

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
АГРАРНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

ЧЕРЕДНИК РІНАТ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Допускається до захисту:
завідувач кафедри РМ, ЕЕЗ та ОП
канд.техн. наук, доцент
_____ А.М. Поляков
«_____» _____ 2023 р.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ РОЗТИСКНОГО КУЛАКА
АВТОМОБІЛЯ МАЗ

Спеціальність 208 Агроінженерія

Кваліфікаційна робота бакалавра

Керівник:
Кім Єн Дар , д.т.н, професор

Оцінка: _____ / _____ / _____
бали/за шкалою ЄКТС/за націон. шкалою

Київ, 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Аграрний

Кафедра «Ремонт машин, експлуатація енергетичних засобів та охорона праці»

Ступінь освіти Перший рівень вищої освіти – бакалавр

Галузь знань 20 "Аграрні науки та продовольство".

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ А.М. Поляков

«_____» _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

КОНСТАНТИНОВУ АРТЕМУ СЕРГІЙОВИЧУ

Тема роботи: «Розробка організації спеціалізованого відділення з відновлення деталей»

керівник роботи Кім Єн Дар доктор техн.наук, професор

затверджені наказом закладу вищої освіти від «_____» _____ 2023 р. № _____

2. Строк подання здобувачем роботи 05.06.2023р. _____

3. Вихідні дані до роботи

1) завдання кафедри;

2) матеріали огляду літературних джерел; нормативно - технічна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

- Загальний стан питання відновлення;

- Аналіз способів наплавлення виробу;

- Проектна технологія наплавлення; - Охорона праці; Економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу:

- ремонтне креслення валу;

- схема наплавки у середовищі CO₂;

- установка для наплавки в CO₂;

- загальний вигляд проектної установки;

- технологічне планування наплавочного відділення;

- Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 25.04.2023 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Загальний стан питання відновлення	12.04.2023.....	
2	Аналіз способів наплавлення виробу	20.04.2022	
3	Проектна технологія наплавлення	05.05.2023	
4	Охорона праці	17.05.2023	
5	Розрахунок економічної ефективності відновлення деталей	03.06.2023	

Здобувач _____ Чередник Р.О.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Кім Є.Д.

АНОТАЦІЯ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему: «Розробка технології відновлення розтискного кулака автомобіля МАЗ»

Об'єм дипломної роботи 56 сторінок, на яких розміщені 9 рисунків і 10 таблиць. При написанні диплому використовувалися 28 джерел.

Ключові слова: відновлення деталі, наплавка в середовищі CO₂, продуктивність праці.

Об'єктом дослідження при написанні роботи була технологія відновлення розтискного кулака автомобіля шляхом нарощення його зношених поверхонь наплавкою в середовищі вуглекислого газу.

В процесі роботи запропоновано пристосування для підвищення якості наплавлювання та продуктивності праці.

В підсумку зроблена оцінка економічної ефективності проектної технології показала на доцільність відновлення заданої деталі та можливість одержати позитивний економічний ефект .

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ.....	9
1.1 Опис виробу і умов його роботи.....	9
1.2 Опис і аналіз властивостей матеріалу виробу.....	10
1.3 Аналіз джерел науково-технічної інформації.....	15
1.4 Постановка завдань на проектування.....	17
2 АНАЛІЗ СПОСОБІВ НАПЛАВЛЕННЯ ВИРОБУ.....	18
2.1 Ручне дугове наплавлення.....	18
2.2 Газополум'яне напилення.....	20
2.3 Електродугова металізація.....	21
2.4 Плазмове наплавлення.....	23
2.5 Наплавлення в середовищі вуглекислого газу.....	25
3 ПРОЕКТНА ТЕХНОЛОГІЯ НАПЛАВЛЕННЯ.....	29
3.1 Вибір захисного середовища.....	29
3.2 Розрахунок параметрів режиму наплавлення.....	31
3.3 Пристосування для операції наплавлення.....	34
3.4 Планування ділянки.....	38
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
4.1 Технологічна характеристика об'єкту.....	39
4.2 Персональні ризики, супроводжуючі впровадження проектної технології у виробництво.....	41
4.3 Пропоновані заходи по зниженню професійних ризиків.....	42
4.4 Пропоновані заходи по забезпеченню пожежної безпеки.....	43
5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ.....	46
5.1 Методика розрахунку економічної ефективності відновлення деталей	46

5.2 Результати розрахунку економічної ефективності відновлення ведучої розтискного кулака гальмівної системи автомобіля МАЗ..	50
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ВСТУП

Однією з важливих напрямів сучасної зварювальної науки і техніки є наплавлення. Домінуюче положення у виробничій практиці отримали дугові способи наплавлення. Одним з поширених способів залишається наплавлення в чистому вуглекислому газі (CO_2). Проте цей процес має ряд недоліків, основні з яких : велика глибина проплавлення основного металу; великі втрати електродного металу на розбризкування (від 5 до 15 %); вузький діапазон режимів наплавлення з отриманням задовільного формування валика та ін. [12, 13].

Механізовані і автоматичні способи дугового зварювання і наплавлення, у тому числі в захисних газах, отримали широке поширення і постійно удосконалюються. У багатьох опублікованих роботах представлені досить значимі результати по вказаних процесах, але вони часто не мають характеру закінчених досліджень.

Дослідженням, спрямованим на усунення недоліків і вдосконалення цього технологічного процесу, присвячена велика кількість робіт, з яких виходить, що умови формування наплавленого металу і технологічність способу дугового наплавлення в CO_2 великою мірою визначаються можливістю реалізації керованого перенесення розплавленого електродного металу в зварювальну ванну [14, 15].

Дія на перенесення електродного металу з постійною швидкістю подання електродного дроту і імпульсним управлінням електричними параметрами зварювальної дуги реалізовано такими виробниками зварювального устаткування, як EWM, OTC Daihen, Kemppu, Cloos, Esab і іншими. Компанією Fronius реалізовано комбіноване електромеханічне управління.

Деяке відставання в дослідженнях технологічної ефективності зварювання і наплавлення плавким електродом з імпульсними режимами роботи систем подання дроту і переміщень дуги відносно лінії ведення

процесу раніше було пов'язано з їх технічною недосконалістю. Нині виконаний ряд розробок в цій області з використанням сучасних комп'ютеризованих електроприводів на основі вентильних електродвигунів спеціальної розробки. Зокрема, це дозволило реалізувати практично будь-який алгоритм руху електродного дроту, включаючи реверсивний рух з регулюванням усіх складових, а саме: частота, крок, амплітуда імпульсів, а також шпаруватість. При цьому досягнутий частотний діапазон, що перевищує 50 Гц.

Розширені технічні характеристики нових систем подання електродного дроту дали можливість істотно просунути дослідження в частині управління геометричними характеристиками зварного з'єднання, оптимізації енергетичних витрат і втрат електродного металу.

Отримані в роботах [1...3] результати дозволяють стверджувати, що імпульсні алгоритми функціонування систем подання електродного дроту можуть бути одним з найефективніших способів вдосконалення механізованих і автоматичних способів дугового зварювання і наплавлення плавким електродом.

Слід зазначити, що дослідницька робота з використанням сучасних керованих систем імпульсного подання триває в частині вирішення дуже важливої проблеми — управління структурою металу шва. Важливість і шляхи вирішення згаданої проблеми відмічені у ряді робіт, наприклад [4, 5], проте, наскільки нам відомо, системних досліджень в даному напрямі з використанням сучасних методів металографічних досліджень нині не відмічено.

Мета випускної кваліфікаційної роботи - підвищення ефективності відновних операцій деталей машин із сталі 45 на прикладі розтискного кулака.

1 ЗАГАЛЬНИЙ СТАН ПИТАННЯ ВІДНОВЛЕННЯ

1.1 Опис виробу і умов його роботи

Одним з вузлів автомобіля є розтискний кулак (рис. 1.1), який обертаючись навколо осі розсовує гальмівні колодки.

При дефектації порівнюють фактичні розміри деталей або їх дефекти з допустимими величинами і роблять укладення про придатність деталі.

Технічний стан деталей оцінюють за технічними умовами на ремонт.

Контрольовані дефекти:

знос поверхонь під втулки до діаметру більше Ø39,75мм;

знос на поверхні профілю кулака більше 0,5мм³;

знос шліців по товщині більше 5,48мм;

ушкодження центрових отворів.

Таблиця 1.1 - Дефекти розтискного кулака

Позиція на ескізі	Вірогідний дефект	Розмір, мм		Методи виявлення дефекту і засоби його контролю	Висновок
		Згідно робочого креслення	Допустим без ремонту		
1; 2	Знос поверхонь під втулки до діаметру більше Ø39,75мм;	Ø40 _{-0,1}	Ø39,75мм	Штангенциркуль	Наплавити дротом 30ХГСА
3	Знос на поверхні профілю кулака більше 0,5мм	80мм	79,5мм	Штангенциркуль	Наплавити дротом 30ХГСА
4	Знос шліців по товщині менше 5,48мм;	5,86 _{-0,1}	5,72	Калібр НЕ 5,72 мм	Наплавити дротом 30ХГСА
5	Ушкодження центрових отворів,			Візуальний огляд	Правити

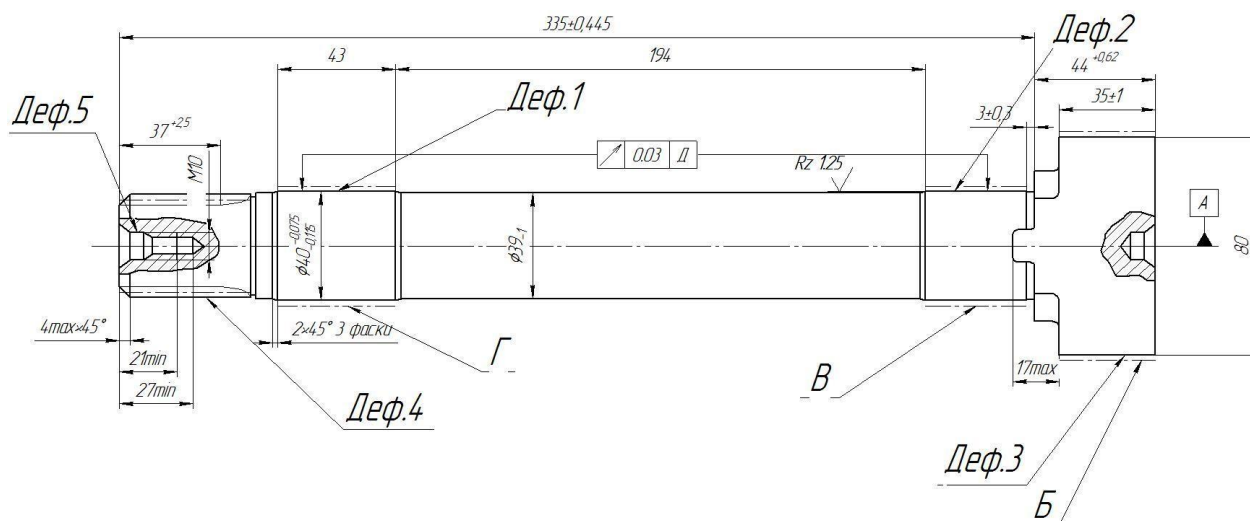


Рисунок 1.1 - Розтискний кулак

При натисненні педалі гальмівної системи шток гальмівної камери робить поворот розтискного кулака. Тиск, що виникає в гальмівній камері, передається через важіль до шліців гальмівного кулака. Стислі пружини, які стягують гальмівні колодки, викликають на шліцах протилежний опір. Це обумовлює знос робочих бічних поверхонь шліців гальмівного кулака при безпосередній передачі моменту, що крутить. Шліци в даному випадку працюють на зріз. Знос робочих поверхонь досягає до 0,5 мм.

