниз	0,21
	2. Покрити торець вилки індустріальним мастилом.	0,10
	3. Включити та перевірити дефектоскоп УД2-12.	0,08
	4. Визначити наявність дефектів.	0,76
	5. Якісні деталі передати на послідууючу операцію, якщо є, передати у приймач браку.	0,20
Механічна обробка	1. Взяти деталь з тари, встановити її у фрезувальний верстат, зажати, проточити грат до розміру 83.	0,95
	2. Свердлити, зенкерувати отвір у хвостовику та зняти фаски згідно ескізу.	1,56
	3. Зенкерувати фаску зі сторони вушок.	0,2

Продовження таблиці 1.4

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найменування операції	Перелік операцій та переходів	Тривалість, хв.
Механічна обробка	4. Проточити хвостовик та підрізати торець згідно ескізу.	1,32
	5. Протягнути 16 шліц у хвостовику.	2,42
	6. Зенкерувати, свердлити, розточити та комінгувати отвори згідно ескізу.	0,38
	7. Промити деталь.	5,38
	8. Точити хвостовик.	1,24
	9. Нарізати різьбу.	1,36
	10. Фрезерувати площину вушок.	0,96
	11. Центрувати, свердлити, зенкерувати та нарізати різьбу М 10.	0,86
	12. Обрізати хвостовик деталі та зачистити.	0,73
	13. Шліфувати, полірувати зовнішню поверхню хвостовика.	1,99
	14. Визначити величину дисбалансу та висвердлити.	0,77
	15. Нарізати різьбу згідно ескізу.	0,93
	16. Промити деталь.	0,38
	17. Контроль ВТК заключний. Перевірити якість зварювального шва на статеву міцність.	0,86
	18. Здати на склад готової продукції.	0,38
Разом		30,12

1.4 Перспективні способи зварювання вилки

Альтернативним способом зварювання вилки карданного валу є електронно-променеве зварювання.

Порівняльна характеристика деяких джерел нагріву представлено в таблиці 1.5.

Розвиток обладнання та технології електронно-променевого зварювання в останній час дозволив зайняти йому стійкі позиції у деяких галузях техніки.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

У енергомашинобудуванні електронним пучком зварюються корпуси барабанів, пакети робочих лопаток; в машинобудуванні – блоки шестерній, вузли карданних передач і т.д. Вдалося отримати якісне з'єднання з вирашем по продуктивності до 60 разів та по економічності до 35 разів; можливо з'єднувати за один прохід метали та сплави товщиною від 0,1 до 200 мм. Однопрохідне електронно-променеве зварювання досить рентабельне, але з технічної точки зору є значні невирішені проблеми металургійного, технологічного та апаратного характеру. Електронно-променевим зварюванням вирішується подвійна задача – сформувати бездефектну литу зону шва та забезпечити працездатність усіх ділянок зварювального з'єднання у комплексі.

На відміну від звичайних джерел тепла, виконуючих нагрів шляхом теплопередачі через поверхню металу, вивільнення енергії при електронно-променевому зварюванні відбувається у самому виробі, при чому найбільш інтенсивне тепловиділення відбувається на деякій глибині.

Таблиця 1.5 Порівняльна характеристика деяких джерел нагріву

Джерело тепла	Найменша площа плями нагріву, см ²	Найвища густина енергії у плямі нагріву, Вт/см ²
Ацетиленокисневе полум'я	10^{-2}	5×10^4
Електрична дуга	10^{-3}	1×10^5
Електронний промінь	10^{-7}	5×10^8
Світовий промінь оптичного квантового генератору	$<10^{-7}$	$>5 \times 10^8$

Однією з особливостей нагріву електронним бомбардуванням є можливість досягнення у пучку високого значення питомої потужності, при чому електронний промінь за цією ознакою переважає більшість відомих джерел.

Суть електронно-променевого зварювання полягає у використанні для нагрівання і плавлення металу кінетичної енергії електронів, сфокусованих у промінь та прискорених електричним полем з високою різницею потенціалів. При бомбардуванні поверхні металу електрони гальмуються і їх кінетична енергія перетворюється в теплову. Для зварювання використовують гостро-сфокусований потік прискорених електронів, який називають електронним променем.

Електрон являє собою найменшу стійку заряджену елементарну частину матерії, яка легко утворюється у вільному стані, прискорюється електричним та керується магнітним полями.

Електрони отримують шляхом термоелектронної емісії з розжареного металевго катода, фокусують у промінь та керують променем за допомогою магнітних полів. Мінімальна площа плями нагрівання складає 10^{-11} м^2 . Пристрій, за допомогою якого отримують вузький, електронний промінь із великою щільністю енергії, називають електронною гарматою [5].

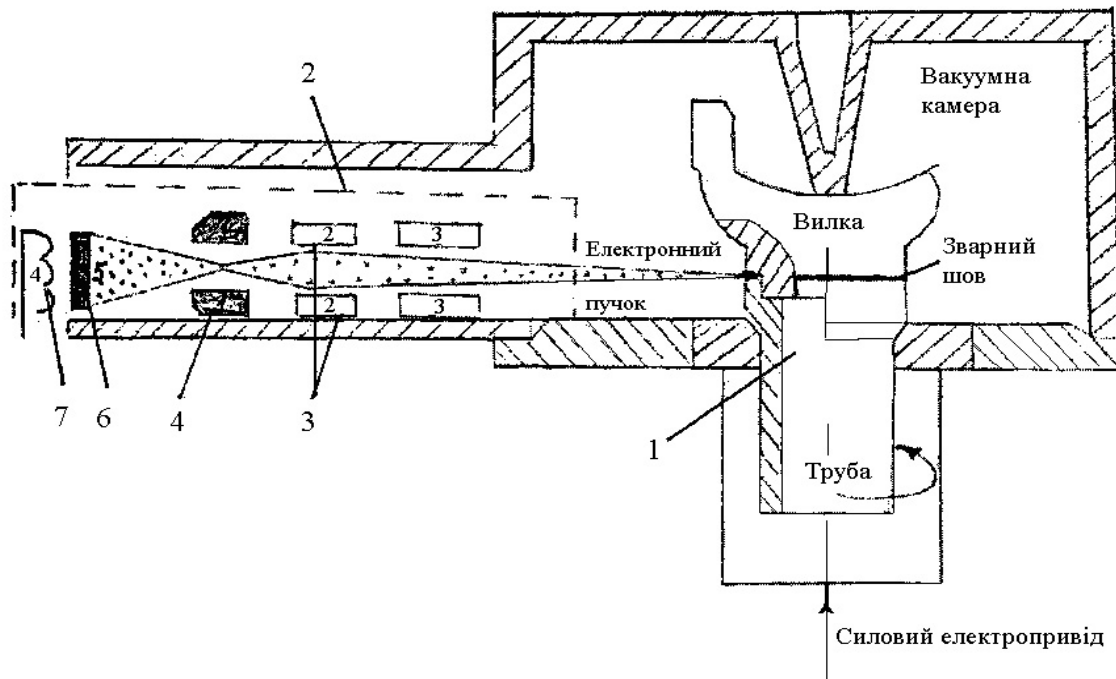
Схему формування електронного променя для зварювання показано на рисунку 1.3.

Електронна гармата має катод 6, який нагрівається до високих температур і емітує електрони. Навколо катода розміщено прикатодний електрод 5. На деякій відстані від катода знаходиться анод 4 з отвором. Потік електронів попередньо формується електростатичним полем в області катод-анод, причому швидкість електронів є функцією різниці потенціалів між анодом і катодом. Прикатодний електрод 5 та анод 4 завдяки своїй формі фокусують електрони в пучок діаметром, який дорівнює діаметру отвору в аноді 4. На шляху до анода електрони набувають значної швидкості та енергії, оскільки позитивний потенціал анода складає десятки кіловольт. Пройшовши анод, електрони зіштовхуються один з одним і частково змінюють свою траєкторію. Для збільшення щільності енергії в промені за анодом установлюється фокусуюча магнітна лінза 3. Керують променем за допомогою магнітного поля системи 2. Живлення електронної гармати здійснюється

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

високовольтним джерелом 7 постійного струму. Для забезпечення вільного переміщення електронів від катода до виробу 7, захисту катода і металу шва, запобігання дугового розряду, зварювання звичайно виконують у вакуумі порядку $1,33 \times 10^{-2}$ Па.

Основними причинами, які стримують розширення промислового застосування електронно-променевого зварювання залишається висока ціна обладнання, його складність на відміну від звичайного електрозварювального обладнання, необхідність у кваліфікованому персоналі, низька підготовка інженерно-технічного персоналу, консерватизм конструкторів, які орієнтуються на традиційну технологію.



1 - виріб; 2 - магнітна система керування променем; 3 - фокусуюча магнітна лінза; 4 - анод; 5 - прикатодний електрод, 6 - катод; 7 - джерело живлення

Рисунок 1.3 Схема електронно-променевого зварювання

В усьому світі ЕПЗ широко використовується при виготовленні деталей турбін, ракет, автомобілів тощо завдяки високій якості та надійності з'єднань.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 01. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Використовуються сучасні системи числового програмного керування, які забезпечують автоматизацію процесу, контроль та запис із графічним зображенням усіх важливих параметрів, позицій променя та часу зварювання. Усі записи фіксуються в пам'яті машини. Зварюють напрямні апарати, ротори, вали, корпуси турбін та компресорів, камери згоряння тощо. [5].

1.5 Мета та завдання кваліфікаційної роботи

У зв'язку з тим, що зварювання тертям має певні недоліки, то метою даного дипломного проекту є виявлення технології складання та зварювання вилки карданного валу, яка б забезпечила підвищення продуктивності праці, зниження собівартості та підвищення якості виробу. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- обрати спосіб зварювання та параметри режиму, які забезпечують якість виробу;
- виконати розрахунок термічного циклу і дослідження структури та властивостей отриманих зварних з'єднань;
- обрати зварювальні матеріали та необхідне основне обладнання;
- виявити потенційно небезпечні та шкідливі фактори при зварюванні вилки та прийняти заходи для їх усунення;
- виконати розрахунок економічної ефективності від впровадження технології з урахуванням запропонованих удосконалень.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ.		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Студент		Згуровський Д.Р.			Розрахунки технології зварювання	Літ.	Арк.
Керівник		Лебедєв В.О.					Акрушів
Конс.		Лебедєв В.О.					23
Н. Контр.							16
Зав. каф.		Матвієнко М.В.				ХННІ НУК	

2.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

У наш час вилка сковзка виготовляється за допомогою зварювання тертям. Зварювання тертям, створено у 60-х роках, мало ряд переваг в порівнянні з застосованими раніше засобами зварювання і характеризувалося необхідним рівнем стабільності властивостей.

Наряду з цим є ряд складностей. Якість з'єднання повинно покращитись, так як з розвитком прогресу вимоги до зварного з'єднання підвищились. Виріс брак з'єднання, доводилось доварювати ручним дуговим зварюванням. У незначній мірі покращились умови праці.

Для поліпшення властивостей та якості зварного з'єднання та усунення існуючих недоліків поставлена задача змінити зварювання тертям на інше.

Електронно-променеве зварювання гігієнічне, процес механізовано та автоматизовано, а обладнання добре підходить для механізованих поточних ліній. Електронно-променеве зварювання має високу економічну ефективність[5].

З економічної точки зору застосування електронно-променевого зварювання дозволяє зменшити трудомісткість складально-зварювальних та токарних операцій та зменшити собівартість продукції.

Окрім цього якість зварних швів, отриманих при електронно-променевому зварюванні вище ніж при зварюванні тертям.

Зварювання тертям має ряд недоліків порівняно з електронно-променевим зварюванням. Тому є сенс провести порівняльні випробування на статеву міцність зразків, зварених електронно-променевим зварюванням та зварюванням тертям [5].

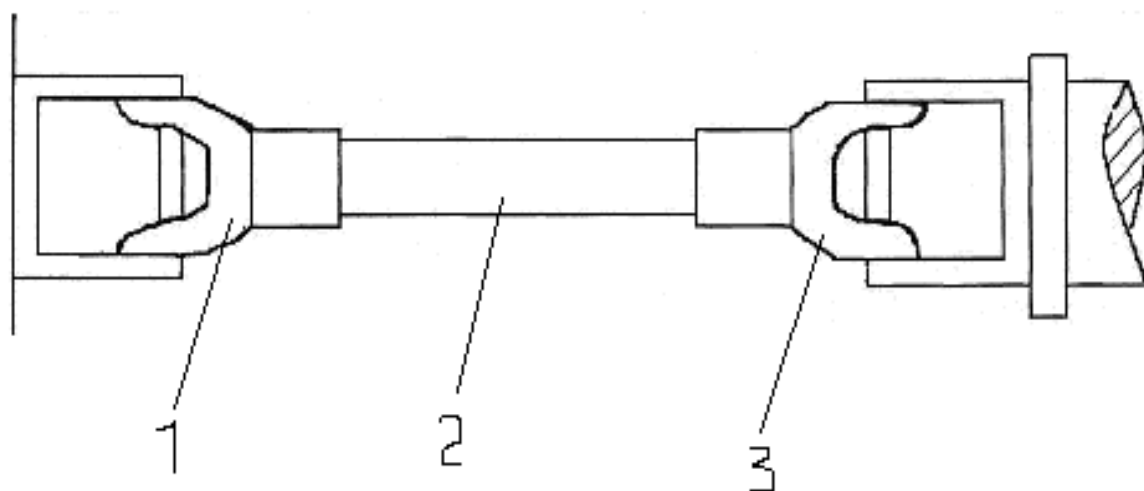
Випробування проводились у такій послідовності:

- порівняльна статеву міцність вилок визначається на крутильній машині;
- для випробування використовується спеціальний вал зі шліцами на кінцях;

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

- на шліці з одного боку встановлюється вилка зварена електронно-променевим зварюванням, з іншої – зварюванням тертям;
- статева міцність вилок визначається шляхом прикладання крутячого моменту до однієї з вилок системи: „вилка зварена електронно-променевим зварюванням – спеціальний вал – вилка зварена тертям” при непорушно закріпленій другій вилці;

Схема стенду карданного валу наведена на рисунку 2.1.



- 1 – вилка, що зварена електронно-променевим зварюванням;
 2 – спеціальний вал; 3 – вилка, що зварена тертям

Рисунок 2.1 Схема випробувального стенду

- величина крутячого моменту зруйнування визначається завдяки спеціальному обладнанню;
- сковзкі вилок зварені електронно-променевим зварюванням вважати витримавшими випробування, якщо величина крутячого моменту їх зруйнування буде не нижчою за величину вилок, зварених тертям;
- випробуванню підлягають по 3 вилок, зварених різними способами.

Результати випробувань сковзких вилок наведені у таблиці 2.1.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ

Арк.

25

Таблиця 2.1- Результати випробувань

№ випробування	Крутячий момент зруйнування, кН·м	Результати випробувань	
		Зварювання тертям	Електронно-променеве зварювання
1	30,50	Вилка зруйнувалась. Розрив відбувся по отвору для змазки, а далі по шву	Вилка не зруйнувалась
2	24,57	Вилка зруйнувалась. Розрив аналогічно першому	Вилка не зруйнувалась
3	24,52	Вилка зруйнувалась. Розрив виник по зварному шву	Вилка не зруйнувалась

На основі проведених випробувань можна зробити висновок, що статева міцність вилок, зварених електронно-променевим зварюванням вища. Це і зумовлює вибір способу зварювання.

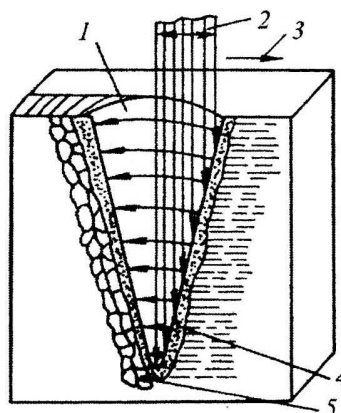
2.2 Розрахунок термічного циклу зварювання

Основними параметрами процесу електронно-променевого зварювання є: сила струму електронного променя, прискорююча напруга, швидкість зварювання, сила струму магнітної фокусуючої лінзи, що визначає положення фокуса променя відносно поверхні та діаметр плями нагрівання виробу, тиск у гарматі та зварювальній камері, а також відстань від електронної гармати до деталі [5].

Велика потужність і локальність нагрівання дозволяють використовувати промінь для зварювання будь-яких металів значних товщин.

Експериментально встановлено, що при русі променя метал плавиться а передній стінці кратера. Потім розплавлений метал переміщується до задньої

стілки, де він кристалізується (рис. 2.2). Перенос металу в зону кристалізації відбувається по стінках кратера.



1 – розплавлений метал; 2 – електронний промінь; 3 – напрям зварювання; 4 – передня стінка кратера; 5 – задня стінка кратера

Рисунок 2.2 Схема руху розплавленого металу при ЕПЗ

Переміщення металу в кратері пояснюється дією сил, обумовлених нерівномірним розподілом температури в кратері. При напрямку зварювання 3 на передній стінці кратера 4 температура поверхневого шару може досягати температури кипіння, а на задній стінці кратера 5 метал кристалізується. Чим вищою є температура, тим меншою є сила поверхневого натягу. Тому при наявності градієнта температур на поверхні рідкого металу з'являється додаткове термокапілярне напруження, яке діє тангенціально до поверхні. Його величина визначається градієнтом поверхневого натягу. Вона прагне привести поверхню рідини в рух у напрямку від високих до нижчих температур, тобто в сторону зменшення температури. Додатковою причиною руху розплавленого металу служить кривизна поверхні кратера.

Явище переміщення металу в кратері досить складне і залежить від параметрів режиму зварювання [5].

Термічний цикл розраховуємо для точки, що нагрівається до 1350 °С [6]. Визначаємо розподіл максимальних температур по осі Y.

Вони розраховуються за формулою:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ

Арк.

27

$$T = \frac{0.242 \cdot q}{c \cdot \gamma \cdot \delta \cdot V \cdot y} \cdot e^{-\frac{by^2}{2a}}, \quad (2.1)$$

де q – ефективна теплова потужність, Дж/с;

$c\gamma$ – об'ємна теплоємність. Залежить від зварювального матеріалу, приймаємо $c\gamma = 5$ Дж/(см³·К);

δ – товщина пластини, см; $\delta = 1,4$ см;

V – швидкість зварювання, см/с; $V = 0,83$ см/с;

b – коефіцієнт температуровіддачі, с⁻¹:

$$b = \frac{2 \cdot \alpha}{c \cdot \gamma \cdot \delta}, \quad (2.2)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, $\alpha = 3 \cdot 10^{-3}$ Дж/(см²·с·К).

$$b = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 1.4} = 0.9 \cdot 10^{-3}, \text{ с}^{-1}$$

a – коефіцієнт теплопроводності, см²/с:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}, \quad (2.3)$$

де λ – коефіцієнт теплопроводності, $\lambda = 0,4$ Дж/(см·с·К).

$$a = \frac{0,4}{5} = 0,08 \text{ см}^2/\text{с}.$$

Ефективна теплова потужність визначається за формулою:

$$q = I_{зв} \cdot U_{пр} \cdot \eta, \quad (2.4)$$

де $I_{зв}$ – струм зварювання, А $I_{зв} = 0,2$ А;

$U_{пр}$ – напруга прискорювальна, В $U_{пр} = 60 \cdot 10^3$ В;

η – коефіцієнт, який залежить від виду зварювання.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Підтверджено, що $\eta_t = 0.484$ є теоретична межа термічної ефективності електронно-променевого зварювання при моделі нагріву тіла лінійним джерелом теплоти. Ефективний КПД процесу нагріву основного металу електронним пучком $\eta_n = 0,95$, оскільки втрати на випромінювання, в тому числі рентгенівське, незначні [5, 7]. Повний тепловий КПД електронно-променевого зварювання слід рахувати як

$$\eta = \eta_n \cdot \eta_t = 0,45 \quad (2.5)$$

Тоді q за формулою (2.4) дорівнює:

$$q = 0,2 \cdot 60 \cdot 10^3 \cdot 0,45 = 9000 \text{ Дж/с}$$

Підставивши отриманні значення у формулу (2.1), отримаємо:

$$T = \frac{0.242 \cdot 5400}{5 \cdot 1.4 \cdot 0.83 \cdot y} \cdot e^{-\frac{0.9 \cdot 10^{-3} \cdot y^2}{2 \cdot 0.08}} = \frac{225}{y} \cdot e^{-\frac{0.9 \cdot 10^{-3} \cdot y^2}{2 \cdot 0.08}}$$

Результати розрахунків максимальних температур по осі Y занесемо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розподіл максимальних температур по осі Y

y, см	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
T, °C	1875	1500	1250	937	750	625	470	373

Графік максимальних температур надано на рисунку 2.3.

З рисунку видно, що точка нагріта до 1350 °C знаходиться від джерела нагріву на відстані $y_0 = 0,16$ см. Розрахунок термічного циклу точки, що нагрівається до 1350 °C для потужного джерела виконується за формулою:

$$T = \frac{q}{V \delta \sqrt{4 \pi \lambda c \eta}} \cdot \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \delta t} - b t\right) \quad (2.6)$$

де t – час від початку зварювання до моменту, коли джерело перетинає площину, в якій знаходиться дана точка, с;

y_0 – відстань від джерела нагріву до точка, яка нагріта до 1350 °С, см.

Підставимо значення у формулу (2.6), отримаємо:

$$T = \frac{5400}{0.83 \cdot 1.4 \cdot \sqrt{4 \cdot 3.14 \cdot 0.4 \cdot 5 \cdot t}} \cdot \exp\left(-\frac{0.16^2}{4 \cdot 0.08 t} - 0.9 \cdot 10^{-3} t\right) =$$

$$= \frac{1545}{\sqrt{t}} \cdot \exp\left(-\frac{0.245}{t} - 0.9 \cdot 10^{-3} t\right)$$

Результати розрахунків приведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку термічного циклу

t, с	0,0 5	0,07	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	1	2	4	5
T, °C	837	111 7	131 7	138 9	135 0	129 6	120 0	111 6	85 4	62 8	45 2	40 6
t, с	10	14	18	20	22	24	26	30	40	50	60	70
T, °C	288	243	214	202	193	182	177	164	14 1	12 5	11 3	10 3

На рисунку 2.3 показана діаграма термокінетичного перетворення аустеніта сталі 40 та крива охолодження відповідно термічному циклу.

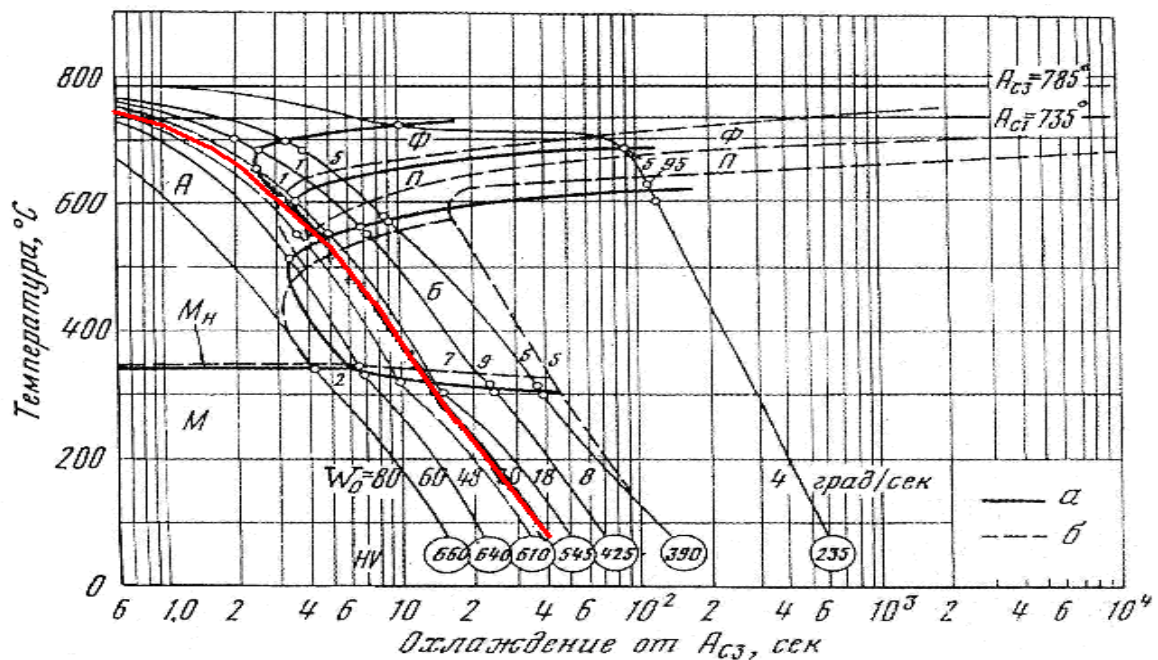


Рисунок 2.3 Діаграма термокінетичного перетворення аустеніта сталі 40

У результаті розрахунку термічного циклу зварювання була нанесена крива охолодження на діаграму розпаду аустеніту, на якій видно, що метал шва має мартенситну структуру.

2.3 Дослідження структури ЗТВ та механічних характеристик зварного з'єднання

Для вивчення структури зварного з'єднання було вирізано зразок. Зразок вирізають на відстані 20-30 мм від початку або кінці шва. Підготовка шліфу виконувалась на шліфувальних шкурках з поступовим зменшенням зерна. Також для чіткого виявлення межі між металом шва та основним металом було проведено травлення 4%-ою азотною кислотою [8]. По макрошліфу було виявлено, що явні дефекти відсутні, чітко видно межу та глибину ЗТВ. Максимальна ширина шва – 6 мм, глибина проплавлення складає 14 мм, тоді коефіцієнт форми шва ψ дорівнює 0,4.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ

Арк.

31

Дослідження мікроструктури дільниць ЗТВ та металу шва виконувались на мікроскопі МИМ-8 при збільшенні у 330 разів. Мікроструктуру основного металу показано на рисунку 2.4. Мікроструктура ЗТВ показана на рисунку 2.5.

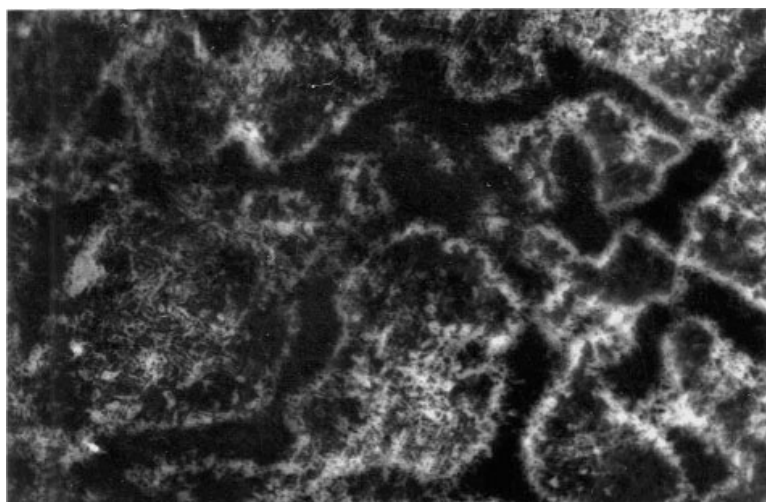


Сталь 35



Сталь 40

Рисунок 2.4 Ферито-перлітна структура основного металу



.....

Рисунок 2.5 Ферито-мартенситна структура ЗТВ

Швидкий нагрів та охолодження дають мілке зерно у ЗТВ та в металі шва. Структура металу шва представлено на рисунку 2.6.

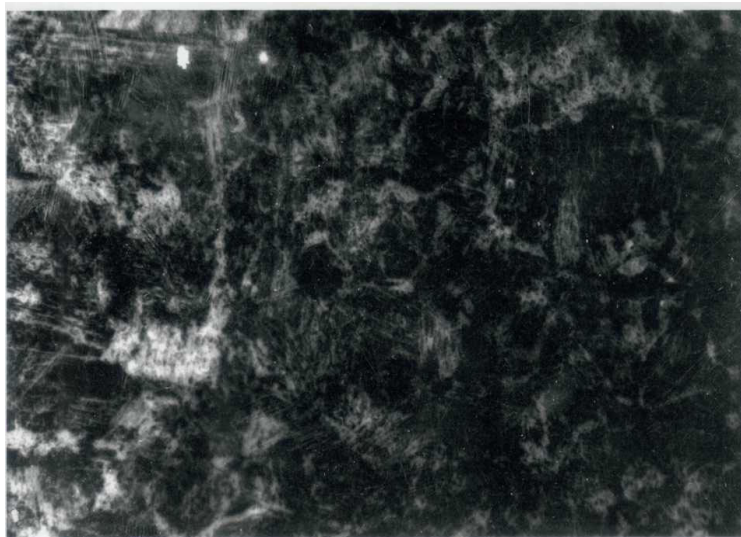


Рисунок 2.6 Мартенситна структура металу шва

Для зміни структури зварного шва застосовують термічну обробку – поліпшення. Відбувається зміна структури із мартенситної у сорбіт відпуску. Отримаємо це шляхом проведення загартування з високим відпуском. Отриману після обробки структуру металу можна розглянути на рисунку 2.7.

Металографічні дослідження доповнюються заміром твердості. Випробування на твердість не вимагає складних зразків. Окрім цього, данні випробувань на твердість дозволяють у деяких випадках судити об інших механічних властивостях металу. Зараз найбільше поширення отримали 3 методи: Метод Брінелля, метод Роквела, метод Віккерса [11].

Заміри виконували за методом Віккерса. Цей метод дозволяє замірювати твердість як м'яких, так і дуже твердих металів та сплавів. За цим методом у зразок втискується чотирьохгранна алмазна піраміда з кутом при вершині 136° . На ескізі макрошліфа видно відмітки заміру твердості (рисунок 2.8). Результати заміру твердості сталі 35 та сталі 40 представлено на рисунку 2.9.