1.2 Опис і аналіз властивостей матеріалу виробу

Деталь виготовляється із сталі 45 (табл. 1.2).

Таблица 1.2 - Хімічний склад сталі 45

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,41 – 0,49	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,25

Високий вміст вуглецю, заданий в конструкторській документації, високі характеристики фізико-механічних властивостей зварних з'єднань призводять до виникнення труднощів при розробці технологій зварювання і наплавлення стосовно сталі 45:

Дуже складно попередити момент виникнення холодних тріщин в розплаві;

Дуже важко попередити момент утворення кристалізаційних тріщин в зварному з'єднанні, пов'язаних з підвищеним вмістом вуглецю в зварюваному металі;

Фактично неможливо отримати метал зварного з'єднання в цілому і біляшовної зони рівноцінного за властивостями основному матеріалу.

Холодні тріщини

Холодні тріщини – руйнування матеріалу, що зварюється в шві. Холодні тріщини бувають локальними чи транскристалічними. Відмінною ознакою холодних тріщин від гарячих є можливість їх виявлення при візуальному огляді шва. Це часто блискучий злам на поверхні шва без слідів характерного високотемпературного окислення. Виникнення тріщин відбувається відразу після зварювання при охолодженні зони нагріву нижче 200...100 °С. Далі відбувається їх розвиток безпосередньо вздовж зварного з'єднання, а також вглиб матеріалу, що зварюється протягом декількох годин до декількох діб [1, 2, 5].

Основні процеси, що характеризують утворення холодних тріщин : наявність мартенситних включень в зварному з'єднанні; величина зварювальної напруги першого роду, яка залежить від жорсткості зварної конструкції, режиму зварювання, марки зварюваного металу та ін.; кількісний зміст і розподіл водневих включень в металі зварного шва, які залежать від концентрації водню в області дуги, а також початкової наявності і кількісного складу водню в основному матеріалі.

Найбільш значимий вплив на кінцеву стійкість високоміцних сталей до виникнення холодних тріщин при зварюванні роблять:

- Значне перегрівання біляшовної зони;
- температура мартенситного перетворення в біляшовній зоні;
- швидкість охолодження біляшовної зони і металу шва.

Порушення атомарної будови в межах межі зерен і утруднення

зародження мікротріщин прямо пропорційно величині перегрівання, швидкості охолодження, і температурі мартенситного перетворення. Вірогідність розвитку холодних тріщин прямо пропорційна пластичності мартенситу.

Підвищення температури мартенситного перетворення і уповільнення охолодження зменшує різницю між подовжньою зварювальною напругою в межах межі біляшовної зони і шва.

Заходи захисту від холодних тріщин

Пошук оптимальних значень нагріву біляшовної зони. Оптимальними температурними значеннями є такі значення температур, при яких відбувається обмеження перегрівання металу в біляшовній зоні. Необхідно зменшувати час присутності в біляшовній зоні зварюваного металу при температурах понад 1000 градусів. Цього можна добитися шляхом додаткового підігрівання.

Попередній і додатковий підігрівання біляшовної зони. Висока стійкість від холодних тріщин досягається застосуванням підігрівання біляшовної зони до 200 - 300°C у поєднанні з режимами з низькою погонною енергією. При багат шаровому зварюванні потрібне додаткове підігрівання шва при застосуванні накладення окремих шарів один на одного безперервно або з невеликою перервою.

Виконання швів із застосуванням високолегованих присадних матеріалів для отримання аустенітного шва. Але, застосовувати такий спосіб можна тільки при неможливості попередження виникнення холодних тріщин іншими методами. До недоліків металу шва аустенітного типу відносять: невисоку міцність; велику вартість.

Зважаючи на ці факти, використання цього методу можливе тільки у разі невисоких вимог до міцності зварного з'єднання.

Легування металу зварного з'єднання з феритної основою. Фізичні властивості металу шва в біляшовній зоні сприяють розвитку деформацій

пружнопластичності, які зміщують перетворення аустеніту на мартенсит до ділянки високих температур.

Термообробка зварних швів відразу після зварювання. До термообробки можна віднести низьку відпустку, при якій відбувається зменшення залишкової зварювальної напруги, це у свою чергу зменшує ризик виникнення тріщин. Подрібнення структури зварного з'єднання і біляшовної зони є сприятливим чинником при термообробці. Термообробка не повинна робитися довше за годину.

Зниження з'єднань водню в матеріалі зварного з'єднання. Рекомендуються матеріали для зварювання з невисоким змістом водню.

Підготовка поверхні.

Усі поверхні в зоні розплаву необхідно очищати від окалини, іржі, забруднень, вологи. Вказані забруднення призводять до утворення пористості, окисних включень, а також тріщин у металі зварного з'єднання. Підготовці підлягають кромки під зварювання, а також ділянки, прилеглі до кромки на відстані не менше 10 - 15 мм з різних сторін від вказаних кромки.

Гарячі тріщини

Гарячі тріщини - це руйнування металу зварного з'єднання і біляшовної зони (частенько крихкі міжкристалічні), які виникають в твердорідкому стані при кристалізації, і при дії надвисоких температур при твердому стані в процесі поширення вязкопластичної деформації матеріалу зварного з'єднання. Тріщини можуть виникнути в зварних шва при усіх відомих способах зварювання плавленням.

Процес кристалізації металу зварного з'єднання проходить в при дії розтягуючої напруги. Зменшення температури сприяє росту величини напруги, при цьому з'являється деформація пружнопластичності металу зварного з'єднання. При перевищенні величини деформації деформаційної здатності металу відбувається виникнення гарячих тріщин.

Останні теоретичні роботи вказують, що виникнення гарячих тріщин відбувається при поєднанні умов :

- температурного проміжку високої крихкості у момент кристалізації металу зварного з'єднання;
- малій пластичності при температурному проміжку високої крихкості;
- швидкості розвитку високотемпературних зварювальних деформацій.

Способи усунення гарячих тріщин

- 1) Використання мінімальної довжини дуги без введення додаткових поперечних коливань при ручному дуговому зварюванні;
- 2) Виконання на найбільш низьких швидкостях з мінімальною кількістю проходів при автоматичному зварюванні під флюсом;
- 3) Необхідно робити заплавлення або вишліфовку кратерів швів до моменту отримання опуклого меніска, проте заводити кратери на основний зварюваний метал заборонено;
- 4) Необхідно перевірити відсутність гарячих тріщин в кратері при вимушеному обриві дуги до моменту її збудження, при виявленні тріщин кратер необхідно зачистити будь-яким механічним способом;
- 5) Виконувати заміну кутових і таврових з'єднань стиковими при конструюванні зварних конструкцій;
- 6) Використовувати комбіновані способи для зварювання з'єднань великих товщин, при яких внутрішні та зовнішні шари шва, які не входять в контакт з агресивним середовищем необхідно робити електродами, що забезпечують найменшу корозійну стійкість, але покращену стійкість металу зварного з'єднання до виникнення гарячих тріщин у великій кількості у шві феритної фази); товщина зверненого до корозійного середовища шару рівноцінного по корозійній стійкості основного металу, що зварюється, повинна бути не менше 3 мм. Використати порошкові драти.

Розміщення

При тривалій роботі в середовищі високих температур ефект розміщення біляшовної зони сталей виникає при дії термічних циклів зварювання

унаслідок високотемпературної відпустки і недостатньої перекристалізації. Це призводить до зменшення величини тривалої міцності зварних швів.

Зменшення різниці між величиною тривалої міцності зварних швів до міцності основного металу залежить від термічних циклів зварювання, коефіцієнта зміцнення сталей при термічній обробці і їх структурній стабільності.

Величина розміцнення пов'язана не лише з режимами термообробки, але також з параметрами режимів зварювання. Збільшення погонної енергії приведе до виникнення розміцнення зварюваних металів.

Поява нетвердого прошарку в швах приведе до локальних руйнувань жорстких зварних з'єднань при експлуатації, значною мірою при виникненні навантажень, що вигинають.

Заходи боротьби з розміцненням

1) Виконання перекристалізації шва і біляшовної зони при високотемпературній термообробці (наприклад, нормалізації з високою відпусткою). конструкцій обмежена існуючими розмірами габаритними печей для термообробки. Для отримання рівної міцності металу зварного з'єднання і основного металу в зварному з'єднанні необхідно знижувати вміст вуглецю і додатково ввести необхідну кількість легуючих елементів, це у свою чергу приведе до утворення гарячих і холодних тріщин безпосередньо в металі зварного з'єднання.

1.3 Аналіз джерел науково-технічної інформації

«Досліджений вплив способів автоматичного дугового наплавлення на проплавлення основного металу, якість формування і геометричні розміри наплавлених валиків. У експериментах використали дев'ять партій порошкових дротів. Встановлено, що найбільший вплив на формування наплавлених валиків робить напругу дуги. При цьому діапазон значень напруги, при якому забезпечується хороше формування наплавлених валиків і відсутність пір, не співпадає при наплавленні різними способами дротом одного діаметру. Результати, отримані в цій роботі, можуть бути використані

при виборі способу дугового наплавлення, режимів наплавлення, які найбільшою мірою задовольняють умовам експлуатації і вимогам до наплавленого металу для конкретних деталей.