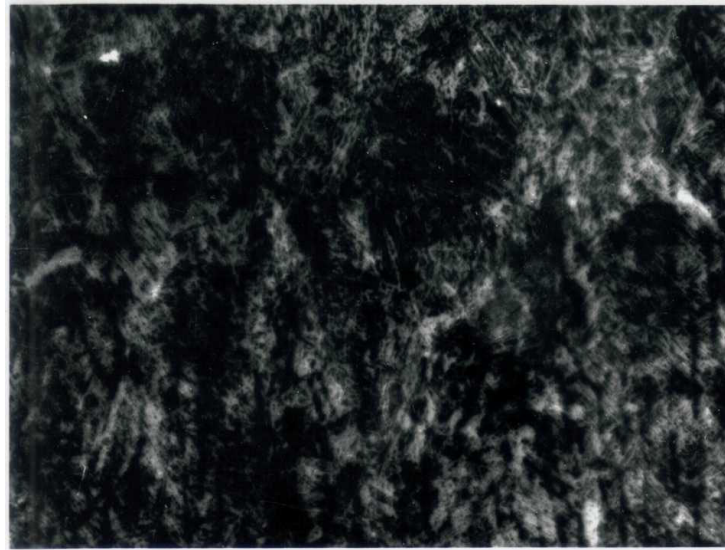


Рисунок 2.7 Структура шва після термічної обробки

За результатами заміру твердості видно, що шов має велику твердість. Для зменшення твердості металу шва проводиться термообробка – загартування з високим відпуском. Після термообробки шов має оптимальну твердість біля 300 HV. Оптимальну структуру металу можна розглянути на рисунку 2.9.

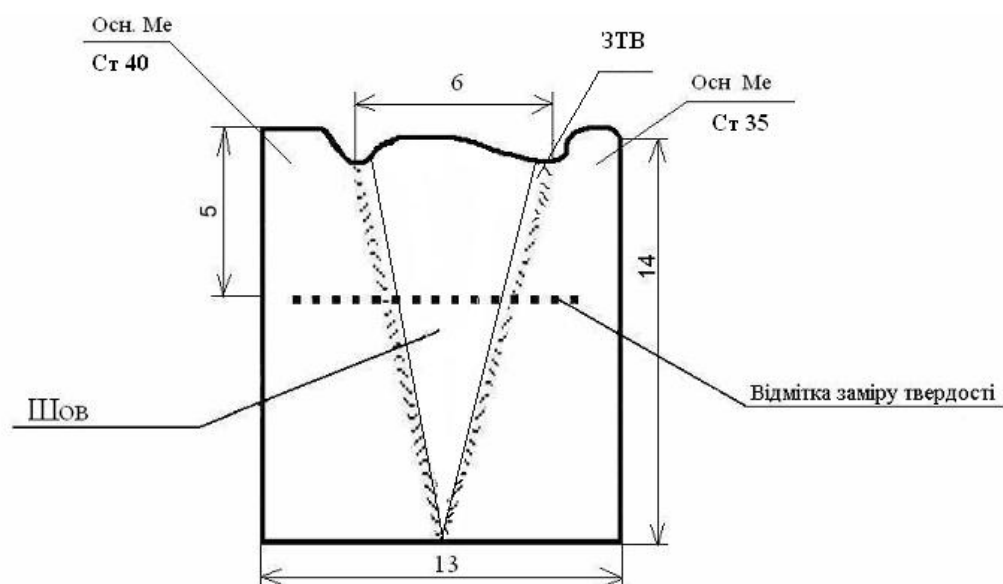


Рисунок 2.8 Ескіз макрошліфу

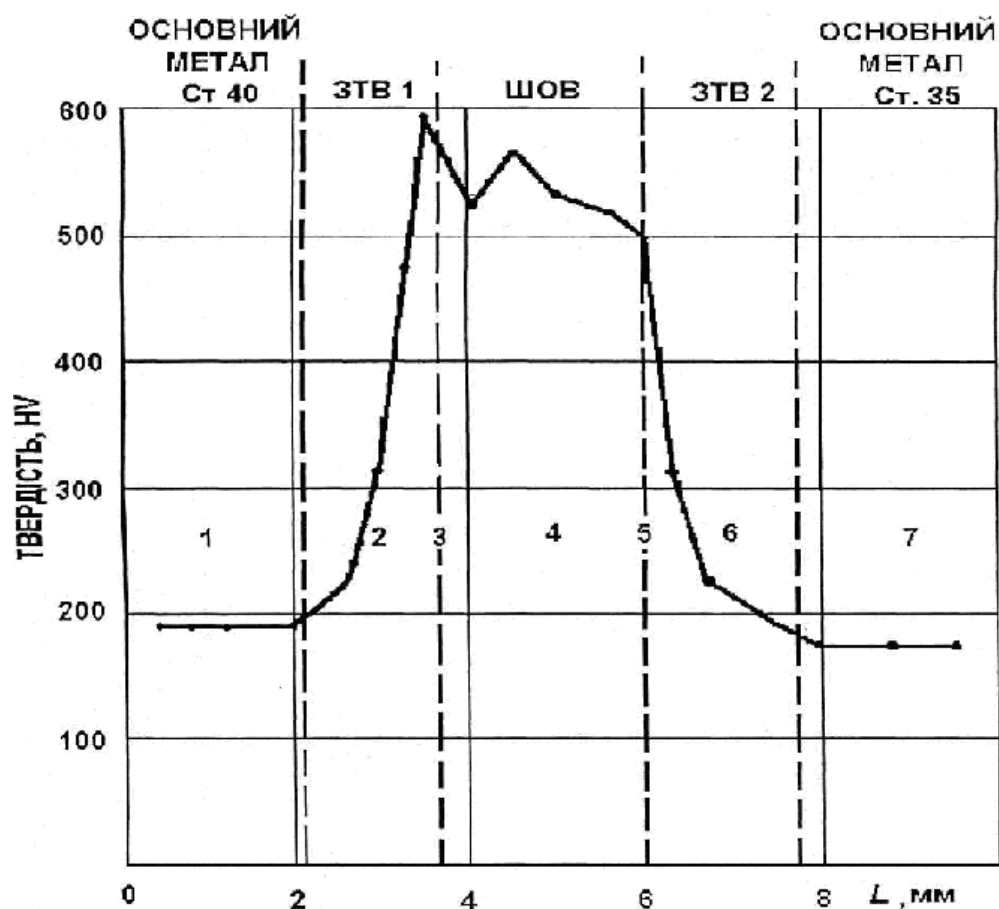


Рисунок 2.9 Результати замірів твердості

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ

Арк.

35

2.4 Оцінка очікуваної структури ЗТВ сталі 40

Структуру ЗТВ можна оцінити по методиці, що запропонована в [9]. Це розрахунково-експериментальний метод прогнозування структури з урахуванням впливу на неї хімічного складу сталі. У основі методу лежить аналіз часу охолодження від критичної точки A_3 до температури початку мартенситного перетворення M_n для випадків, коли в ЗТВ зварювальних з'єднань низьколегованих сталей утворюється структура з 50% мартенситу ($t_{0,5}^M$) і коли в ЗТВ зварювального з'єднання утворюється 5% бейніту і 45% мартенситу, тобто умова практично повного гартування ($\Delta t_{зв}$), з часом охолодження від критичної точки A_3 до температури початку мартенситного перетворення M_n , для заданих режимів зварювання ($\Delta t_{зв}$).

Розрахуємо температуру критичної точки A_3 і температуру початку мартенситного перетворення M_n по формулах, залежно від хімічного складу сталі 40 (див. таблицю 1.2).

$$A_3 = 912 - 370 \times C - 27,4 \times Mn + 27,3 \times Si - 6,35 \times Cr - 32,7 \times Ni + 95,2 \times V + 190 \times Ti + 72 \times Al + 64,5 \times Nb + 5,57 \times W + 332 \times S + 276 \times P - 485 \times N + 16,2 \times C \times Mn - 900 \times B - 32,3 \times C \times Si + 15,4 \times C \times Cr + 48 \times C \times Ni + 4,32 \times Si \times Cr - 17,3 \times Si \times Mo - 18,6 \times Si \times Ni + 1,8 \times Mn \times Ni + 40,5 \times Mo \times V + 174 \times C^2 + 2,46 \times Mn^2 - 6,86 \times Si^2 + 0,322 \times Cr^2 + 9,9 \times Mo^2 + 1,24 \times Ni^2 - 60,2 \times V^2 \quad (2.7)$$

$$M_n = 540 - 492 \times C - 30 \times Mn - 14 \times Cr - 16,2 \times Mo - 22,7 \times Ni + 68 \times V + 215 \times Ti + 270 \times Nb - 9,7 \times Cu + 220 \times P - 4,6 \times N + 11,9 \times C \times Cr + 5,4 \times Mn \times Ni - 4,6 \times C \times Ni + 8,2 \times Cr \times V + 160 \times Cr^2 + 13 \times Si^2 + 0,9 \times Ni^2 - 103 \times V^2 + 0,313 / (C + 0,01) \quad (2.8)$$

де C, Mn, Cr, Mo, Ni, V, Ti, Nb, Cu, P, N, S – вміст елементів в сталі в %, тоді

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$A_3 = 912 - 370 \times 0,37 - 27,4 \times 0,5 + 27,3 \times 0,17 - 6,35 \times 0,25 - 32,7 \times 0,25 + 332 \times 0,04 + 276 \times 0,035 + 16,2 \times 0,37 \times 0,5 - 32,3 \times 0,37 \times 0,17 + 15,4 \times 0,37 \times 0,25 + 48 \times 0,37 \times 0,25 + 4,32 \times 0,17 \times 0,25 - 18,6 \times 0,17 \times 0,25 + 1,8 \times 0,5 \times 0,25 + 174 \times 0,37^2 + 2,46 \times 0,5^2 - 6,86 \times 0,17^2 + 0,322 \times 0,25^2 + 1,24 \times 0,25^2 = 810 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$M_H = 540 - 492 \times 0,37 - 30 \times 0,5 - 14 \times 0,25 - 22,7 \times 0,25 - 9,7 \times 0,25 + 220 \times 0,035 + 11,9 \times 0,37 \times 0,25 + 5,4 \times 0,5 \times 0,25 - 4,6 \times 0,37 \times 0,25 + 160 \times 0,37^2 + 13 \times 0,17^2 + 0,9 \times 0,25^2 + 0,313 / (0,37 + 0,01) = 241 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розрахуємо час охолодження від A_3 до M_H ($\Delta t_{0,5}^M$) в ЗТВ зварного з'єднання з низьколегованих сталей утворюється структура з 50% мартенситу по формулі (2.9):

$$\Delta t_{0,5}^M = (9 \times C)^{1,45} \times 10^n \quad (2.9)$$

де n – коефіцієнт обліку легування,

$$n = 0,48 \times (\text{Si} - 0,3) + 0,73 \times (\text{Mn} - 0,6) + 0,75 \times (\text{Cr} - 0,15) + 0,32 \times (\text{Ni} - 0,15) + 0,63 \times \text{Mo} + 1,14 \times \text{V} ;$$

$(9 \times C)^{1,45}$ – аналогічний час охолодження в секундах для вуглецевих сталей;

C – масова частка вуглецю, %.

У зв'язку з тим, що по ТУ 14-3-460-75 вміст нелегованих елементів в сталях повинен відповідати встановленим межам, то розрахуємо $\Delta t_{0,5}^M$ - для нижньої та верхньої межі легування.

Тоді:

$$n(H) = 0,48 \times (0,17 - 0,3) + 0,73 \times (0,5 - 0,6) + 0,75 \times (0,25 - 0,15) + 0,32 \times (0,25 - 0,15) = -0,0284$$

$$n(B) = 0,48 \times (0,37 - 0,3) + 0,73 \times (0,8 - 0,6) + 0,75 \times (0,25 - 0,15) + 0,32 \times (0,25 - 0,15) = 0,5116$$

Підставимо $n(H)$ і $n(B)$ в (2.9):

$$\Delta t_{0,5}^M (H) = (9 \times 0,37)^{1,45} \times 10^{-0,0284} = 5,36 \text{ с}$$

$$\Delta t_{0,5}^M (B) = (9 \times 0,45)^{1,45} \times 10^{0,5116} = 24,7 \text{ с}$$

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Розраховуємо час охолодження від A_3 до M_n (Δt_3) коли в ЗТВ утворюється 5% бейніту і 45% мартенситу, гартуючих структур

$$\Delta t_3 = (5,5 \times C)^{1,45} \times 10^n \quad (2.10)$$

де n – коефіцієнт обліку легування, який визначається для нижньої і верхньої межі легування

$$n = 0,32 \times (Si - 0,3) + 0,62 \times (Mn - 0,6) + 0,66 \times (Cr - 0,15) + 0,25 \times (Ni - 0,15) + 0,1 \times Mo + 1,08 \times V \quad (2.11)$$

$(5,5 \times C)^{1,45}$ – аналогічне часу охолодження в секундах, для вуглецевих сталей.

Тоді:

$$n(n) = 0,32 \times (0,17 - 0,3) + 0,62 \times (0,5 - 0,6) + 0,66 \times (0,25 - 0,15) + 0,25 \times (0,25 - 0,15) = -0,0126$$

$$n(v) = 0,32 \times (0,37 - 0,3) + 0,62 \times (0,8 - 0,6) + 0,66 \times (0,25 - 0,15) + 0,25 \times (0,25 - 0,15) = 0,0064$$

Підставимо $n(n)$ і $n(v)$ в (2.10):

$$\Delta t_3 (n) = (5,5 \times 0,37)^{1,45} \times 10^{-0,0126} = 2,72 \text{ с}$$

$$\Delta t_3 (v) = (5,5 \times 0,45)^{1,45} \times 10^{0,0064} = 3,8 \text{ с}$$

Розрахунок часу охолодження ЗТВ A_3 до M_n (Δt_{3v}) при заданих режимах зварювання, по формулі

$$\Delta t_{3v} = [q / (4\pi\lambda V)] \times [1 / (M_n - T_0) - 1 / (A_3 - T_0)] \quad (2.12)$$

де q – ефективна теплова потужність, Дж/с;

$$q = I_{zv} \times U_d \times \eta = 0,2 \times 60 \times 10^3 \times 0,45 = 5400 \text{ Дж/с};$$

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Дж/(см · с · К);

$$\lambda = 0,4 \text{ Дж/(см · с · К)};$$

V – швидкість зварювання, см/с; $V = 0,83 \text{ см/с};$

T_0 – початкова температура, °С; $T_0 = 20^\circ\text{С}.$

Тоді:

$$\Delta t_{3v} = [5400 / (4 \times 3,14 \times 0,4 \times 0,83)] \times [1 / (241 - 20) - 1 / (810 - 20)] = 4,2 \text{ с}$$

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

При $\Delta t_{зв} = 4,2 \text{ с}$ в ЗТВ не буде утворюватися гартівна структура, так як $\Delta t_{зв}$ не потрапляє до інтервалу часу Δt_3 , що зображено на рисунку 2.12. Тому при зварюванні не потрібно використовувати попередній підігрів.

Висновок: на підставі проведених випробувань на статеву міцність вилок, було встановлено, що статева міцність вилок зварених електронно-променевим зварюванням значно вища, ніж вилок, зварених тертям. На основі цих досліджень було обрано засіб зварювання.