Результати роботи будуть використані в ході подальшого аналізу можливих варіантів наплавлення» [6]. Іншими дослідниками [7] розроблено технологію та обрано присадний порошок на основі заліза 15X19N9M4C5ГЗД для механізованого плазмового наплавлення ущільнювальних та циліндричних поверхонь штоків (шпинделів) арматури, які експлуатуються на теплових та атомних електростанціях. Метал, наплавлений цим порошком, має необхідні експлуатаційні властивості і в порівнянні з раніше застосовуваними для цієї мети нікелевими сплавами має нижчу ціну. Застосування плазмово-порошкового наплавлення штоків енергетичної арматури замість ручної дугової покритими електродами та автоматичним дуговим порошковим дротом дозволило покращити якість наплавленого металу, знизити припуски на механічну обробку, а також знизити витрати на наплавку та збільшити ресурс експлуатації запірної арматури» [7].

«Є також інформація про те, що процес дугового наплавлення в середовищі вуглекислого газу з імпульсним поданням електродного дроту в порівнянні з постійним її поданням характеризується підвищеною стабільністю, меншими втратами електродного металу на розбризкування і поліпшеними характеристиками зносостійкості наплавленого металу 30ХГСА. Встановлений оптимальний діапазон параметрів імпульсного подання електродного дроту для наплавлення — частота 10...30 Гц, шпаруватість 3...5 од. Показано, що зменшення глибини проплавлення основного металу досягається за рахунок зниження струму на стадії росту краплі в елементарному циклі перенесення електродного металу»[8].

Результати цієї роботи будуть застосовані в ході аналізу стану питання, а також при складанні проектної технології, якщо буде прийнято рішення використати наплавлення в захисних газах.

«Розгляд результатів досліджень впливу параметрів імпульсного

подання електродного дроту при електродуговому наплавленні в CO_2 на умови формування наплавлюваного валика металу, зносостійкість і втрати електродного металу, дав змогу провести порівняльний аналіз результатів, отриманих при постійному і імпульсному поданні електродного дроту. Показано, що зміна швидкості подання електродного дроту при постійних енергетичних параметрах процесу наплавлення дозволяє ефективно впливати на формування наплавленого валика, зносостійкість і кількість втрат електродного металу. Цей результат досягається за рахунок зміни кінематичних умов перенесення електродного металу з торця електроду через дуговий проміжок у ванну рідкого металу»[11].

Результати цієї роботи будуть використані при аналізі стану питання і при складанні проектної технології, якщо буде прийнято рішення використати наплавлення в захисних газах.

«Аналіз особливостей технології відновного плазмового наплавлення та можливості її широкого впровадження розглянуті в роботі, де відмічається, що через низьку теоретичну і апаратну підготовку виробництва нині не можна планувати можливість використання плазмового наплавлення»[16]. Це робить неможливим застосування результатів цієї роботи для розробки проектної технології. Але вона може бути застосована в ході аналізу стану питання.

1.4 Постановка завдань на проектування

За існуючою технологією при відновленні деталі не використовуються процеси зварювання, а відновлення виконується пластичною деформацією.

Для складання проектної технології на базі процесів зварювання слід провести літературний огляд. З урахуванням виконаного аналізу стану питання можна сформулювати завдання проекту :

- підібрати найбільш відповідний методами наплавки для цієї деталі;
- оптимізацію способу і підвищення ефективності відновлення.

Скласти проектну технологію відновлення базуючись на сучасні досягнення в галузі зварювальної науки.

2 АНАЛІЗ СПОСОБІВ НАПЛАВЛЕННЯ ВИРОБУ

2.1 Ручне дугове наплавлення

Дугове наплавлення (рис. 2.1) нині це один з найвживаніших і універсальних способів відновлення і зміцнення зношуваних поверхонь деталей. Цей спосіб покращує стійкість поверхонь деталей до абразивного зносу, корозії, ерозії, термічної і контактної втоми. При цьому способі частенько використовується ручне, газове або електродуга наплавлення, а також інші види і способи механізованого наплавлення [17, 18, 19]. Найпоширеніший метод при відновленні деталей машин - це дугове наплавлення металевими електродами з покриттям. При цьому методі використовується просте і мобільне устаткування, є можливість наплавлення при різних положеннях відновлюваної заготівлі, а також недоступних для інших методів місцях.

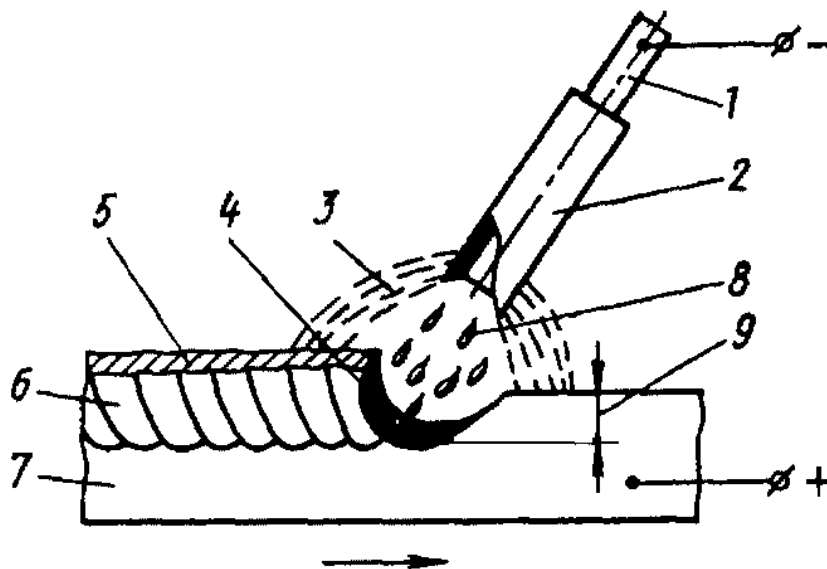
Для наплавлення застосовують звичайні джерела зварювального струму. Вибір параметрів режиму наплавлення роблять з урахуванням тієї обставини, що при надмірній силі струму знижується якість наплавлення. Слід також брати до уваги, що спосіб має низьку продуктивність, високі втрати електродного металу на чад і розбризкування. Наплавлення робиться переважно на плоских поверхнях в нижньому положенні. Наплавлений шар допускається завтовшки 3...10 мм.

Достоїнствами ручного дугового наплавлення є висока міцність шару, що наплавляється, і простота використовуваного в процесі робіт устаткування. Істотним недоліком методу, як і інших способів ручного зварювання, являється низька продуктивність операції і залежність якості зварного з'єднання від кваліфікації виконавця. Також недоліком методу є різниця на початку і у кінці операції швидкість розплавлення електроду. Глибина проплавлення основного металу може збільшуватися або зменшуватися залежно від зміни умов теплопереноса від дуги до металу основи.

Це провокує зміну співвідношення доль електродного і основного металу, що безпосередньо беруть участь в утворенні металу зварного з'єднання, отже, і його хімічний склад і механічні властивості.

Основний недолік ручного дугового наплавлення при застосуванні металевого електроду це невисока продуктивність процесу і залежність якості роботи від практичних умінь виконавця. Також недоліком ручного дугового наплавлення є різна швидкість плавлення електроду на початку і кінці операції.

Відбувається зміна глибини проплавлення основного металу зважаючи на зміну умов поширення тепла від дуги до основного металу через додатковий шар рідкого металу, який знаходиться в зварювальній ванні. Відбувається зміна відношення долі металу електроду і основного металу, що беруть участь в утворенні зварного з'єднання, отже, і його склад і фізико-механічні властивості.



1 — металевий стержень; 2 — електродне покриття; 3 — захисне середовище дуги; 4 — ванна зварювання; 5 — отверділий шлак; 6 — метал шва, що закристалізовувався; 7 — основний метал (виріб); 8 — краплі розплавленого електродного металу; 9 — величина проплавлення

Рисунок 2.1 - Ескіз операції ручного дугового наплавлення

2.2 Газополум'яне напилення

Велике використання при зміцненні поверхонь деталей і устаткування в хімічній промисловості знаходять газотермічні методи нанесення покриттів [18, 20]. Адгезія плазмових і газоплазмових покриттів висока, до 250 МПа. Ці способи продуктивні, а також дозволяють отримувати покриття з товщиною напилюваного шару від десятої долі до декількох міліметрів.

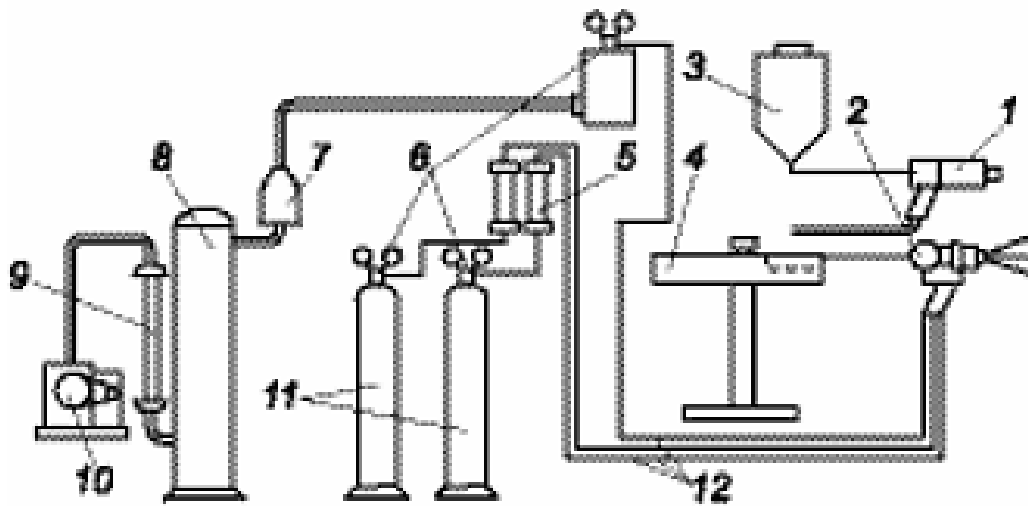
Суть процесу при газоплазмовому нанесенні металевих покриттів полягає в напиленні заздалегідь розплавленого металу на підготовлену під неї поверхню деталей. Для цього застосовується струмінь стислого газу. Мелкодисперсні частки матеріалу, що розплавляється, на високих швидкостях ударяються об поверхню обробки. При цьому відбувається їх деформація, вони впроваджуються в дефектні області поверхневого шару і тим самим утворюють нове покриття. Напилюване покриття розплавляється ацетилено-кисневим полум'ям і розпилюється за рахунок дії струменя стислого газу. До переваг процесу газополум'яної металізації можна віднести:

- повна відсутність обмежень на поєднання використовуваних при напиленні матеріалів;
- малий нагрів підкладки ($120...180^{\circ}\text{C}$);
- велика міцність напилюваного покриття;
- простота техпроцеса і вживаного устаткування.