За результатами розрахунку термічного циклу та розрахунку очікуваної структури ЗТВ сталі 40, підтверджено, що попередній підігрів проводити не потрібно.

У результаті проведення металографічних випробувань визначено, що метал шва має мартенситну структуру. На основі проведених замірів твердості у поперечному перерізі зварного з'єднання робимо висновок, що потрібно робити термічну обробку – гартування з високим відпуском.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 02. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Студент	Загуровський Д.Р.				Розробка технологічного процесу				Літ.	Арк.	Акрушіє		
Керівник	Лебедєв В.О..										40	21	
Конс.	л								ХННІ НУК				
Н. Контр.													
Зав. каф.	Матвієнко М.В.												

3.1 Розробка технологічного процесу складання та зварювання вилки

При зварюванні відхилення осі потоку електронів від стику повинне бути не більше 0,2...0,3 мм. Воно викликає значні труднощі при зварюванні.

Якщо один або обидва зварювані метали є феромагнітними, то внаслідок взаємодії електромагнітних полів з електронним променем він відхиляється від стику. Це призводить до утворення дефектів зварного з'єднання у вигляді непроварів.

Магнітні поля найбільш часто обумовлені залишковою намагніченістю, яка формується при обробці та підготовці до зварювання. Рівень магнітного поля залежить від хімічного складу та структури зварюваних матеріалів. Найбільш небезпечна намагніченість уздовж напрямку зварювання, оскільки промінь у цьому випадку відхиляється перпендикулярно до лінії стику.

При складанні окремих деталей з різним напрямком намагніченості важко передбачити відхилення електронного променя. Воно змінюється залежно від значення індукції в каналі проплавлення та над ним, але, в основному, відбувається за рахунок магнітних полів між виробом та електронною гарматою.

Зі збільшенням товщини зварюваного металу та при зниженні прискорюючої напруги відхилення зростає. Воно суттєво впливає на формування шва при ЕПЗ різнорідних металів.

Тому рекомендується зварювання виконувати в декілька проходів тощо [5].

На якість і властивості з'єднань при ЕПЗ істотно впливає вакуум, що обумовлено низьким парціальним тиском залишкових газів.

Поопераційне нормування технологічного процесу виготовлення вилки карданного валу по запропонованому варіанту приведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Поопераційне нормування технологічного процесу по запропонованому варіанту

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найменування операції	Перелік операції та переходів	Тривалість, хв.
Механічна обробка	1. Взяти литу деталь, встановити її у фрезувальний верстат, фрезувати площу вушок одночасно з двох сторін.	1,70
	2. Свердлити, зенкерувати і розвернути два отвори в вушках до кута 45°.	1,01
	3. Точити деталь згідно ескізу обробки.	0,57
	4. Фрезувати поверхню згідно ескізу.	0,28
	5. Передати на послідуочу операцію.	0,15
Складально-зварювальна	1. Взяти з тари трубу, встановити її у зварювальну камеру.	0,17
	2. Взяти з підвісного конвеєру вилку, встановити її на торець труби, з'єднавши їх за центруючим діаметром.	0,20
	3. Встановити в отвір вушок вилки спеціальний упор, який забезпечує строгу фіксацію зварного шва відносно осі електронного пучка.	0,09
	4. Робочий цикл. Зварювання деталі.	0,72
	5. Розжати зварну деталь та зняти з установки та повісити на конвеєр.	0,14
Контроль якості	1. Взяти деталь з тари, встановити її на місце проведення контролю, вертикально вушками вниз.	0,21
	2. Покрити торець вилки індустріальним мастилом.	0,10
	3. Включити та перевірити дефектоскоп УД2-12.	0,08
	4. Визначити наявність дефектів.	0,76
	5. Якісні деталі передати на послідуочу операцію, а браковані, якщо є, передати у приймач браку.	0,20
Механічна обробка	1. Свердлити, зенкерувати отвір у хвостовику та зняти фаски згідно ескізу.	1,56
	2. Зенкерувати фаску зі сторони вушок.	0,20
	3. Проточити хвостовик та підрізати торець згідно ескізу.	1,32
	4. Протягнути 16 шліц у хвостовику.	2,42
	5. Промити деталь.	0,38

Продовження таблиці 3.1

Найменування операції	Перелік операції та переходів	Тривалість, хв.
Механічна обробка	6. Зенкерувати, свердлити, розточити та комінгувати отвори згідно ескізу.	5,38
	7. Точити хвостовик.	1,24
	8. Нарізати різьбу.	1,36
	9. Фрезерувати площину вушок.	0,96
	10. Центрувати, свердлити, зенкерувати та нарізати різьбу М 10.	0,86
	11. Обрізати хвостовик деталі та зачистити.	0,73
	12. Шліфувати, полірувати зовнішню поверхню хвостовика.	1,99
	13. Визначити величину дисбалансу та висвердлити.	0,77
	14. Нарізати різьбу згідно ескізу.	0,93
	15. Промити деталь.	0,38
	16. Контроль ВТК заключний. Перевірити якість зварювального шва на статеву міцність.	0,86
	17. Здати на склад готової продукції.	0,38
Разом		26,75

Тривалість та трудомісткість операцій за базовим та запропонованим технологічним процесом надано у таблиці 3.2.

Таблиці 3.2 – Тривалість та трудомісткість операцій

Найменування операції	Норми часу, год.		Трудомісткість, н.-год.	
	базовий	запропонований	базовий	запропонований
Складально-зварювальна операція	0,039	0,022	6240	3520
Контроль якості	0,023	0,023	3680	3680
Механічна обробка	0,435	0,420	69600	67200
Всього	0,497	0,465	79520	74400

3.2 Вибір зварювального обладнання

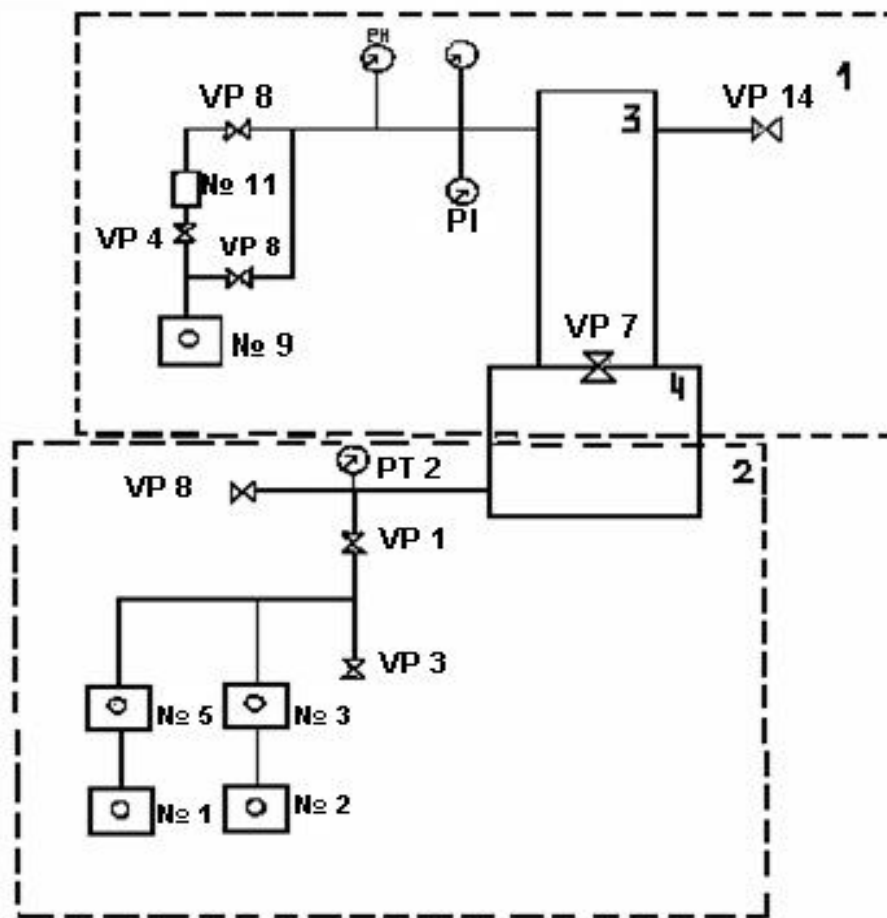
					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Установки для електронно-променевого зварювання деталей середніх розмірів найбільш чисельні та різноманітні. Вони знайшли застосування у ракетній, авіаційній, станкобудівній та автомобільній промисловості. В останній час широке застосування отримали установки тактового типу, у яких час виконання всіх допоміжних операцій зменшено за рахунок зменшення об'єму камер, часу відкачки, також за рахунок виконання зварювання у проміжному вакуумі. Такі установки почали застосовуватись на заводах автомобільної промисловості. Для зварювання вилки карданного валу обираємо установку типу УВЛ-6004 [10].

Установка оснащена роз'ємною камерою. Одна частина камери встановлюється на станіні та постачається по роз'ємним вакуумним ущільненням. Інша частина, яка несе гніздо для закріплення виробу, має можливість рухатись відносно нерухомої частини, що забезпечує зручність перезавантаження зварюваних виробів та доступ до механізмів переміщення. Сполучення пучка зі зварювальним стиком досягається завдяки точності виготовлення та монтажу механізмів переміщення виробу і стабільності положення пучка. Спостереження ведеться візуально через смотрові вікна у камері. Швидкість процесу зварювання виключає можливість коректування положення пучка. Система управління повністю автоматизована. У розпорядженні оператора тільки пускова кнопка та кнопка аварійного припинення.

Вакуумна система установки складається із вакуумної системи електронної гармати та вакуумної системи робочої зварювальної камери. Вакуумна система електронної гармати конструктивно складається із механічного насоса типу 2НВР-5ДМ, високо вакуумного насоса Н-160, трубопроводів, клапанів та систем вимірювання низького та високого вакууму.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 - вакуумна схема електронно-променевої гармати; 2-вакуумна система робочої камери; 3 - електронно-променева гармата; 4 - робоча зварювальна камера

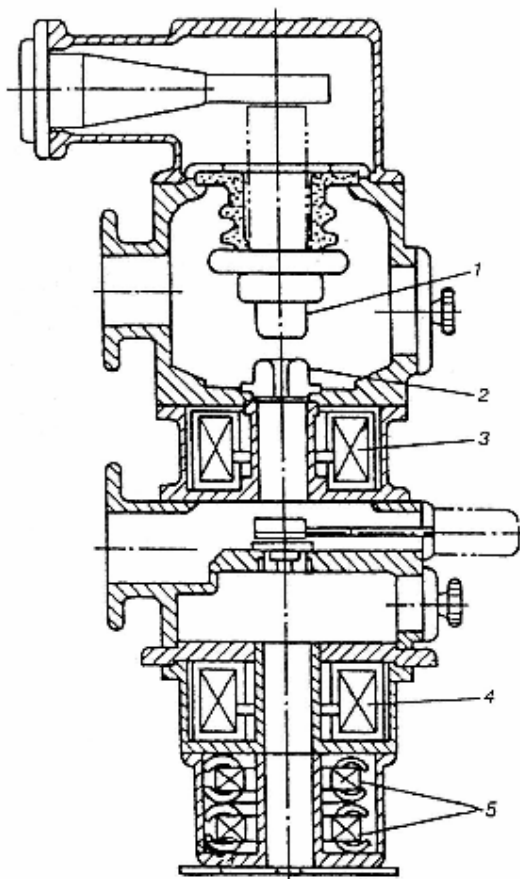
Рисунок 3.1 Вакуумна схема установки УВЛ-6004

Вакуумна система робочої камери складається із двох вакуумних агрегатів типу АВР-150. Агрегати АВР-150 додатково укомплектовані маслоповертателями. Усі вакуумні комутаційні елементи установки оснащені пневмоприводом з електричним управлінням.

Електронно-променева гармата (рис 3.2) представляє собою спеціальний пристрій, який формує в вакуумі джерело нагріву – електронний промінь.

Найнадійнішими типами електронно-променевого устаткування (гармати і джерела живлення) є ЭЛА – 15 і ЭЛА – 60/60 [7].

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



1 – катодний вузол; 2 – анод; 3,4 – фокусуючі лінзи; 5 – обмотки, що забезпечують відхилення електронного променя

Рисунок 3.2 Схема типової зварювальної електронно-променевої гармати

Електронно-променеві гармати мають диференціальне відкачування зони катод-анод турбомолекулярними насосами. Це виключає електричні пробіи гармат навіть при підвищеному тиску в зварювальних камерах (до 0,55 Па). Джерела живлення гармат містять потужний регулюючий пентод ПП-2, що забезпечує стабілізацію прискорюючої напруги і захист процесу зварювання при випадкових пробоях гармат. Енергетичний блок конструктивно виготовлено у вигляді стійки керування, шафи силової з комутаційною захисною апаратурою, обмежувача струму, блоку регулюючої лампи, високовольтних кабелів,

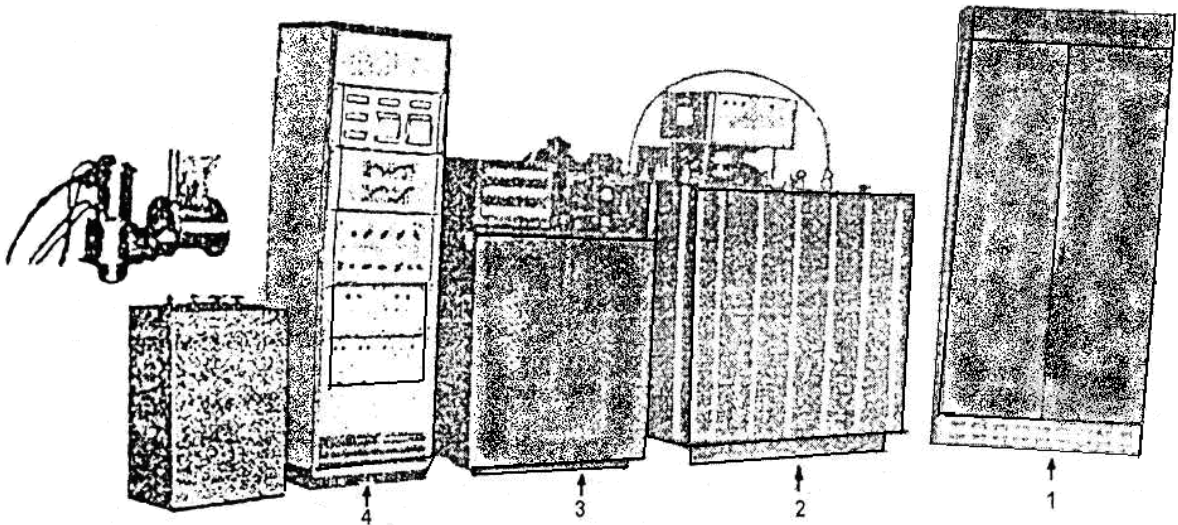
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.

Арк.

46

силових кабелів та кабелів керування. Загальний вигляд енергоблоку представлено на рисунку 3.3.