Із застосуванням цієї технології з'являється можливість нанесення покриттів з кольорових, чорних, і тугоплавких матеріалів. Покриття, що наносяться, мають високі показники контактної жорсткості, високі показники зносостійкості.

До недоліків методу можна віднести наступні:

зменшення втомної міцності унаслідок початку появи розтягуючої залишкової напружимала корозійна стійкість покриттів, що наносяться, зважаючи на утворення пір різної величини.



- 1 - розпилювач порошку; 2 -распылитель дроти;
 3 – живильник порошку; 4 -вращающийся стіл з бухтою дроту;
 5 – ротаметри газові; 6 - редуктор 7 - фільтр; 8 - ресівер; 9 - повітряний
 ротаметр; 10 - компресор; 11 - газові балони

Рисунок 2.2 - Схема процесу газополум'яного напилення деталей

2.3 Електродугова металізація

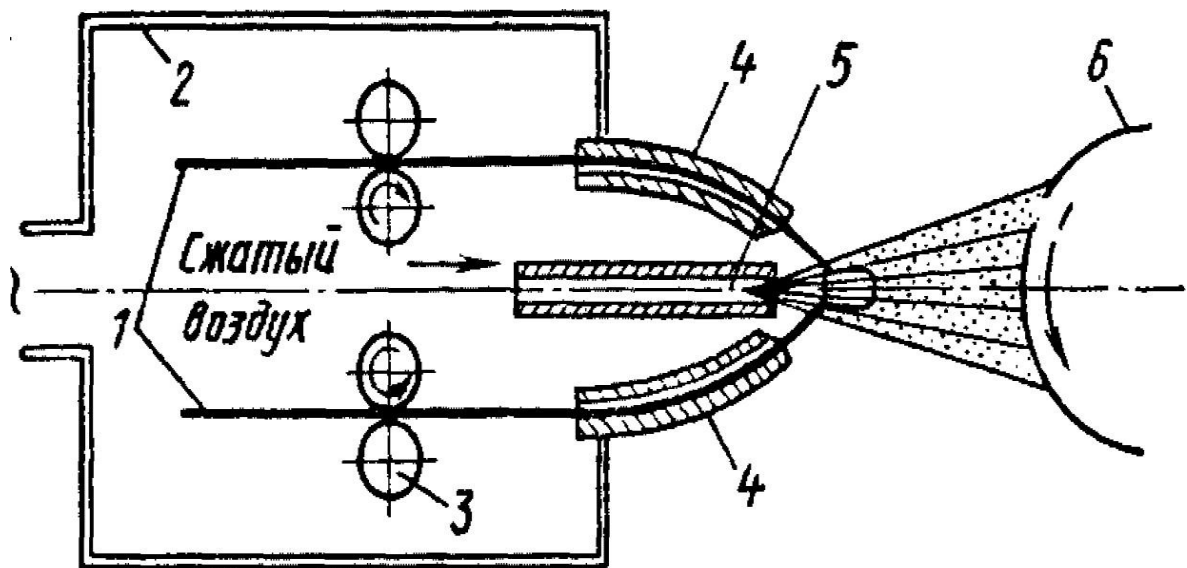
В процесі металізації електродуги отримання покриття відбувається при тому, що розпиляло газовим струменем металу, що розплавлявся в процесі роботи. Метал розправляється між двома електродами. Зазвичай електродами виступають напилювані метали. Здійснення процесу виконується із застосуванням спеціального приладу - металізатора. Дія приладу (рис. 2.3) відбувається таким чином. За допомогою спеціальних протяжних роликів по направляючих наконечниках без зупинки відбувається подання двох дротів 1. До них підключений електричний струм. Дуга, яка виникає між дротами, безпосередньо плавить метал. В цей же час в область дуги подається стислий газ через повітряне сопло. Висока швидкість переміщення металевих часток (120...300 м/с) і малий час їх польоту, який складає тисячні частки секунди,

обумовлює пластичну деформацію металевої частки у момент її удару об поверхню деталі, а також заповнення частками усіх нерівностей і пір, що ударяються, на оброблюваній поверхні деталі, зчеплення часток між собою і з поверхнею, і як наслідок утворення суцільного покриття.

При застосуванні електродугового напилення з використанням постійного струму забезпечується дрібнозерниста структура покриття, що наноситься. Виходячи з цього, як джерела живлення використовуються різні джерела постійного струму із застосуванням стабілізаторів напруги. На температуру дуги впливають транспортуючий газ, а також склад електродного дроту.

Основні достоїнства електродугового напилення :

- продуктивність процесу;
- можливість нанесення декількох видів покриттів одночасно внаслідок цього можливість отримання так званих псевдосплавів;
- висока твердість напилюваного шару.



- 1 – електродний дріт; 2 - токоподводи;
3 – подаючі ролики; 4 - направляючі дроти; 5 - сопло; 6 - відновлювана деталь

Рисунок 2.3 - Схематичне зображення процесу металізації

Недоліки способу :

ризик нагріву і внаслідок цього окислення напилюваного матеріалу при малій швидкості подання електродів;

- виділення значної кількості тепла при горінні дуги, що призводить до зменшення кількості легуючих елементів і зниження кількості вуглецю в поверхневому шарі, тому знижується поверхнева твердість і міцність покриття і формуються залишкові напруги, що розтягують; міцність металізованого шару нижча міцності підкладки.

При зміцненні деталей із слабким перерізом не слід використати металізацію. Також слід врахувати, що адгезія напилюваного шару з основним металом деталі мала. Це важливо при відновленні деталей, які знаходяться під дією динамічних навантажень, а також для деталей, які працюють в умовах сухого або напівсухого тертя.

При високочастотній металізації те, що розпиляло металу йде через індукційний нагрів. Унікальність цієї технології пов'язана з невеликими розмірами часток нагрітого до рідкого стану металу, що наноситься. До достоїнств цього способу відносять:

- високу міцність зчеплення;
- малу пористість.

Недоліки способу : зменшення втомної міцності; мікропрофіль поверхні деталі невисокої якості [18].

2.4 Плазмове наплавлення

До сучасних способів наплавлення, які активно застосовуються в промисловості і мають найменші значення глибини проплавлення основного металу відносяться різні варіанти плазмового наплавлення [21, 22].

Низькотемпературна плазма у вигляді джерела тепла все частіше застосовується в металургії і механічній обробці матеріалів, як і для наплавлення. Плазмові способи наплавлення дозволяють отримати хорошу

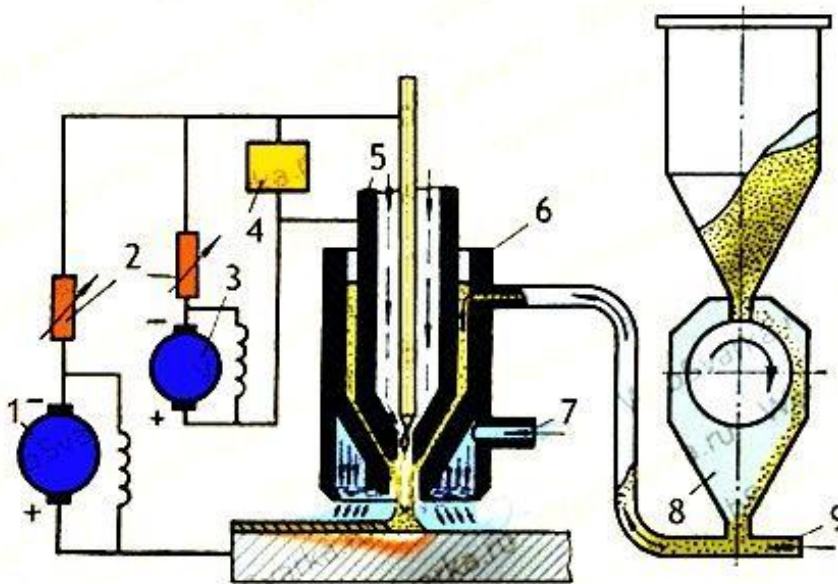
продуктивність процесу, для них не потрібне складне устаткування і спеціалізовані джерела живлення, вони впроваджуються у будь-якому цеху, ділянці, майстерні, словом там, де робиться наплавлення різномірних металів.

Плазмово-порошкове наплавлення знайшло досить широке застосування в промисловості, починаючи з 60-х років минулого століття. Найбільш добрі результати досягаються при використанні сплавів, що самофлюсуються, на основі нікелю або кобальту (таких, як наплавлювальні сплави типу N і Q). Ці сплави мають високі антикорозійні властивості, зносостійкість і антифрикційні характеристики, крім того, безперечною гідністю цих сплавів є їх висока растекаемость по металу виробу, що наплавляється. Основним їх недоліком є висока вартість, що перевищує вартість сплавів на залізній основі в 10...20 разів. Крім того, нікелеві і кобальтові сплави не придатні для ряду деталей (вирубних штампів, роликів рольгангов для транспортування гарячого металу, оскільки їх разупрочнення настає при температурах 500...600°C залежно від марки порошку).

Цьому способу властиві наступні достоїнства:

- є можливість одночасного нанесення різних матеріалів покриттів для створення поверхні з необхідними властивостями;
- більш висока адгезія, ніж для інших способів металізації, забезпечувана високою швидкістю часток напилюваного металу і високою їх температурою у момент зустрічі з підкладкою;
- термічна дія на поверхню підкладки у край низька.

Існують механізми для повної автоматизації операції.



1 - джерело живлення дуги прямої дії; 2 - баластні опори; 3 - джерело живлення дуги побічної дії; 4 - осцилятор 5 - сопло для плазмообразуючого газу; 6 - корпус пальника; 7 - отвір для введення захисного газу; 8 - живильник для подання порошку; 9 - трубка для подання газу з порошком

Рисунок 2.4 - Компонувальна схема устаткування для плазмового наплавлення з використанням металевих порошків

Недоліки способу :

- мала міцність покриття, що наноситься;
- велика пористість покриття;
- неоднорідність структури покриття і наявність розтягуючої напруги.

Виходячи з цього при проектуванні технології плазмового наплення необхідно особливо вивчити міцність, що допускається, і пористість покриттів, що наносяться, виходячи з дійсних умов роботи деталей і необхідних експлуатаційних властивостей, які потрібні для забезпечення працездатності складальної одиниці.

2.5 Наплавлення в середовищі вуглекислого газу

Для процесу наплавлення в захисному середовищі з використанням вуглекислого газу (рис. 2.5) використовують постійний струм зворотної полярності. Тип електроду і його марка підбирається виходячи з матеріалу

оброблюваної деталі, а також необхідних властивостей матеріалу, що наноситься. Величина подання дроту визначається по силі струму, яка встановлюється так, щоб при наплавленні не виникали короткі замикання і обриви дуги. Швидкість наплавлення визначається завтовшки металу, що наноситься, і необхідної якості при формуванні шару, що наплавляється. Процес наплавлення валиків роблять з кроком 2,5... 3,5 мм. Перекриття подальших валиків попередніх повинно бути не менше чим на третину отримуваної ширини валика.

Нині виконаний ряд розробок в цій області з використанням сучасних комп'ютеризованих електроприводів на основі вентильних електродвигунів спеціальної розробки. Зокрема, це дозволило реалізувати практично будь-який алгоритм руху електродного дроту, включаючи реверсивний рух з регулюванням усіх складових, а саме: частота, крок, амплітуда імпульсів, а також шпаруватість. При цьому досягнутий частотний діапазон, що перевищує 50 Гц. Розширені технічні характеристики нових систем подання електродного дроту дали можливість істотно просунути дослідження в частині управління геометричними характеристиками зварного з'єднання, оптимізації енергетичних витрат і втрат електродного металу.

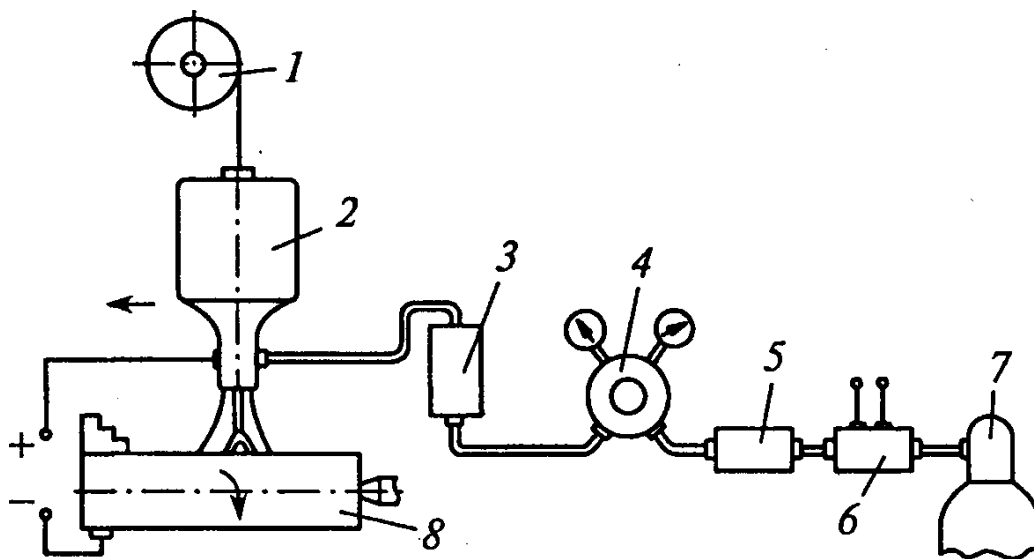
Виділимо переваги наплавлення в середовищі захисних газів [20, 23, 25]:

- Украв висока якість покриття, що наноситься, стосовно різноманітних металів і сплавів різної товщини;
- висока міцність покриття, що наноситься, і можливість забезпечення однорідності по хімічному складу для покриття, що наноситься, і основного металу;
- можливість виконання просторового наплавлення;
- можливість спостереження за операцією, це важливо при проведенні напівавтоматичного наплавлення;
- відсутність додаткових операцій, пов'язаних із засипкою і прибиранням флюсу і видаленням шлаку;

- висока продуктивність і простота механізації і автоматизації технології;
- низька собівартість технології, при застосуванні активних захисних газів.

До недоліків механізованого наплавлення в захисному газі відносяться:

- схильність покриття до тріщиноутворення;
- висока поверхнева напруга;
- сильне розбризкування рідкого металу, яке призводить до засмічення сопла пальника.



- 1 — касета з дротом; 2 — апарат для наплавлення; 3 — витратомір;
 4 — редуктор; 5 — осушувач; 6 — нагрівальний елемент; 7 — балон із захисним газом; 8 — відновлювана деталь

Рисунок 2.5 - Схема устаткування для дугового наплавлення у вуглекислому газі

Укладення по другому розділу

В процесі аналізу нами були розглянуті технології:

- ручне дугове наплавлення із застосуванням штучних електродів;
- газополум'яне наплення із застосуванням металевих порошків;
- металізація електродуги із застосуванням дротів;
- плазменне наплавлення із застосуванням металевих порошків;

- наплавлення в середовищі вуглекислого газу із застосуванням дроту суцільного перерізу.

Після розгляду переваг і недоліків описаних вище способів приймаємо рішення для проектного технологічного процесу відновлення деталі використати наплавлення в середовищі вуглекислого газу із застосуванням дроту суцільного перерізу.

3 ПРОЕКТНА ТЕХНОЛОГІЯ НАПЛАВЛЕННЯ

3.1 Вибір захисного середовища

Проводити наплавлення як в інертних, так і активних газах, крім того в їх сумішах. При цьому можна застосувати:

- чистий аргон (Ar) Би і В по ГОСТ 10157;
- першосортний технічний гелій (He) по МРТУ 51-77;
- вуглекислий газ (CO₂) по ГОСТ 8050;
- кисень (O₂) газоподібний технічний по ГОСТ 5583.

Для операції зварювання і наплавлення на сталь 45 можуть бути

використані захисні гази:

- чистий CO₂;
- інертні гази (Ar, He);
- суміш інертних газів з активними газами (Ar+CO₂).

Діоксид вуглецю довгий час переважно використали в країнах Східної Європи і країнах, що розвиваються, завдяки його відносно низькій вартості і доступності. Проте такі істотні недоліки зварювання в CO₂ серійними кремнемарганцевими дротами, як підвищений рівень розбризкування і наприскування електродного металу, не широке і глибоке проплавлення основного металу з високим валиком, частенько погані фізико-механічні властивості металу шва і особливо його ударна в'язкість при негативних температурах стали причиною того, що останнім часом і в цих країнах спостерігаються стійкі тенденції до витіснення CO₂ сумішами газів на основі аргону в тих галузях, де приділяється підвищена увага до показник якості метал шов і зварне з'єднання.

Серед деяких промислово розвинених країн тільки продовжує зберігатися високі об'єми застосування зварювання в CO₂ (близько 70%

загального об'єму зварювальних робіт, що виконуються механізованим зварюванням в захисних газах в Японії). Це пов'язано з необхідністю економії енергетичних ресурсів, оскільки виробництво аргону в порівнянні з CO_2 має підвищену енергоємність. Тому роботи по зменшенню недоліків процесу зварювання в CO_2 ведуться у напрямі вдосконалення джерел живлення або використання нових зварювальних дротів як суцільного перерізу, так і порошкових.

Розвиток зварювання плавленням як одного з найважливіших технологічних процесів у промисловості та будівництві тісно пов'язане з розробкою способів захисту розплавленого металу від повітря. Нові перспективи застосування способу зварювання сталей в активних захисних газах відкрило використання сумішей аргону з окисними газами CO_2 та O_2 . Найбільшого поширення набули суміші $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ та $\text{Ar} + \text{O}_2$. Залежно від класу сталей, що зварюються, у складі сумішей газів на основі аргону може бути присутнім 0,5...8 % O_2 і 3...25 % CO_2 .

Застосування при зварюванні плавким електродом окислювальних газових сумішей на основі аргону дозволило усунути або зменшити вплив багатьох недоліків, які властиві процесу зварювання в чистому вуглекислому газі. Зокрема, вдалося значно понизити розбризкування і наприскування електродного металу, підвищити якість формування швів, зменшити витрату електродного дроту, поліпшити механічні властивості швів і підвищити їх стійкість проти зародження і поширення крихких руйнувань.

Відома захисна газова суміш, що складається з 80% $\text{Ar} + 15\% \text{CO}_2 + 5\% \text{O}_2$, що забезпечує високу якість металу зварних швів і значне зменшення розбризкування при зварюванні із струминним перенесенням електродного металу.

За відсутності струминного перенесення процес зварювання в цій суміші практично не відрізняється від зварювання в CO_2 і характеризується інтенсивним розбризкуванням електродного металу до грубо-лускатим формуванням поверхні шва.

Це значно погіршує зовнішній вигляд зварюваного виробу і як наслідок звужує сферу застосування захисних газових сумішей.

Для техпроцесса зупиняємо свій вибір на наплавленні в чистому вуглекислому газі. Це дозволить отримати якісне наплавлення без використання комбінації різних газів.

3.2 Розрахунок параметрів режиму наплавлення

Основними параметрами режимів наплавлення в вуглекислому газі дротами суцільного перерізу є [22]: 1) рід струму і його полярність;

2) діаметр електродного дроту; 3) сила струму зварювання; 4) напруга дуги;

5) швидкість подання дроту; 6) виліт електроду; 7) витрата вуглекислого газу; 8) нахил електроду відносно шва і швидкості зварювання.

Рід і полярність струму

При наплавленні в захисному середовищі вуглекислого газу необхідно застосувати постійний струм зворотної полярності зважаючи на нестійке горіння дуги при зварюванні струмом прямої полярності. Змінний струм є сенс використати тільки в сукупності з осцилятором, але для більшості даних варіантів рекомендується використати тільки постійний струм.