1 – шафа пускозахистної апаратури; 2 – силове джерело живлення;
3 – блок регулюючої лампи; 4 – шафа керування

Рисунок 3.3 Загальний вигляд енергоблоку

Система керування конструктивно оформлена у вигляді шафи керування (ШК) мікро ЕВМ. На лицьовій панелі ШК розміщені: пневмо- схема, яка показує стан вакуумної системи установки та енергоблоку, блок кнопок, які задають режим роботи установки. На боковому стенді розташовано силовий автомат, який подає живлення до шафи.

Система захисту та комутації конструктивно виконана у вигляді шафи керування (ШК2). На зворотній стороні шафи розташовано силовий автоматичний вимикач, який подає живлення до ШК2. У середині ШК2 розташовані автоматичні вимикачі, які здійснюють захист силових цепів, пускачі та реле, комутуючі навантаження, блок приводу, двигун обертання деталей. Технічні параметри установки наведені у таблиці 3.3

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Технічні параметри установки

Найменування параметру	Норма
Максимальний струм променя, мА	250
Прискорювальна напруга, кВ	60
Номінальна лінійна напруга живильної 3-х фазної мережі, В	380
Номінальна частота поживної мережі, Гц	50
Споживча потужність, не більше, кВт	40
Продуктивність установки, дет/год	56
Діапазон швидкості обертів деталі, об/хв.	0,1-10
Діаметр зварювальної камери, мм	320
Висота робочої зварювальної камери, мм	270
Максимальний діаметр зварного шва, мм	260
Мінімальний діаметр зварного шва, мм	40
Середній ресурс роботи катоду, не менше, год.	13
Час заміни катоду, не більше, год.	0,5
Час відкачки робочої зварювальної камери на робочий режим,с	20
Тиск у робочій зварювальній камері, не більш, Па	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Тиск у електронно-променевої гарматі, не більш, Па	$1,3 \cdot 10^{-2}$ ($1 \cdot 10^{-4}$)
Тиск стиснутого повітря, МПа	0,4...0,6
Тиск охолоджувальної води, МПа	0,25...0,35
Витрати охолоджувальної води, м ³ /год	6,0
Витрати стиснутого повітря, м ³ /год	5,0
Повний середній термін служби при роботі у 2 зміни, років	5
Коефіцієнт готовності	0,9
Робота до відмови, год.	100
Середній ресурс до капремонту, не менше, год.	5000
Маса, не більше, кг	14500
Габарити, не більше, мм у плані висота	5000×5000 3000

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.3 Діагностика електронного променю, вибір матеріалу катоду

Довгостроковість катоду зварювальної гармати, працюючого у надзвичайно тяжких умовах, визначається по-перше можливістю формування пучка з максимальним струмом, який перетворює робочий струм і з збереженням з точністю до $\pm 1\%$ вихідного положення площі фокусування пучка та симетрії пучка.

Дисковий катод закріплюють у молібденовий катодотримач. Випаровування металів при зварюванні призводить до охолодження катоду та до виникнення на катоді поглиблень, які порушують вихідну геометрію поверхні, що імітує електрони, внаслідок чого змінюються оптимальні умови фокусування електронного пучка.

Недостатньо високий вакуум у порожнині гармати у процесі зварювання призводить до інтенсивного руйнування поверхні катодів іонним бомбардуванням.

При визначенні терміну експлуатації катоду виходять зі швидкості випаровування його матеріалу. Термін експлуатації прямонакальних катодів визначається часом випарування десяти відсотків поперечного перерізу.

На практиці термін експлуатації прямоканалних катодів, виготовлених з танталової стрічки при середній щільності струму складає менше одного часу.

Таке розходження пояснюється тим, що руйнування катоду викликано не випаровуванням, а окисленням.

Тому прямонаканалні катоди раціонально застосовувати у апаратурі з густиною струму $(1...2) \cdot 10^4$ А/мм² або з невеликими циклами роботи [5].

Емісійна спроможність на швидкість випаровування катодів з різних матеріалів при різних робочих температурах надано у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики термокатодів зварювальних гармат

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип катоду	Температура нагріву, °K	Електронна емісія, А/м ²	Швидкість випаровування, кг/м ² · с
Вольфрамовий	2400	$1,2 \cdot 10^3$	$2,03 \cdot 10^{-8}$ - $1,12 \cdot 10^{-7}$
	2500	$3 \cdot 10^3$	
	2600	$7 \cdot 10^3$	
	2700	$1,6 \cdot 10^3$	
Танталовий	2300	$2,5 \cdot 10^3$	$3,04 \cdot 10^{-8}$ - $5,54 \cdot 10^{-6}$
	2400	$6,5 \cdot 10^3$	
	2500	$1,4 \cdot 10^4$	
Лантаноборидний	1700	$1,0 \cdot 10^4$	$5,10 \cdot 10^{-7}$ – $8 \cdot 10^{-6}$
	1800	$3 \cdot 10^4$	
	1900	$8,5 \cdot 10^4$	
	2000	$2,52 \cdot 10^5$	

У числі головних переваг лантаноборидного катоду на ряду зі стійкістю проти окислення та іонним бомбардуванням слід виділити також збереження емісійних властивостей при довгому перебуванні в активному стані на повітрі. Лантаноборидний катод характеризується незначними витратами потужності на розігрівання, що сприяє меншим температурним деформуванням катодного вузла.

Недоліком цього катоду є його спроможність впливу парів зварювальних матеріалів.

У наслідок іонного бомбардування у центрі катода утворюється поглиблення, яке за 10...20 годин безперервної роботи може проникнути на всю товщу катоду. Експериментально встановлено, що об'єм іонного кратеру для танталового катоду при $p = 1 \cdot 10^{-2}$ Па та $U_{np} = 30$ кВ розраховується за формулою (3.1).

$$V = 7.6 \cdot 10^{-5} \cdot I_n \cdot t, \text{ мм}^3 \quad (3.1)$$

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_n – струм пучка, мА;

t – час роботи, час.

Для лантанборидного катоду:

$$V = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot I_n \cdot t \quad (3.2)$$

Таким чином кратер по об'єму в лантанборидному катоді утворюється у п'ять разів менший ніж в танталовому, що ймовірно пов'язане із значною різницею густини цих матеріалів ($P_{LaB} = 4.76 \cdot 10^3$, $P_{Ta} = 16.6 \cdot 10^3$ кг/м³).

Масивні металеві термокатоди із вольфраму забезпечують більш високу прохідність струму пучка, та як значно менше випарується.

До недоліків металевих катодів у порівнянні з лантанборидними належать:

- менша густина енергії у поперечному перерізі пучка через високі теплові швидкості електронів;
- деякі ускладнення конструкції катодного вузла, зв'язаного з необхідністю влучити дифузійне спікання.

Із перелічених недоліків та переваг різних видів термокатодів найбільш оптимальним за ціною та характеристиками (табл. 3.5) для зварювання вилки карданного валу підходить катод із гексабориду лантану.

Таблиця 3.5 – Експлуатаційні характеристики катодів із гексабориду лантану

Спосіб виготовлення	Число випробуваних катодів, шт.	Зменшення струму пучка за годину роботи, %	Помилка у визначенні, %	
			Для одного катоду	Середня для партії
Гаряче пресування	9	14	2	0,6
Те саме з подальшим облогом	8	4,6	1,7	0,6
Індукційна плавка	8	3,7	1,4	0,5

Основні технічні параметри обраного термокатоду наведені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні параметри катоду із гексабориду лантану

Тип катоду	Спосіб виготовлення	Умови праці			Діаметр, мм	Товщина, мм	Глибина вироблення за 40 годин роботи, мм	Стабільність положення фокусування пучка, %
		Вакуум, Па	U _п , кВ	I _{пучка} , мА				
LaB ₆	Індукційна плавка	2,66 10 ⁻³	60	250	4,7	1,3	0,08-0,1	±2

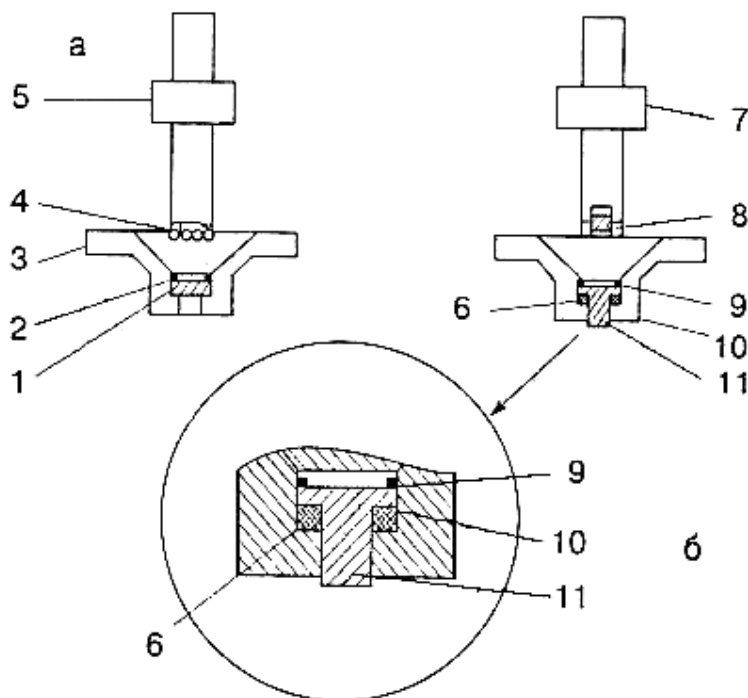
Катод підлягає заміні після вироблення його поверхні на глибину до 0,3мм. Термін експлуатації складає 100...120 годин.

При виборі матеріалів був зроблений огляд матеріалів по конструкції катодних вузлів електронної гармати. Достатньо цікавими є матеріали представлені в статті Лободи П.І. „Нові катодні вузли для електронно-променевих установок технологічного призначення” [11].

Виявилося, що дисковий катод звичайно закріплюють в молібденовий катодотримач, і це приводить до порушення однорідності електричного поля на виступах катодотримача над поверхнею катода, що імітує, збільшенню розкиду значень швидкості руху емітованих катодом електронів і відповідно до погіршення фокусування електронного пучка. Крім того, через низьку температуру початку активної взаємодії матеріалу борідного катода з молібденовим катодотримачем різко зменшується термін експлуатації як катодотримача, так і катода.

Враховуючи те, що ніяка фокусуюча система не може підвищити яскравість більше за ту, що відповідає поверхні, яка емітує, очевидно, що тільки підвищена чистота матеріалу катода і нова конструкція катодного вузла можуть

поліпшити просторово-енергетичні характеристики електронних пучків в установках технічного призначення.



1,11 – відповідно дисковий та новий Т-образний катод із монокристалічного гексабориду лантану; 2,8 – нагрівачі катоду у вигляді відповідно вольфрамової спіралі і монокристалічного гексаборидлантанового катоду; 3,10 – катодотримач відповідно з молібдену і дибориду титану або молібдену; 4,7 – елемент нагрівача; 5,9 – відповідно стопорне кільце з вольфраму і спеціального порошкового матеріалу; 6 – кільцева прокладка.

Рисунок 3.4 Схема старої (а) та нової (б) конструкції катодного вузла електронної гармати

Для того, щоб уникнути викривлення еквіпотенціальних ліній в електронно-променевій гарматі, розроблені новий катод Т-образної форми з монокристалічного гексаборида лантану підвищеної чистоти і новий катодний вузол (рис. 3.4). Поверхня емітуючої частини нового катода не оточена

катодотримачем і не контактує з ним. Катод кріплять в керамічному катодотримачі через кільце з діборідтитанового або молібденового дроту діаметром 0,1 - 0,15 мм. Катодотримач також виконує роль теплового екрану.

Експериментально доведено, що в реальних умовах роботи Т-образних катодів частка теплоти, яка відводиться від поверхні катодів унаслідок випромінювання і відбору електронів, збільшується у міру зростання їх діаметру, але не перевищує 50% загальної потужності, яка витрачається на нагрів катода до робочої температури. Інші 50% теплоти відводяться від катода кондуктивно через катодатримач .

Досліджені також характеристики нового катодного вузла. Доведено, що найбільша густина електронної емісії досягається при якнайменшому діаметрі нового катода з дослідженого діапазону 1,5-3,5 мм (рис.3.5). Навіть при мінімальних потужностях нагріву (20-25 Вт) новий катод працює в режимі обмеження сили струму пучка просторовим зарядом електронів (рис. 3.6).

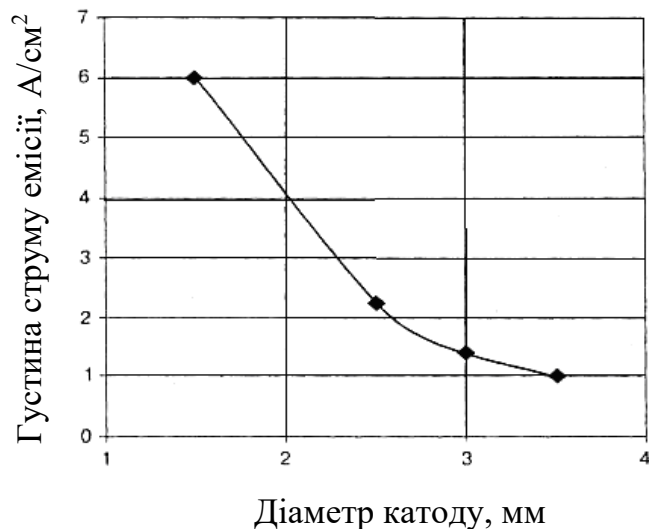


Рисунок 3.5 Залежність густини струму емісії від діаметру робочої частини Т-образного катода з монокристалічного гексаборида лантану
($I=100$ мА, $U=60$ кВ)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.

Арк.

54



Рисунок 3.6 Накальні характеристики електронної гармати з дисковим (верхня крива) і Т-образним (інші) катодом з монокристалічного гексабориду лантану (прискорююча напруга в діапазоні 15...30 кВ)

У нових катодних вузлах зменшені більш ніж удвічі втрати теплоти, яка відводиться від катода теплопровідністю, що зменшує теплові навантаження на конструктивні елементи електронної гармати, знижує потужність джерела живлення, необхідну для оптимального нагріву катода і істотно продовжує термін служби катода. Термін експлуатації нових Т-образних катодів перевищує в 2...4 рази термін служби дискових катодів, виготовлених з монокристалів з підвищеним вмістом домішок, які використовують звичайно у виробничій практиці [11].

У більшості промислових установок для електронно-променевого зварювання відтворення швів забезпечується за рахунок контролю основних параметрів процесу: струму променя, струму магнітної фокусуючої лінзи, робочого проміжку „гармата-виріб”, прискорюючої напруги, швидкості

зварювання. Про працездатність катоду судять за сумарним часом його роботи. Але перед зварюванням не контролюються просторо-енергетичні параметри променю (положення фокусу відносно поверхні виробу мінімальний діаметр, максимальна щільність струму та її розподіл у промені).

Структура променю, контур та положення фокусу встановлюється за допомогою датчику радіально розташованими щілинами або як у системі діагностики променю DIABEAM, пластини з отвором малого діаметру (0,1мм). Щоб за допомогою цих систем визначити форму променю в повздовжньому напрямку потрібно переміщувати датчик повздовж вісі пучка, що ускладнює роботу оператора.