Діаметр електродного дроту

Для розрахунків використовуємо дріт з діаметром 0,8 мм. Цей розмір повинен забезпечити стабільність при підтримці горіння дуги і перенесенні металу в зоні розплаву.

Сила струму зварювання

Розрахунок струму зварювання при зварюванні дротом суцільного перерізу виконуємо по формулі:

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi \cdot d_z^2 \cdot a}{4},$$

Де $I_{св}$ - струм зварювання, А;

$d_э$ - діаметр електродного дроту, мм;

a - щільність струму в електродному дроті ($a=110...130$ А/мм²).

$$I_{св} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 130}{4} = 65 \text{ А.}$$

Напруга на дузі

Напруга дуги прямо пропорціонально довжині дуги. З ростом напруги дуги росте ширина шва і знижується глибина його провару. Встановлюємо напругу дуги при виборі сили струму зварювання. При наплавленні вибираємо мінімально допустиму напругу дуги зважаючи на необхідність мінімальне проплавлення.

Напругу дуги і витрату вуглекислого газу вибираємо з розрахунку сили струму зварювання по таблиці. 2.2. Приймаємо U_d при наплавленні 17.20 В.

Таблиця 3.1 - Показники напруги дуги і витрати захисного газу залежно від сили струму зварювання

Сила струму зварювання, А	50...60	90...100	150...160	220...240	280...300
Напруга дуги, В	17...28	19...20	21...22	25...27	28...30
Витрата вуглекислого газу, л/хв	8...10	8...10	9...10	15...16	15...16

Швидкість подання електродного дроту

Величину швидкості подання дроту обумовлює стійке горіння дуги при підібраній напрузі.

Величину подання дроту $V_{пр}$ підбираємо виходячи з прийнятого струму зварювання $I_{св}$ і діаметру зварювального дроту $d_{пр}$ по формулі:

$$V_{пр} = \frac{4a_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_э^2 \cdot \rho},$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення дроту, г/А год;

ρ - щільність металу електродного дроту, г/см³.

Значення ρ розраховується по формулі:

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \frac{I_{св}}{d_3}.$$

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \frac{65}{0,8} = 9,5 \text{ г/А год}; \quad V_{пр} = \frac{4 \cdot 9,5 \cdot 65}{3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 7,8} = 157 \text{ м/год}.$$

Виліт електроду

Відстань між кінцем і виходом з мундштука електроду - виліт електроду. Значення вильоту істотно впливає на стійкість протікання операції зварювання і якість отриманого зварного з'єднання. Збільшення вильоту сприяє погіршенню стійкості горіння дуги і формуванню зварного з'єднання, також відбувається збільшення розбризкування. При зварюванні з незначним вильотом погіршується можливість спостереження за процесом зварювання і частенько швидко виходить з ладу контактний наконечник. Значення вильоту необхідно підбирати від діаметру електродного дроту.

Зважаючи на значне збільшення стійкості горіння дуги і перенесення металу із застосуванням пропонованого нами способу є можливість вибрати максимальний виліт електроду. Він в даному випадку для дроту 0,8 мм буде 8...15 мм.

Витрата захисного газу

Витрату заащитного газу підбираємо від величини сили струму, швидкості зварювання, вибраного типу зварного з'єднання, а також вильоту електроду. В середньому газ витрачається зі швидкістю від 5 до 20 л/хв.

Для струму 65 А відповідно до таблиці. 3.1 приймаємо витрату захисного газу межах 8...10 л/хв.

Швидкість наплавлення

При перевищенні рекомендованих величин швидкості наплавлення кінець

електроду може покинути захисне середовище і станеться його окислення на повітрі.

Швидкість наплавлення розраховується згідно формули:

$$V_H = \frac{a_H \cdot I_{CB}}{100 \cdot F_B \cdot \rho}$$

де α_H – коефіцієнт наплавки, г/А·год ;

$$a_i = a_{\delta}(1 - \psi),$$

де ψ – коефіцієнт втрат на чад і розбризкування (при зварюванні

в CO_2 $\psi=0,1...0,15$);

F_B - площа поперечного перерізу наплавленого валика, см² (приймаємо 0,05 см²);

$$a_H = 9,5(1 - 0,1) = 8,55 \text{ г/А·год}; V_{CB} = \frac{8,55 \cdot 65}{100 \cdot 0,05 \cdot 7,8} = 14,25 \text{ м/год.}$$

3.3 Пристосування для операції наплавлення

Стійка для наплавлення (рис. 3.1) складається з плити 1, вузла лінійного переміщення 2, бігунка 3, голівки зварювальної 4, стійки 5, консолі 6, касети 7, стежачих електродвигунів 8.

Вона призначена для налаштування орієнтації зварювальної голівки 4 поверхні на валу, що відносно наплавляється, і подальшого автоматизованого переміщення зварювальної голівки при виконанні наплавлення по тих, що утворюють. При наплавленні валика зварювальна голівка розташована на стійці 5. Після наплавлення валика робиться зміщення голівки на розрахункову величину, Для цього задіюється модуль лінійного переміщення 2 і бігунок 3. На консолі 6 закріплена касета 7 із зварювальним дротом. Положення голівки задане

через стежачі електродвигуни 8.

ШВП - це найбільш вживаний вид передачі гвинт-гайка кочення.

Вона використовується при перетворенні з обертального руху в зворотно-поступальний. ЗВП використовує основні технічні переваги передач типу гвинт-гайка ковзання, але при цьому відсутні недоліки у вигляді низького ККД, підвищених втрат на терті, а також підвищеного зносу.

Конструктивно ШВП складається з гвинта і гайки з криволінійними гвинтовими канавками. Канавки є доріжками кочення для гвинта і гайки кульок, які розміщені між витками.

При роботі передачі кульки, коли проходять по гвинтових канавках на гвинті свій виток, викочуються з різьблення в перепускний канал вкладиша, перевалюються через виступи різьблення, а потім відбувається їх повернення у вихідну позицію на того ж або на сусідній виток. Особливий тип виконання гайки використаний в передачах з багатозахідним різьбленням.

Кантуюче пристосування виконує функції:

- затиску валу в затискному патроні;
- подовжнього переміщення валу при наплавленні валика;
- обертання валу при зміні грані, що наплавляється.

Це пристосування дозволяє зміщувати деталі під час операції зварювання і рівномірно регулює швидкості лінійного переміщення деталі, що наплавляється. Це досягається застосуванням в конструкції клиноременного варіатора для плавної зміни частоти обертання після пробних наплавлень. Каретка з двома затискними патронами може поступально переміщатися відносно жорстко встановленої станини. Один з патронів - ведучий - при його допомозі здійснюється поворот валу при зміні грані, що наплавляється.

Пристосування (рис. 3.2) включає: електродвигун 1, варіатор 2, циліндричну 3 і черв'ячну 4 передачі, шпинделі 5, каретку в зборі 6, основа 7.