В ІЕЗ ім. Е.О. Патона НАНУ з урахуванням потреб виробництва була розроблена комп'ютеризована система діагностики електронного променю, яка використовується при комплектації сучасних електронно-променевих зварювальних установок з потужністю пучка до 100 кВт. Система оснащена екраном-інтерфейсом, який полегшує її використання.

Пристрій діагностики розташовано у спеціально відведеному місці зварювальної камери (в стороні від зварювального виробу). Перед початком роботи електронна гармата переміщується в положення вище датчика і мішені. Діагностику променю проводять методом „краю пластини”. Електронний промінь відхилено більшу частину часу на мішень і лише 3 рази у секунду – у протилежному напрямку(на датчик). При цьому промінь перетинає край датчику, який з'єднано з „землею” через опір утіки. В цепі датчику протікає імпульс струму, по крутизні фронту нарощення якого розраховується розподіл щільності напруження у поперечному перерізі променю. Імпульс нормується погоджувальним посилювачем та далі передається у комп'ютер через швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач.

Заміри проводяться при зміні напруги фокусуючої лінзи. В результаті комп'ютерної обробки отриманих даних розраховується просторовий розподіл потужності в промені, положення фокусу, мінімальний радіус у т.п. Відповідні

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахунки виконуються при допущенні, що електронний промінь має осьову симетрію, повністю справедливих для зварювальних гармат, які використовують шайбові або стержневі катоди з круговою симетрією. Якщо в електронній гарматі використовується катод, виготовлений із проволочки або стрічки, то осьова симетрія може порушатися, а чіткість замірів буде знижено.

Оператор-зварник, дивлячись на зображення, перш за все бачить як відносно поверхні та товщини виробу розташовано фокус променю, зона його найбільшої густини потужності (найбільш „гаряче місце”) при заданому струмі фокусуючої лінзи, яким чином потрібно змінювати фокусування, щоб розташувати мінімальний переріз променю на потрібний рівень відносно поверхні виробу.

На зображенні променю надано такі розміри: по горизонтальній вісі вказано відстань від нижнього торця електронної гармати в мм, а по вертикальній – радіус променю в мм.

В інформаційних строках відображено величини, які задані оператором: струм фокусуючої лінзи, струм променю, робоча відстань від торця гармати до поверхні виробу і товщина виробу. Тут же приводяться величини, які розраховуються системою діагностики променю: відстань від торця гармати до фокусу променю, ефективний мінімальний радіус променю в фокусі, максимальна густина струму, кут сходження променю.

Весь процес діагностики пучка займає близько 1 хвилини, його результатом є зображення на екрані дисплея подовжніх перетинів пучка: вгорі - початкового (для нового катода) і внизу - в даний момент часу. У випадку, якщо в пучку електронів, зважаючи на знос катода змінилося положення фокусу або зменшилася питома густина енергії, система діагностики зажадає у оператора заміну зношеного катода новим. Технічна характеристика системи діагностики електронного променю наведено у табл. 3.7.

У кожній промисловій установці для електронно-променевого зварювання висновок про збереження працездатності гармати або про необхідність заміни катода визначається технологічними умовами на електронно-променеве

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювання окремого виробу. У технологічній карті повинно бути вказано допустимі відхилення положення фокусу променя, мінімального радіусу променя, кута сходження, щільності струму. У разі недопустимого великого відхилення будь-якого параметру променя системою діагностики видається висновок про поганий стан катоду гармати та необхідності його заміни.

Таблиця 3.7 – Технічна характеристика системи діагностики електронного променя

Найменування параметру	Норма
Амплітуда імпульсу струму відхилення, А	5
Частота відхиляючих імпульсів, Гц	3
Тривалість імпульсу відхилення, мкс	30...50
Відстань від датчику до осі відхиляючого променя, мм	20
Середня відстань від нижнього торця гармати до датчика, мм	150
Середня швидкість руху променя відносно датчика, м/с	1000
Частота перетворення аналого-цифрового перетворювача, МГц	40
Точність перетворення, розряд	8
Діапазон потужності пучків, які досліджуються, кВт	1...100
Точність визначення положення фокусу пучка, %	0,5...0,7

Таким чином, система діагностики є автономним програмно-апаратним комплексом, виконаним на базі промислового або персонального комп'ютера. Вбудовування його в будь-яку комп'ютеризовану зварювальну установку не складає труднощів [12].

3.4 Методи контролю якості

Проблема забезпечення максимального рівня якості продукції постає все частіше. Від якості з'єднань залежить працездатність зварних виробів та

конструкцій, а також їх небезпечність у процесі експлуатації для людей та навколишнього середовища.

Існуючий рівень технології та зварного обладнання не можуть гарантувати повну відсутність дефекту у зварних з'єднаннях. Для запобігання дефектів у швах та забезпечення їх високої якості слід проводити поопераційний контроль. При цьому контроль операції поділяють на три етапи:

1. Попередній контроль перед зварюванням. Він включає перевірку матеріалів, які застосовуються при виготовленні вилки, перевірку зварювального обладнання, оснастки, кваліфікації зварника.
2. Контроль у процесі виготовлення. Він включає перевірку розмірів зварного шва, дотримання режимів зварювання.
3. Контроль готової продукції – раціональне використання існуючих методів та засобів контролю.

Внутрішні дефекти швів представляють найбільшу небезпеку для зварних виробів. Знайти ці дефекти та визначити ступінь їх впливу на міцність шва є головною задачею контролю зварних з'єднань.

Якість зварного шва, у нашому випадку, контролюється двома способами:

1. Візуально. При цьому шов повинен мати спокійну, рівномірно-лускову форму, не мати підрізів та провалів шва завдовжки більше 1 мм.
2. Ультразвуковий метод контролю. При цьому методі знаходженню підлягають внутрішні дефекти.

Ультразвуковий контроль полягає у спроможності ультразвукових хвиль проникати у метал на велику глибину та відбиватися від дефектних ділянок, які там знаходяться. У процесі контролю пучок ультразвукових коливань від вібруючої пластинки - щупа (п'єзокристала) вводиться у шов. При зустрічі з дефектною ділянкою ультразвукова хвиля відбивається від нього та уловлюється іншою пластинкою – щупом, яка перетворює ультразвукові коливання у електричний сигнал. Ці коливання після їх посилення передаються на екран електронно-променевої трубки дефектоскопу, які свідчать о наявності дефектів. За

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

характером імпульсів судять о протязі дефектів та глибині залягання.

Ультразвуковий контроль має наступні переваги: висока чутливість, яка дозволяє знайти, виміряти та визначити місце знаходження дефектів площею 1...2 мм²; велика проникна спроможність ультразвукових хвиль, що дозволяє контролювати деталі великої товщини; можливість контролю зварних з'єднань з одностороннім підходом; висока продуктивність та відсутність громіздкого обладнання.

Контроль якості швів вилок здійснює спеціальний пост ультразвукового контролю.

Перед початком контролю необхідно підключити у мережу ультразвуковий дефектоскоп DIO 1000 PA [13].

Висновок: у цьому розділі було розглянуто технологічний процес виготовлення вилки. Зварювання запропоновано виконувати на установці УВЛ-6004, яка складається із робочого столу, зварювальної камери та електронно-променевої гармати. При виборі матеріалів був зроблений огляд матеріалів по конструкції катодних вузлів електронної гармати. Для електронно-променевої гармати обирають термокатод із LaB₆, який має переваги у порівнянні з металевими катодами. Було розглянуто систему діагностики електронного променю, яка при вставленні в гармату для електронно-променевого зварювання не викликає перешкод. Та в результаті встановлення цієї системи ми маємо можливість контролювати параметри режиму зварювання. Ультразвуковий контроль якості виконується на дефектоскопі DIO 1000 PA.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 03. ПЗ.	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДП.131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці				Літ.	Арк.	Акрушів		
Студент	Згуровський Д.Р												
Керівник	Лебедев В.О.											61	14
Конс.	Лебедев В.О.								ХННІ НУК				
Н. Контр.													
Зав. каф.	Матвієнко М.В.												

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів на ділянці виготовлення вилки карданного валу та заходи їх подолання

При зварюванні вилки можуть мати місце такі небезпечні та шкідливі фактори:

- ураження електричним струмом;
- рентгенівське та світлове випромінювання променю зварювальної гармати;
- наявність у повітрі шкідливих суміші, пилу;
- шум та вібрація;
- пожежна безпека;
- слабе освітлення робочого місця;
- відхилення параметрів мікроклімату від нормативних вимог.

4.1.1 Електробезпека

Широке використання електроенергії зумовлює розширення кола осіб, котрі експлуатують електрообладнання. Тому проблема електробезпеки при експлуатації електрообладнання набуває особливого значення.

Електротравма - це травма, викликана дією електричного струму або електричної дуги. Електротравми поділяються на два види: електротравми, котрі виникають при проходженні струму через тіло людини, і електротравми, поява котрих не пов'язана з проходженням струму через тіло людини. Ураження людини в другому випадку пов'язується з опіками, засліпленням електричною дугою, падінням, а відтак — суттєвими механічними ушкодженнями. Існує також поняття „електротравматизм”.

Електротравматизм — це явище, котре характеризується сукупністю електротравм, котрі виникають та повторюються в аналогічних виробничих, побутових умовах та ситуаціях [15].

Основними правилами безпечної експлуатації електрообладнання є ДНАОП 0.00 - 1.21-84. „Правила технічної експлуатації електроустановок

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

споживачів”. Згідно йому безпека роботи досягається при таких умовах:

- 1 - виправному стані всіх електричних блокувань.
- 2 - надійного захисного заземлення корпусів всіх блоків апаратури.
- 3 - вправному стані електронної пушки та зварювальної камери.

До експлуатації і технічного обслуговування апаратури споживач зобов'язаний допускати осіб, що пройшли відповідну підготовку, знаючих правила техніки безпеки при роботі з апаратурою.

Небезпечним для життя осіб, що експлуатують і обслуговуючих апаратуру, є мережива трифазна напруга 380 В, прискорююча напруга 60 кВ.

Заходи безпеки при роботі і обслуговуванні апаратури відповідно до ПУЕ-84:

- обов'язкове заземлення всіх блоків апаратури за допомогою кабелів заземлення, якими комплектується апаратура;
- місця підключення заземлення повинні бути позначені знаками;
- величина опору контура заземлення не повинна перевищувати 4Ом;
- перетин контура заземлення повинен бути не менше 80мм² [16].

На вузлах і блоках апаратури, де є висока напруга, нанесені попереджувальні знаки високої напруги.

Робоче місце і територія, на якій розміщується апаратура, повинні бути чистими і не мати сторонніх предметів і устаткування.

Обслуговування і ремонт апаратури повинні проводитися при відключеній мережі. При цьому на рубильнику, що відключає мережу повинен вивішуватися попереджувальний плакат: „Не включати, працюють люди!”.

Щоб уникнути включення прискорюючої напруги сторонніми особами, ключ від замку включення прискорюючої напруги повинен бути вийнятий.

Катод зварювальної гармати працює у надзвичайно тяжких умовах, тому підлягає заміні після виробітки його поверхні. При розкритті гармати, перш ніж торкнутися руками до катодного вузла, необхідно розрядити місткість

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

високовольтного кабелю шляхом з'єднання венельта і катодного вузла з корпусом гармати.

При роботі з установкою УВЛ-6004 персонал повинен мати засоби індивідуального захисту: спецодяг, спецвзуття, тканинні рукавиці.

4.1.2 Регулювання параметрів мікроклімату

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючою на організм людини сукупністю температури, вологості, руху повітря та теплового випромінювання нагрітих поверхонь.

Параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та його працездатність.

Вплив температури повітря на середню продуктивність праці характеризується надано графічно на рисунку 4.1.

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні виробничих приміщень для різних категорій важкості робіт в теплий та холодний періоди наведені в таблиці 4.1.

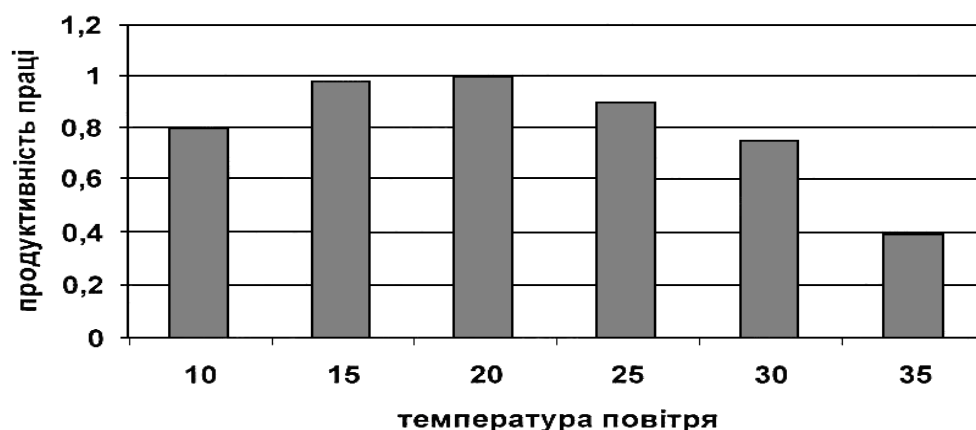


Рисунок 4.1 Вплив температури повітря на продуктивність праці

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.

Арк.

64

Створити оптимальні метеорологічні умови на дільниці можна наступними заходами та засобами:

- удосконалення технологічних процесів та устаткування;
- раціональне розміщення технологічного устаткування;
- раціональна вентиляція, опалення та кондиціювання повітря;
- раціоналізація режимів праці та відпочинку;
- застосування теплоізоляції устаткування та захисних екранів;
- використання засобів індивідуального захисту.

Раціональна вентиляція є найбільш розповсюдженим способом нормалізації мікроклімату у виробничих приміщеннях.

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції: — вилучити із приміщення забруднене або нагріте повітря та подати свіже.

Вентиляція класифікується за такими ознаками:

- за способом переміщення повітря — природна, штучна (механічна) та суміщена (природна та штучна одночасно):

Таблиця 4.1 – Оптимальні метеорологічні умови

Період року	Категорія робіт	Температура, °С					Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		оптимальна на	допустима				оптимальна	допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більше ніж	оптимальна, не більше ніж	допустима на робочих місцях постійних і непостійних *
			верхня межа		нижня межа					
			на робочих місцях							
			постійних	непостійних	постійних	непостійних				
	Легка - Ia	22 – 24	25	26	21	18	40–60	75	0,1	Не більш ніж 0,1

Холодний	Легка - Іб	21 – 23	24	25	20	17	40–60	75	0,1	Не більш ніж 0,2
	Середньої важкості - Па	18 – 20	23	24	17	15	40–60	75	0,2	Не більш ніж 0,3
	Середньої важкості - Іб	17 – 19	21	23	15	13	40–60	75	0,2	Не більш ніж 0,4
	Важка - ІІІ	16 – 18	19	20	13	12	40–60	75	0,3	Не більш ніж 0,5
Теплий	Легка - Іа	23 – 25	28	30	22	20	40–60	55(при 28°C)	0,1	0,1–0,2
	Легка - Іб	22 – 24	28	30	21	19	40–60	60(при 27°C)	0,2	0,1–0,3
	Середньої важкості - Па	21 – 23	27	29	18	17	40–60	65(при 26°C)	0,3	0,2–0,4
	Середньої важкості - Іа	20 – 22	27	29	16	15	40–60	70(при 25°C)	0,3	0,2–0,5
	Важка – ІІІ	18 – 20	26	28	15	13	40–60	75(при 24°C)	0,4	0,2–0,6

* Велика швидкість руху повітря у теплий період року відповідає максимальній температурі повітря, менша – мінімальній температурі повітря. Для середніх величин температури повітря швидкість його руху дозволяється визначити інтерполяцією; при мінімальній температурі повітря швидкість його руху може братися також нижче 0,1 м/с – при легкій роботі і нижче 0,2 м/с – при роботі середньої важкості та важкій.