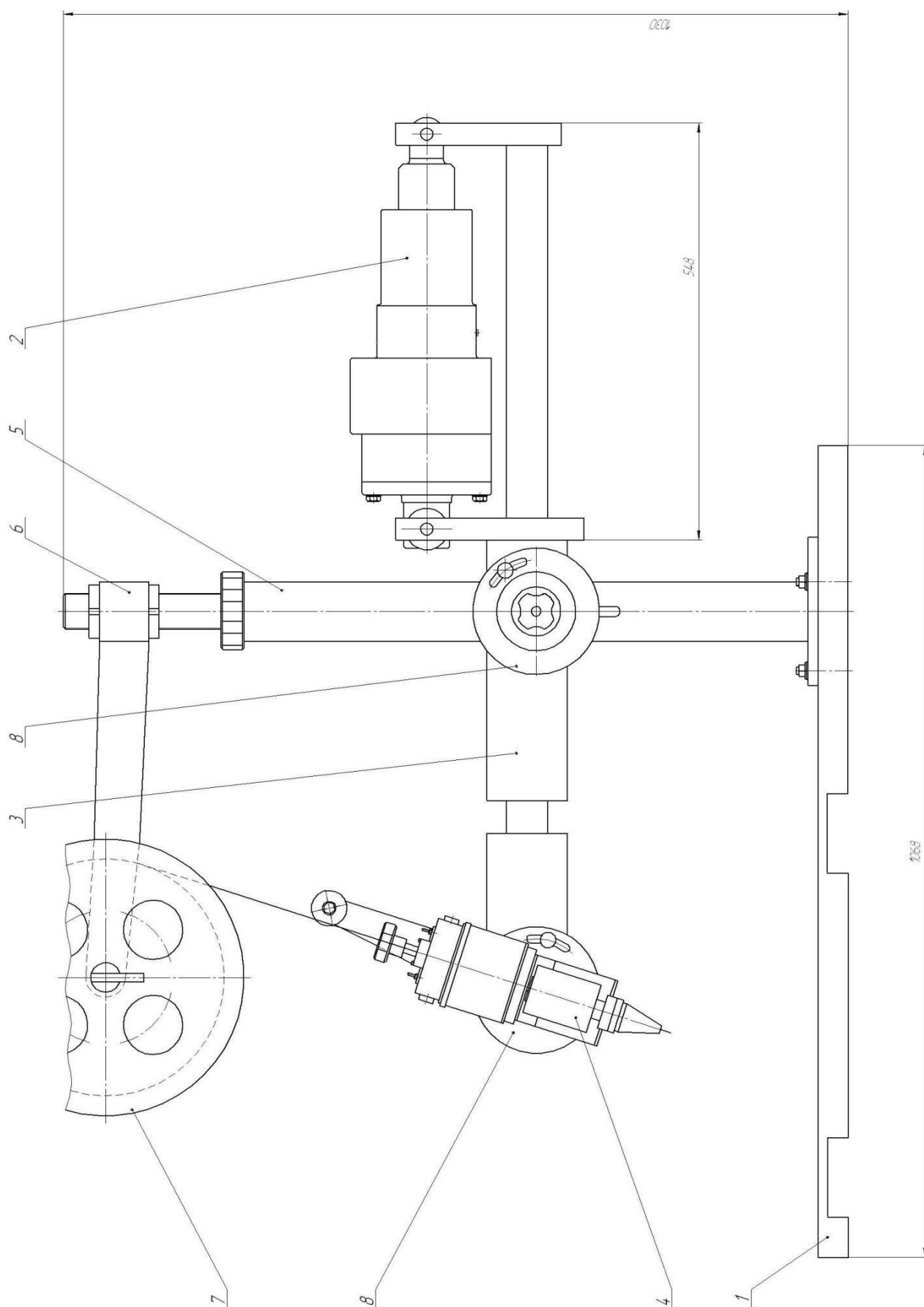


Рисунок 3.1 - Стійка для наплавлення у зборі

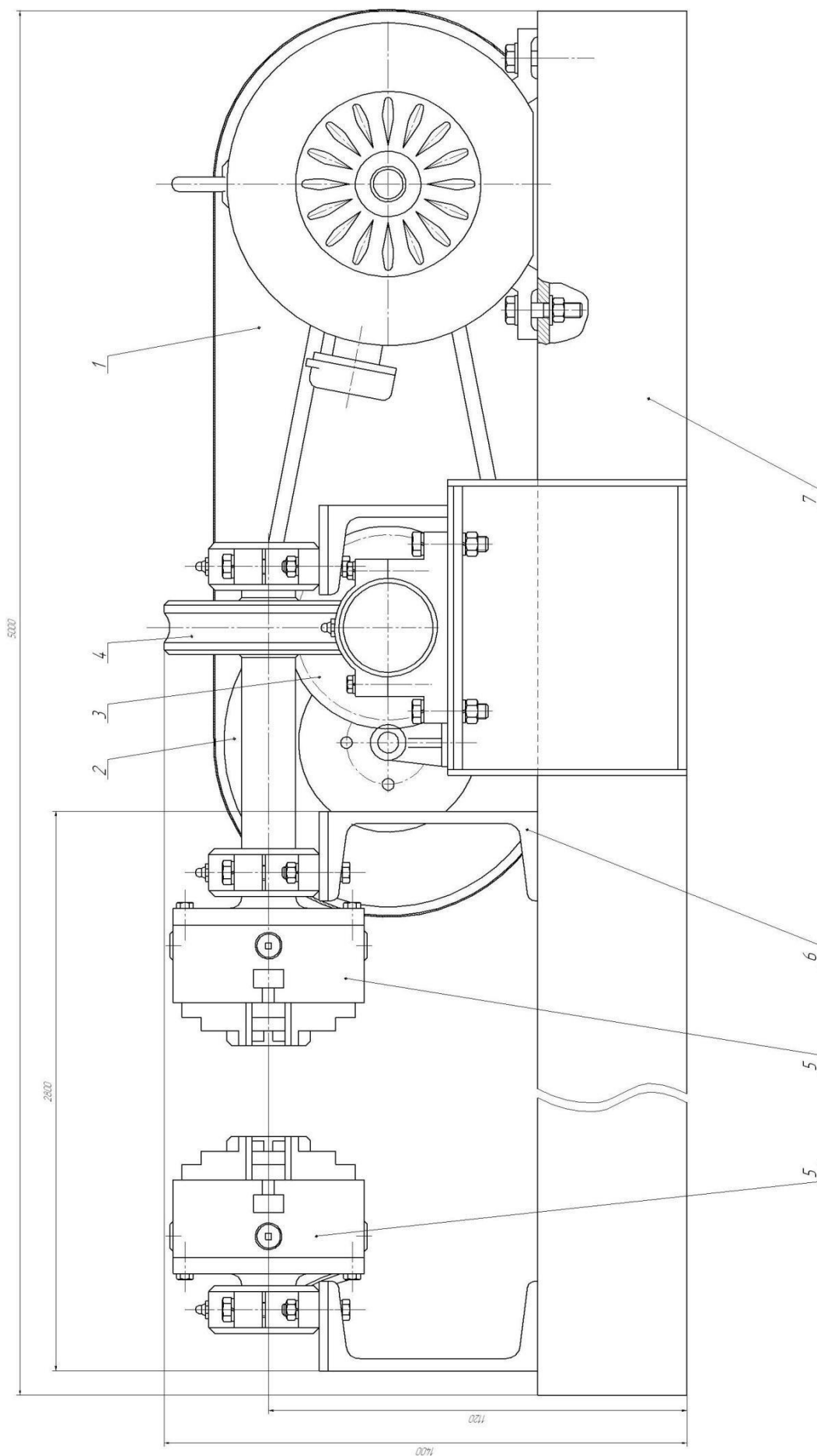
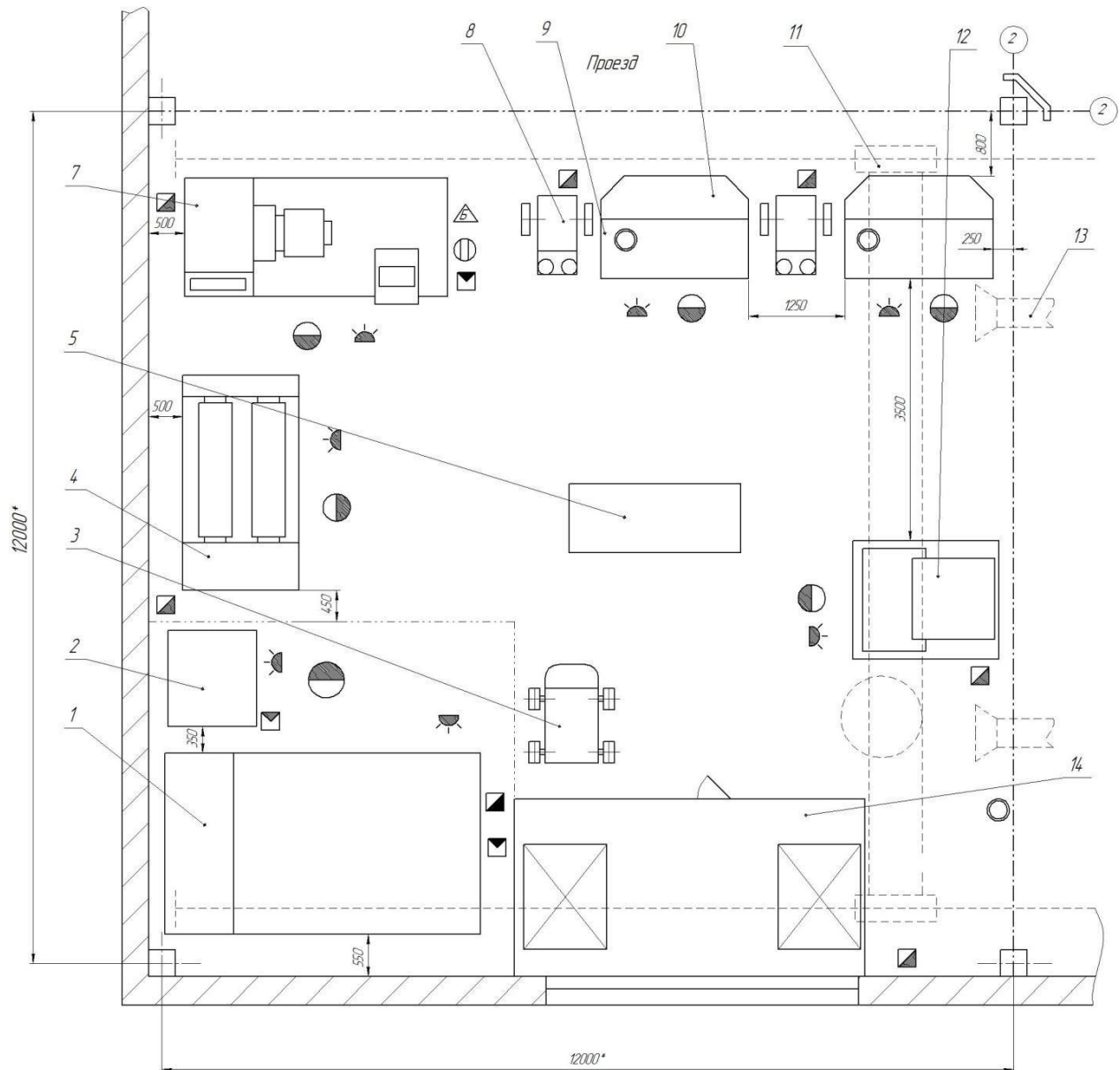


Рисунок 3.2 - Кантуоче пристосування

3.4 Планування ділянки

Загальні розміри ділянки, на якій планується впровадження технології, - довжина 12000 мм, ширина 12000 мм. Ділянка розташована в осях колон : 1-2, 1-2.



1 – пост дефектації; 2 - шафа для устаткування; 3 - візок інвентарний; 4 - зачистной пост; 5 - ящик з піском; 6 - склад для витратного інвентаря ;
 7 - верстат токарний; 8 – джерела живлення; 9 - зварювальний стіл;
 10 - зварювальна кабіна; 11 - кран; 12 - пост післяопераційного контролю; 13 - вентиляційний вузол

Рисунок 3.3 - Ділянка для наплавлення

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Технологічна характеристика об'єкту

Наплавлення валу оснащення включає наступні операції:

1) дефектацію; 2) підготовку дефектного місця; 3) попереднє підігрівання; 4) виконання наплавлення; 5) охолодження; 6) контроль якості.

Проблему поліпшення санітарно-гігієнічних характеристик в зоні зварювання вирішують шляхом розробки і устаткування робочого місця зварювальника місцевою витяжною, комплектації зварювальних голівок і утримувачів для механізованого зварювання соплами спеціальної конструкції, що дозволяють здійснювати відсмоктування зварювального аерозоля, або застосування захисної маски з системою примусового подання очищеного повітря.

Усе це додатково ускладнює і підвищує вартість зварювального устаткування, тому проводяться дослідження, спрямовані на вивчення впливу енергетичних параметрів (струму і напруги) процесу зварювання на об'єми виділення зварювальних аерозолів і їх шкідливих складових.

Зварювальні технології залишаються джерелами багатьох небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Усе це додатково ускладнює і підвищує вартість зварювального устаткування, тому проводяться дослідження, спрямовані на вивчення впливу енергетичних параметрів (струму і напруги) процесу зварювання на об'єми виділення зварювальних аерозолів і їх шкідливих складових.