- за напрямком потоку повітря — припливна, витяжна, припливно-витяжна;

- за місцем дії - загально-обмінна, місцева, комбінована.

Наявність пилу та газів, які виділяються при електронно-променевому зварюванні негативно впливає на здоров'я людей, працюючих на дільниці.

Приміщення, у яких проходить електронно-променеве зварювання оснащені припливно-витяжною вентиляцією не менш ніж з трьохкратним обміном.

4.1.3 Іонізуюче випромінювання

Джерелами іонізуючих випромінювань в промисловості є установки рентгеноструктурного аналізу, високовольтні електровакуумні системи, радіаційні

дефектоскопи, товщиноміри, густиноміри та ін.

Ступінь біологічного впливу іонізуючого випромінювання залежить від поглинання живою тканиною енергії та іонізації молекул, що виникає при цьому.

Під час іонізації в організмі виникає збудження молекул клітин. Це зумовлює розрив молекулярних зв'язків та утворення нових хімічних зв'язків, невластивих здоровій тканині. Під впливом іонізуючого випромінювання в організмі порушуються функції кровотворних органів, зростає крихкість та проникність судин, знижується опірність організму.

Допустимі норми іонізуючого випромінювання регламентовані „Нормами радиационной безопасности НРБ 76/87” та „Основными санитарными правилами работы с радиационными веществами и другими источниками ионизированного излучения ОСП 72/87”.

В електронно променевій установці небезпечним є рентгенівське випромінювання. Після монтажу і наладки апаратури, при заміні вузлів, розбиранні гармати або робочої камери, а також не рідше одного разу на рік, повинне проводитися вимірювання дози рентгенівського випромінювання, яка при максимальному струмі зварювання не повинна перевищувати 0,08 мкР/с на відстані не більш 5 см від захисної поверхні.

При випробуваннях і при роботі з гарматою дивитися на місце плавлення необхідно тільки через спеціальне захисне скло.

4.1.4 Шум та вібрація

При виробничих роботах на дільниці виникають шуми, вібрація шкідливі для людини.

Шум - будь-який небажаний звук, котрий заважає. Виробничим шумом називають шум на робочих місцях, на дільницях або на території підприємств, котрий виникає під час виробничого процесу [17]. Джерелом шуму на дільниці є:

- трансформатори струму та потужності;

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

- двигуні частини механічного устаткування;
- частини конвеєру, що рухаються.

Допустима норма рівня шуму в діапазоні частот 63...8000 Гц не повинно перевищувати 74...99 дБ.

Основні методи боротьби із шумом:

- застосування звукопоглинаючих приладів;
- застосування звукоізолюючих матеріалів;
- використання індивідуальних засобів захисту;
- більш широко застосовувати змазування поверхонь, які труться.

Вібрація серед всіх видів механічних впливів для технічних об'єктів найбільш небезпечна. Вібрація викликає порушення фізіологічного та функціонального станів людини. При роботі для динамічного погашення вібрації застосовують віброізоляцію. Для індивідуального захисту застосовують рукавиці, віброзахисні прокладки або пластини спецвзуття. Ступінь середньої вібрації дорівнює 99...120 дБ.

4.1.5 Пожежна безпека

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Закон України „Про пожежну безпеку”, та інші закони України, постанови Верховної Ради України, укази та розпорядження Президента України, дикрети, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті в межах їх компетенції. Забезпечуючи пожежну безпеку слід також керуватись Правилами пожежної безпеки в Україні, стандартами, будівельними нормами. Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), нормами технологічного проектування та іншими нормативними актами, виходячи із сфери їх дії, які регламентують вимоги пожежної безпеки.

Основним нормативним документом, що регламентує вимоги щодо

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

пожежної безпеки є Закон України „Про пожежну безпеку”, прийнятий 17 грудня 1993 року. Цей Закон визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Потреби у протипожежному обладнанні та первинних заходів гасіння пожежі регламентовані НАОП 1.4.-1.01-85 „Правила пожежної безпеки”. Для електрозварювальних цехів розраховані норми протипожежного обладнання на одиницю площі дільниці.

Приміщення для апаратури повинне бути обладнане підйомником на 1000 кг, шиною заземлення, трифазною мережею з фазною напругою, частотою 50 Гц, магістраллю подачі зливу технічної води для охолодження блоків з витратою не менше $3,58 \times 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ (тиск в магістралі подачі води повинен бути 0,3 -0,4 МПа), мати бетоновану підлогу.

Дверні отвори приміщення повинні бути не вужчі 1,5 м. Повинні бути передбачені лотки для прокладки кабелів і шлангів.

Приміщення, де експлуатується апаратура, і апаратура повинні міститися в чистоті.

Всі деталі електронної гармати, вакуумної системи, а також всі поверхні, що знаходяться у вакуумному просторі, повинні бути ретельно промиті і знежирені. Для промивки необхідно використовувати розчинники високої чистоти. Рекомендується застосовувати петролейний ефір, спирт етиловий ректифікований, спирт гідролізний ректифікований.

Технічне обслуговування гармати і блоку диффоткачки виробляється один раз в тиждень. Промивка деталей гармати (окрім ізолятора) виробляється петролейним ефіром. Промивка ізолятора і остаточна промивка деталей виробляється спиртом етиловим ректифікованим.

Для забезпечення безпеки проведення робіт на дільниці розташовано два вогнегасника типу ОУ-5 та два ящика з піском.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

4.1.6 Освітлення

Серед факторів зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світло займає одне із перших місць. Адже відомо, що майже 90% всієї інформації про довкілля людина одержує через органи зору. Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність організму в цілому. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенціальна небезпека помилкових дій та нещасних випадків.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями; штучним, що створюється електричними джерелами світла та суміщеним, при котрому недостатнє природне освітлення доповнюється штучним. Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби.

Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях регламентується СНиП II-4-79 „Естественное и искусственное освещение” і визначається в основному характеристикою зорової роботи.

Вибір джерел освітлення на ділянці виготовлення вилки забезпечується комплексом факторів, основні з яких: характер роботи умови середовища та розміри приміщення. Аналізуючи ці фактори, робимо висновок, що найбільш зручним джерелом освітлення є люмінесцентні лампи. Така лампа характеризується великою світовою віддачею, великим терміном експлуатації - 10 тис.год., сприятливим для зору спектральним складом світла. Також на ділянці використовуються світильники, здебільшого прямого світла [18].

4.2 Розрахунок штучного освітлення

Нормальні умови праці у виробничих приміщеннях можуть бути забезпечені лише при достатньому освітленні робочих місць, проходів та проїздів. Правильно встановлене освітлення забезпечує добру видимість і добрі умови праці. Неповне освітлення викликає швидко втому, погіршує

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

продуктивність праці, знижує якісні показники та може стати причиною нещасного випадку. Потрібний рівень освітлення визначається ступенем точності зорових робіт. На випадок раптового відключення струму передбачається аварійне освітлення у проходах.

Розрахунок штучного освітлення ділянки складання та зварювання вилки карданного валу регламентується СНиП II-4-79*. Природне і штучне освітлення. Відповідно нормам проектування штучного освітлення необхідно обирати норму освітленості поверхні у виробничому приміщенні.

За ступенем точності виконання зорових робіт приміщення відноситься до приміщення з системою загального освітлення 200 лк.

Вибір джерел освітлення визначається комплексом факторів, основні з яких – характер роботи, умови праці, розміри приміщення. Аналізуючи ці фактори отримаємо, що найбільш відповідним джерелом світла є люмінесцентні лампи ЛБ-80. Така лампа характеризується високою світовою віддачею, великим строком експлуатації, не шкідливим для зору спектральним складом світла, яка забезпечує більш правильне, ніж при лампах накаливання, різних кольорів поверхні, ніж у ламп накаливання чутливістю до змін у напруженні мережі.

В залежності від середі освітлювальному приміщення обираємо вид захисного використання світильника, тобто тип світильника, на ділянці використовуємо світильники переважно прямого світла, так як вони задовольняють нашим потребам – є світильниками з широким розповсюдженням – ВЛН чотирьохлампового типу.

Розрахунок освітлення приміщень засновано на двох принципово різних методах: методі коефіцієнту використання світлового потоку та точечному методі.

Обираємо для розрахунку у дипломному проекті метод коефіцієнту світлового потоку. Цей метод відрізняється меншою трудомісткістю, а головне найбільш підходить для даного приміщення, так як використовується у випадках, коли можливо приблизно розрахувати різницю між середньою та мінімальною

освітленістю.

Розрахунок за обраним методом зводиться до визначення потрібної кількості світильників N , які встановлюються у приміщенні. Кількість світильників розраховується за формулою:

$$N = (S E_{min} \cdot K_3 \cdot Z) / (n \Phi_l \cdot h), \text{ шт.} \quad (4.1)$$

де S – освітлена площа, м^2 , $S = 270 \text{ м}^2$;

E_{min} – рівень мінімального освітлення, лк, $E = 200$ лк;

K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 2,0$;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z = 1,1$;

$n \cdot \Phi_l$ – сумарний світовий потік ламп встановлених в одному світильнику, $n \cdot \Phi_l = 17280$ лк;

h – коефіцієнт використання приладу.

Площа приміщення дорівнює 270 м^2 . рівень мінімальної освітленості даного приміщення при люмінесцентних лампах повинен складати не менше 200 лк. Коефіцієнт запасу обираємо 2,0 (згідно з рекомендацією).

Визначаємо сумарний світовий потік ламп $\Phi_l = 4320$ лм. Кількість ламп – 4. Добуток $n \Phi_l = 17280$ лм.

Коефіцієнт використання освітлювального пристрою h залежить від типу світильника та від коефіцієнту відображення p_i . Приймаємо коефіцієнти відображення від поверхні, стіни та підлоги рівних відповідно:

$$R_{сл} = 70\%; \quad R_{сн} = 50\%; \quad R_{пл} = 30\%;$$

Індекс приміщення розраховуємо за формулою:

$$i = l B / h p (1 + B), \quad (4.2)$$

де l – довжина приміщення, м;

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

B – ширина приміщення, м;

h – висота світового центру світильника над розрахованою площею, м.

$$l = 15 \text{ м}; \quad B = 18 \text{ м}; \quad h = 7,5 \text{ м}$$

Згідно з таблицею 10 приймаємо коефіцієнт відображення $h=0,2$.

Розрахуємо кількість світильників:

$$N = 270 \cdot 200 \cdot 2,0 \cdot 1,1 / 17280 \cdot 0,2 = 34 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість світильників – 34 шт.

Визначаємо сумарну потужність обраних світильників за формулою:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n, \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність ламп, $P_{\text{л}} = 80 \text{ Вт}$;

N – кількість світильників, шт.;

n – кількість ламп у світильнику.

$$P = 80 \cdot 34 \cdot 4 = 10880 \text{ Вт} = 10,9 \text{ кВт}$$

Відстань від джерела світла до робочої поверхні h визначаємо виходячи з висоти приміщення H , висоти робочої поверхні h_p та відстані від джерела світла до точки підвісу h_c .

Згідно з цим:

$$h = H - h_p - h_c, \text{ м} \quad (4.4)$$

тоді індекс приміщення i дорівнює:

$$i = 15 \cdot 18 / 6 \cdot (15 + 18) = 1,40$$

Відстань між світильниками можна розрахувати за формулою:

$$L / h = \lambda \quad (4.5)$$

де λ – коефіцієнт, залежний від типу світильника, $\lambda = 1,1$;

L – відстань між світильниками.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 04. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

$$L = h \cdot \lambda, \text{ м};$$

$$L = 1,1 \cdot 6,0 = 6,6 \text{ м.}$$

Відстань від крайнього ряду світильників від стіни вибирається за умови, що L дорівнює третина відстані між світильниками.

$$l = L / 3 = 6,6 / 3 = 2,20 \text{ м} \quad (4.6)$$

За такими умовами вибираємо систему робочої площі з рівномірним розміщенням світильників на ділянці складання та зварювання вилки карданного валу [19].

Висновок:

1. Проведено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів на ділянці виготовлення вилки карданного валу і розроблені заходи щодо їх усунення або зниження до нормативних вимог.

2. Проведено розрахунок штучного освітлення приміщення ділянки, в результаті якого була розрахована необхідна кількість світильників, для забезпечення освітлення площі ділянки.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 05. ПЗ.						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Визначення економічної ефективності			Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент	Згуровський Д.Р.									75	8
Керівник	Лебедев В.О.										
Конс.	Лебедев В.О.										
Н. Контр.											
Зав. каф.	Матвієнко М.В.										
					ХННІ НУК						

5.1 Оцінка економічної ефективності

Розрахунок річного економічного ефекту від застосування нових технологічних процесів, механізації та автоматизації процесів праці при випуску однакових деталей ведеться за формулою:

$$\mathcal{E}_{ef} = [(C_{\bar{o}} + E_n K_{\bar{o}}) - (C_{np} + E_n \cdot K_{np})] N_r \text{ грн.} \quad \text{//////} \quad (5.1)$$

де $C_{\bar{o}}$ та C_{np} – приведені витрати відповідно для базового та проектного варіанту;

E_n – нормативний коефіцієнт, $E_n = 0,15$;

N_r – річний обсяг виробництва продукції, $N_r = 160000$ од.;

$K_{\bar{o}}$ та K_{np} – витрати на виготовлення одиниці продукції, відповідно для базового та проектного варіанту.

Для визначення річного економічного ефекту достатньо визначити додаткові капітальні витрати та зміни собівартості по змінним статтям витрат.

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Вартість основних фондів для механізованої ділянки, що проектується, враховує вартість будівлі $C_{\bar{o}y\bar{o}}$ та вартість основного та допоміжного обладнання C_o і визначається за формулою:

$$C_o = C_{\bar{o}y\bar{o}} + C_o, \text{ грн.} \quad (5.2)$$

де $C_{\bar{o}y\bar{o}}$ – собівартість будівлі складає 54432 грн.

Розрахунок вартості обладнання та пристроїв показано в таблиці 5.1.

Підставивши значення у формулу (5.2) отримаємо вартість основних фондів відповідно для базового та проектного варіанту:

$$C_{\bar{o}f}^{\bar{o}} = 54432 + 1390200 = 1444632 \text{ грн.}$$

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$C_{of}^{np} = 54432 + 113500 = 1189432 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – Розрахунок вартості обладнання та пристроїв

Базовий варіант			
Обладнання	Кількість обладнання, шт.	Вартість одиниці обладнання, грн.	Загальна вартість, грн.
Півавтомат для зварювання труби	4	79300	317200
Контейнер для зберігання деталей та виробів	54	400	21600
Токарний станок	40	20500	820000
Дефектоскоп	2	13200	26400
Конвеєр з вилками	1	205000	205000
Разом			1390200
Проектний варіант			
Обладнання	Кількість обладнання, шт.	Вартість одиниці обладнання, грн.	Загальна вартість, грн.
Установка для ЕПЗ типу УВЛ-6004	2	95000	190000
Контейнер для зберігання деталей та виробів	54	400	21600
Токарний станок	34	20500	697000
Дефектоскоп	2	13200	26400
Конвеєр з вилками	1	200000	200000
Разом			1135000

5.3 Розрахунок фонду заробітної плати

Витрати електроенергії: так як витрати електроенергії, в базовому та проектному варіанті практично однакові, то розрахунок вартості електроенергії проводити не будемо.

Річний фонд заробітної плати включає:

- фонд зарплати основних робочих;

- фонд зарплати допоміжних робочих.

Річний фонд заробітної плати визначається за формулою:

$$Z_{p.f.} = Z_{осн.} + Z_{доп.}, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

Визначаємо фонд заробітної плати основних робочих:

$$Z_{осн} = Tr \cdot Cч, \text{ грн.} \quad (5.4)$$

де Tr - річна тривалість, н.-год.;

$Cч$ - часова тарифна ставка, грн./год.

Часова тарифна ставка визначається за формулою:

$$Cч = C_I \cdot K, \text{ грн.} \quad (5.5)$$

де C_I – ставка першого розряду, $C_I = 70$ грн./год.

K – тарифний коефіцієнт.

Визначаємо річний фонд зарплати основних робочих для проектного та базового варіанту. Результати розрахунків надано у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Річний фонд зарплати основних робочих

Професія	Кількість, чол.	Розряд	Тарифний коефіцієнт	Тарифна ставка одного робочого, грн.	Трудо- місткість, н.-год.	Річна платіма	Річний фонд зарплати основних робочих, грн.
Базовий варіант							
Зварник	4	5	1,749	122,4	6240	160000	408720
Контролер	2	5	1,717	64	3680		235520
Токар	40	4	1,362	51	69600		3549600
Разом	46	-	-	-	-		4193840
Проектний варіант							
Зварник	2	5	1,749	65,5	3520	160000	230560
Контролер	2	5	1,717	64	3680		235520
Токар	34	4	1,362	51	67200		3427200
Разом	38	-	-	-	-		3893280

Визначаємо фонд зарплати допоміжних робочих.

Кількість допоміжних робочих розраховуємо укрупнено – 20 % від основних робочих:

$$Ч_{\text{доп.}} = \frac{Ч_{\text{осн.}} \cdot 20\%}{100\%}, \text{ чол.} \quad (5.6)$$

де $Ч_{\text{осн.}}$ – чисельність основних робочих, чол..

Розраховуємо чисельність допоміжних робочих, відповідно для базового та проектного варіанту:

$$Ч_{\text{доп.}}^{\text{б}} = \frac{46 \cdot 20\%}{100\%} = 9, \text{ чол.}$$

$$Ч_{\text{доп.}}^{\text{пр.}} = \frac{38 \cdot 20\%}{100\%} = 8, \text{ чол.}$$

Зарплату допоміжних робочих визначаємо за формулою:

$$З_{\text{доп.}} = t \cdot Сч, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де t – відпрацьований час, год.;

$Сч$ – часова тарифна ставка, грн./год.

Результати розрахунків у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Річний фонд зарплати допоміжних робочих

Професія	Кількість, чол.	Тарифна ставка, грн.	Відпрацьований час за рік, год.	Зарплата допоміжних робочих за рік, грн.	Зарплата всіх робочих, грн.
Базовий варіант					
Наладчик	1	38,5	1000	38500	38500
Електрик	2	32,5	1000	32500	65000
Механік	6	32,5	500	16250	97500
Разом	9		2500	87250	201000
Проектний варіант					
Наладчик	1	38,5	1000	38500	38500
Електрик	2	32,5	1000	32500	65000
Механік	5	32,5	500	16250	81250
Разом	8	-	2500	87250	184750

Визначимо річний фонд зарплати робочих за формулою (5.3):

$$З_{р.ф.}^б = 4193840 + 201000 = 4394840 \text{ грн.}$$

$$З_{р.ф.}^{пр.} = 3893280 + 184750 = 4078030 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок вартості основних матеріалів

При використанні електронно-променевого зварювання замість зварювання тертям, будуть додаватися додаткові витрати на матеріали.

Витратні матеріали та норма витрат на 100 годин роботи установки надано у таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витратні матеріали для роботи установки УВЛ-6004

Назва матеріалу	Ціна одиниці, грн.	Споживання За рік	Загальна ціна, грн.
Масло вакуумне ВМ6, кг	22	172,8	3801,6
Масло вакуумне ВМ1, кг	18	18	324
Масло вакуумне ВМ5, кг	21	10,8	226,8
Масло ТМ1, кг	16	7,2	115,2
Спирт етиловий, кг	3	21,6	64,8
Ефір петролейний, кг	25	21,6	540
Катоди LaB ₆ , шт.	120	360	43200
Проволока із танталу, кг	40000	0,042	1680

Загальна вартість витратних матеріалів на річну програму складає 49953 грн.

За базовим варіантом зварювальні матеріали практично не використовуються.

5.5 Розрахунок собівартості продукції

Собівартість – це витрати підприємства, які виражені у грошовій формі на

виробництво та реалізацію продукції. Собівартість визначається за калькуляцією. Калькуляція – це метод визначення собівартості одиниці виробу [28].

Калькуляцію собівартості продукції наведено у таблиці 5.6.

Визначаємо річний економічний ефект від впровадження нової технології за формулою (5.1).

Таблиця 5.6 – Калькуляція собівартості продукції

Статті калькуляції	Витрати	
	Базовий, грн.	Проектний, грн.
1. Основні матеріали	-	49953
2. Витрати на електроенергію	-	-
3. Основна зарплата основним робочим	4193840	3893280
4. Додаткова зарплата основним робочим ¹	691980	642390
5. Відрахування на соцстрах ²	1626090	1508871
6. Відрахування у фонд зайнятості ³	87900	81560
7. Цехові витрати ⁴	671010	622924
8. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання ⁵	25163	23360
9. Амортизаційні відрахування на обладнання ⁶	458766	374550
10. Амортизаційні відрахування на споруди ⁷	1905	1905
Цехова собівартість	7756654	7198793

¹ Додаткова зарплата основним робочим визначаємо, як 16,5% від зарплати основних робочих.

² Відрахування на соцстрах складають 37% від зарплати всіх робочих.

³ Відрахування у фонд зайнятості складають 2% від зарплати всіх робочих.

⁴ Цехові витрати визначаємо як 16% від зарплати основних робочих.

⁵ Витрати на утримання та експлуатацію обладнання знаходимо як 6% від зарплати основних робочих.

⁶ Амортизаційні відрахування на обладнання складає 33% від вартості обладнання.

⁷ Амортизаційні відрахування на споруди складає 3,5% від вартості споруди.

$$\mathcal{E}_{ef} = [(7756654 + 0,15 \cdot 1444632) - (5198793 + 0,15 \cdot 1187832)] = 2557861 \text{ грн.}$$

Розрахунок продуктивності праці здійснюється за формулою:

$$D = \frac{D_t}{D_n} \cdot 100\% \quad (5.8)$$

де P_o – кількість умовно вивільнених робочих, $P_o = 9$.

P_n – кількість робочих за проектом, $P_n = 46$ чол.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

$$D = \frac{9}{46} \cdot 100\% = 19,5\%$$

Основні техніко-економічні показники надано у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Основні техніко-економічні показники

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант	Різниця
Річний випуск продукції, тис. шт.	100	100	-
Трудовісткість, н.-год.	79520	74400	5120
Площа ділянки, м ²	648	648	-
Кількість робочих, чол.	55	46	9
У тому числі основних, чол.	46	38	8
Капітальні вкладення, грн.	1444632	1189432	557861
Собівартість річного випуску, грн.	7756654	5198793	88051
Продуктивність праці, %	100	119,5	19,5
Річний економічний ефект, грн.	2557861		

Висновок: на ділянці виготовлення вилки за допомогою електронно-променевого зварювання у порівнянні з базовим варіантом було отримано такі результати:

- трудовісткість знизилась у 6,8% ;
- підвищилась продуктивність на 19,7% ;
- умовно вивільнилось 9 робочих місць;
- річний економічний ефект склав 2557861 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розроблено процес зварювання вилок карданного валу за допомогою ЕПЗ.

У першому розділі було зроблено огляд і характеристика матеріалу, з якого виготовлена вилка та труба. А також дана технологія зварювання вилки за допомогою зварювання тертям. При цій технології було виявлено вагомі недоліки, такі як:

- неякісне з'єднання;
- необхідність механічної обробки зварного шва та ін.

Виходячи з цього, було запропоновано зварювати вилки за допомогою ЕПЗ.

У другому розділі було виконано випробування зразків зварених за допомогою зварювання тертям та ЕПЗ на статеву міцність. У результаті випробувань було зроблено висновок, що статева міцність вилок зварених ЕПЗ вище, це і зумовило вибір способу зварювання.

Параметри режиму зварювання визначалися шляхом проведення експериментальних заварок та дослідження структури механічних властивостей зварних з'єднань.

У результаті проведення металографічних випробувань визначено, що метал шва має мартенситну структуру. Було виконано дослідження мікроструктури дільниць ЗТВ та випробування їх твердості за методом Віккерса. За результатами вимірювання твердості видно, що шов має дуже велику твердість (біля 600 HV). Для зменшення твердості у шві проводиться термообробка – загартування з високим відпуском.

За результатами розрахунку термічного циклу зварювання і очікуваної структури ЗТВ сталі 40, підтверджено, що попередній підігрів можливо не проводити.

У третьому розділі була описана принципова послідовність складання та зварювання вилки. При виборі матеріалів був зроблений огляд матеріалів по конструкції катодних вузлів електронної гармати. Обрано катод із LaB_6 для електронно-променевого зварювання, який має кращі емісійні характеристики у порівнянні з металевими катодами.

Для зварювання було обрано установку УВЛ-6004, яка складається із зварювальної камери, електронно-променевої гармати та трьохпозиційного робочого стола. Для контролю електронного променя, і відповідно катоду, було запропоновано використовувати комп'ютерну систему діагностики електронного променя, розроблену в ІЕЗ ім. Е.О. Патона. Також описано методи контролю якості зварного з'єднання. Контроль якості виконується візуально та ультразвуковим методом за допомогою дефектоскопу DIO 1000 PA.

У розділі охорони праці було проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів для даного процесу зварювання та було обрано заходи для їх усунення. А також виконано розрахунок освітлення виробничого приміщення. Для дільниці електронно-променевого зварювання застосовується припливно-втяжна вентиляція не менш ніж з трьохкратним обміном повітря.

У економічному розділі було виконано порівняння економічних показників на дільниці виготовлення вилки за допомогою електронно-променевого зварювання та зварювання тертям. Розрахунок економічної ефективності показав, що:

- трудомісткість знизилась на 6,8%;
- підвисилась продуктивність на 19,7%;
- умовно вивільнилось 9 основних робочих;
- річний економічний ефект склав 2557861 грн.

Список джерел інформації

1. Патон, Б.Е. Современное состояние и новые технологии электронно-лучевой сварки конструкций [текст] / Б.Е. Патон, А.А. Бондарев // Автоматическая сварка. – 2004, №11. – С. 23-29.
2. <https://steelgroup.com.ua/chornyj-metal/35/>
3. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
4. Квасницький, В.В. Теорія зварювальних процесів. Ч.2. Дослідження металургійних процесів та здатності металів до зварювання: навчальний посібник [текст] / В.В. Квасницький, В.В. Спіхтаренко. -Миколаїв: УДМТУ, 2001. – 75 с.
5. Спеціальні способи зварювання: підручник [текст] / І.В. Кривцун, В.В. Квасницький, С.Ю. Максимов, Г.В. Єрмолаєв, за загальною редакцією Б.Є. Патона. – Миколаїв: НУК, 2017. – 348 с.
6. Лебедев, Ю.М. Розрахунки теплових процесів при зварюванні: методичні вказівки до виконання курсової роботи [текст] / Ю.М. Лебедев, В.Ф. Лебедева, С.А. Лой. – Миколаїв: НУК, 2007. - 64 с.
7. Патон, Б.Е. Основы технологии электронно-лучевой сварки [текст] / Б.Е.Патон, Г.И. Лесков // Автоматическая сварка. – 2003, №12. – С. 23-31.
8. https://yuvelir.dovidnyk.info/index.php/spravochnyky/422-rastvory_dlya_travleniya
9. Лебедев, Ю.М. Влияние состава стали на ЗТВ [текст] / Ю.М. Лебедев // Автоматическая сварка. – 1999, №11. – С. 8 – 13.

10. https://paton.org.ua/wp-content/uploads/2024/07/disertacziya_glushak-s.o_rozrobka-obladnannya-ta-tehnologi%D1%97-epg-dlya-al-splaviv-v-umovah-kosmosu.pdf.
11. Лобода, П.И. Новые катодные узлы для электронно-лучевых установок технологического назначения [текст] / П.И. Лобода, А.А. Кайдалов, Ю.И. Богомол // Сварщик. – 2005, №4. – С. 30-31.
12. Акопяц, К.С. Система диагностики электронного луча в установках для электронно-лучевой сварки [текст] / К.С. Акопяц, О.К. Назаренко, В.В. Гумовский // Автоматическая сварка. – 2002, №10. – С. 30-33.
13. <https://ukrintech.com.ua/defektoskop-ul-trazvukovij-na-fazovanikh-reshitkakh-dio-1000-pa>
14. Жидецкий, В.Ц. Основы охорони праці: підручник [Текст] / В.Ц. Жидецкий. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.
15. <https://buklib.net/books/31413/>
16. ДНАОП 0.00 - 1.21-84. „Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів”.
17. <https://buklib.net/books/35229/>
18. Щедролосєв, О.В. Методичні рекомендації до виконання розділу “Охорона праці” у бакалаврських випускних роботах (проектах) [Текст] / О.В. Щедролосєв, Г.В. Додонова, А.М. Мозговий, В.В. Савельєв. – Миколаїв: НУК, 2012. – 28 с.
19. Тубальцев, А.М. Виробниче освітлення та його розрахунок [текст] / А.М. Тубальцев. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – 84 с.
20. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалавра за напрямом підготовки 6.050504 "Зварювання" / С. В. Драган,

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. ПЗ.	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

Г.В. Єрмолаєв, Ж.Г. Голобородько, М.В. Матвієнко, С.А. Лой,
В.Я. Сагань. – Миколаїв : НУК, 2015. – 69 с.

					ДП. 131. 4121ст. 03. 05. ПЗ.	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