Можливості впливу процесу ремонтного зварювання на гігієнічні характеристики вивчена недостатньо. Тому в цьому розділі випускної кваліфікаційної роботи необхідно виконати порівняльну гігієнічну оцінку плазмового наплавлення і запропонувати методи захисту персоналу від небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Таблиця 4.1 - Технологічний паспорт об'єкту

Найменування технологічних операцій і виконуваних робіт при здійсненні технології	Найменування посади працівника, в обов'язки якого входить виконання цієї технологічної операції	Перелік устаткування, пристроїв і пристосувань, вживаних при виконанні технологічної операції	Речовини і матеріали, вживані при виконанні технологічної операції
1. Дефектація	Інженер - дефектоскопіст	Щітка металева; Машинка шліфувальна; Лупа х4; Штангенциркуль; Лінійка сталевая; Стіл дефектовщика	Круги абразивні; Ацетон; Ветошь
2. Очистка рабочей поверхности	Слюсар-складальник	Щітка металева; Машинка шліфувальна; Лупа х4; Штангенциркуль; Лінійка сталевая; Стіл дефектовщика	Круги абразивні; Ацетон; Ветошь
3. Подготовка дефектного места	Слюсар-складальник	Щітка металева; Машинка кутова шліфувальна	Круги абразивні; Ацетон; Дрантя;
4. Здійснення відновного наплавлення	Електрозварник на автоматичних і полуавтоматических машинах	Випрямляч ВДУ- 506; Наплавлювальна голівка; Механізм подання	Вуглекислий газ; Дріт Нп- 30ХГСА
5. Проведення контролю якості відновленого виробу	Інженер - дефектоскопіст	Щітка металева; Лупа х4; Штангенциркуль; Лінійка сталевая; Стіл дефектовщика; Прес Роквеллу	-

4.2 Персональні ризики, супроводжуючі впровадження проектної технології у виробництво

Таблиця 4.2 -Професійні ризики, супроводжуючі здійснення проектної технології

Найменування технологічної операції, виконувани роботи	Небезпечні і шкідливі виробничі чинники, супроводжуючі здійснення проектної технології	Джерело появи небезпечних або шкідливих виробничих чинників
1	2	3
1. Дефектація	гострі кромки, задирки і шорсткості, присутні на поверхнях заготівель, інструменту і устаткування; рухливі частини механізмів, виробничого устаткування і машин; підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, для якого є присутнім ризик замикання через тіло людини	Лупа, твердомер ТН- 134, краї деталі
2. Очищення робочої поверхні	гострі кромки, задирки і шорсткості, присутні на поверхнях заготівель, інструменту і устаткування; рухливі частини механізмів, виробничого устаткування і машин; підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, для якого є присутнім ризик замикання через тіло людини; висока температура нагріву поверхні устаткування, заготівель і зварювальних матеріалів; підвищене значення в робочій зоні рівня інфрачервоної радіації	Щітка металева; Машинка шліфувальна; Лупа х4; Штангенциркуль; Лінійка сталевая; Стіл дефектовщика
3. Підготовка дефектного місця	гострі кромки, задирки і шорсткості, присутні на поверхнях заготівель, інструменту і устаткування; рухливі частини механізмів, виробничого устаткування і машин; підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, для якого є присутнім ризик замикання через тіло людини; висока температура нагріву поверхні устаткування, заготівель і зварювальних матеріалів;	Щітка металева; Машинка шліфувальна; Лупа х4; Штангенциркуль; Лінійка сталевая; Стіл дефектовщика

Продовження таблиці 4.2

1	2	3
4. Здійснення відновного наплавлення	підвищене значення напруги в електричному ланцюзі, для якого є присутнім ризик замикання через тіло людини; высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов; підвищене значення в робочій зоні рівня УФ випромінювання; повышенное значение в рабочей зоне уровня инфракрасной радиации	Установка дугового наплавлення
5. Проведение контролю качества восстановленного изделия	гострі кромки, задири і шорсткості, присутні на поверхнях заготівель, інструменту і устаткування; подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Лупа, твердомер ТН- 134

4.3 Пропоновані заходи по зниженню професійних ризиків

Таблиця 4.3 - Вибір методів і засобів по зниженню дії кожного небезпечного і шкідливого виробничого чинника

Перечень опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих проектную технологию	Перелік пропонованих організаційних заходів і технічних засобів, що здійснюють захист, зниження і усунення цього небезпечного і шкідливого виробничого чинника	Найменування засобу для здійснення індивідуального захисту працівника
1. Гострі кромки, задири і шорсткості, присутні на поверхнях заготівель, інструменту і устаткування;	Проведення періодичного інструктажу, що роз'яснює працівникам питання техніки безпеки	Рукавички, спецодяг.
2. Рухливі частини механізмів виробничого устаткування і машин	Наносити застережні написи, виконувати відповідне забарвлення, застосовувати обгороджування	-
3. Висока температура нагріву поверхні устаткування, заготівель і зварювальних матеріалів	Проведення періодичного інструктажу, що роз'яснює працівникам питання техніки безпеки	Спецодяг, рукавички

Продовження таблиці 4.3

1	2	3
4. Ризик замикання через тіло людини електричного ланцюга, що має підвищене значення напруги	Пристрій і періодичний контроль заземлення електричних машин і ізоляції	-
5. Підвищене значення в робочій зоні рівня інфрачервоний радіації	Здійснення екранування зони зварювання з використанням щитів	Спецодяг, маска зварювальника
6. Повышенное значение в рабочей зоне уровня УФ випромінювання	Здійснення екранування зони зварювання з використанням щитів	Спецодяг, маска зварювальника

4.4 Пропоновані заходи по забезпеченню пожежної

безпеки

Таблиця 4.4 - Технічні засоби, що забезпечують пожежну безпеку

технологічного об'єкту

Перелік первинних засобів для проведення гасіння займання	Перелік мобільних засобів для проведення гасіння займання	Перелік стаціонарних систем і установок для проведення гасіння займання	Пожежна автоматика для проведення гасіння займання	Перелік пожежного устаткування, для проведення гасіння займання	Перелік засобів індивідуального захисту і порятунку людей, що застосовуються при пожежі	Перелік пожежного інструменту для проведення гасіння	Перелік пожежної сигналізації, зв'язку і систем сповіщення
Ящики піском, кошма, вогнегасник ОП- 5	-	-	-	-	План евакуації	Лопата, багор, сокира	кнопка сповіщення про пожежу

Таблиця 4.5 - Виявлення класів і небезпечних чинників можливої пожежі

Ділянка, підрозділ	Устаткування	Клас пожежі	Небезпечні чинники пожежі	Супутні прояви чинників пожежі
Ділянка, на якій здійснюється відновне наплавлення	Установка наплавлення, термічна піч	пожежі, які відбуваються за рахунок займання і горіння речовин і матеріалів на електроустановках, що живлять електричною напругою (Е)	Полум'я і іскри; тепловий потік; підвищена температура довкілля; підвищена концентрація токсичних продуктів горіння і термічного розкладання; зменшення концентрації кисню; зниження видимості в диму	замикання на тих, що проводять струм частинах технологічних установок, агрегатів виробів високої напруги; термохімічна дія використовуваних при пожежі огнетушачних речовин, на предмети і людей

Таблиця 4.6 - Перелік організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення пожежної безпеки технічного об'єкту

Найменування технологічного процесу	Організаційне, що реалізовується, або технічний захід	Вимоги по забезпеченню пожежної безпеки
Підготовка дефектної ділянки, відновне наплавлення, контроль якості	Проведення ознайомлювальних заходів з робочим персоналом і службовцями, метою яких є доведення до них правил пожежної безпеки, використання засобів наочної агітації по пожежній безпеці. Навчання по забезпеченню пожежної безпеки з виробничим персоналом і службовцями	Необхідно забезпечити достатню кількість первичних засобів пожежогасіння, застосування захисних екранів з метою обмеження розльоту іскр.

Укладення по охороні праці

В ході виконання екологічного розділу було зроблено виявлення небезпечних і шкідливих виробничих чинників, поява яких можлива при впровадженні проектної технології у виробництво. Проведений аналіз можливості і заходів по усуненню і зменшенню небезпечних і шкідливих виробничих чинників. В результаті проведення цього аналізу встановлено, небезпечні і шкідливі виробничі чинники можуть бути усунені або зменшені до необхідного рівня із застосуванням стандартних засобів безпеки і санітарії виробництва.

5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

5.1 Методика розрахунку економічної ефективності відновлення деталей

Якість і економічна доцільність проведення ремонтно-відновних робіт має велике значення в промисловому і сільськогосподарському виробництві.

Часто з тих або інших причин не вдається придбати новий, замість зношеного елементу машини або механізму, зважаючи на що виникає необхідність проведення ремонту в умовах власної майстерні.

Використовуючи традиційні методи відновлення деталей, вдається ефективно відновити номінальні розміри з вказаними в ТУ допусками, а також продовжити експлуатаційний ресурс шляхом зміцнення і усунення наслідків зносу, деформаційних і інших процесів.

Ефективність відновлення деталей під час ремонту машин важлива ще й тому, що усуваються небажані значні перерви при виконанні необхідних операцій загального виробничого технологічного процесу, тобто зменшуються матеріальні затрати за рахунок зних простоїв техніки.

Таким чином, розрахунки доцільності і ефективності відновлення деталей можна одержати порівнюючи витрати при діючий чи пропонованій до впровадження технології виробництва.

Доцільність відновлення також можна оцінити співвідношенням ціни нової деталі із собівартістю відновленої. Рахується, що ремонт економічно вигідний, якщо собівартість відновлення менша, або дорівнює витратам на нову деталь. Ця виглядає наступним чином:

$$C_v \leq B_n,$$

де C_v - собівартість відновлення дефектної деталі;

B_n - вартість нової деталі з урахуванням всіх торгово-заготівельних і транспортних витрат, грн.

Така умова об'єктивно оцінює економічну доцільність відновлення, якщо

споживча якість відновленої деталі така ж як у нової, ресурс деталей однаковий. Якщо ж ресурс після відновлення деталі змінився, тоді економічну доцільність відновлення одержують, враховуючи зниження питомих витрат на одиницю ресурсу [23]:

$$\frac{B_n - B_{2зал}}{T_n} \geq \frac{B_{1зал} + C_v - B_{2зал}}{T_p},$$

де $B_{1зал}$ - залишкова вартість деталі (вартість ремонтного фонду), грн. ($B_{1зал} = 1,2 \cdot B_{2зал}$);

$B_{2зал}$ - залишкова вартість деталі до закінчення терміну її служби, грн. ($B_{2зал} = (0,025-0,03) \cdot B_n$);

C_v - собівартість відновлення деталі, грн;

T_p - термін служби деталі після відновлення, мото-год,

($T_p = (0,8 - 1,1) \cdot T_n$);

T_n - термін роботи нової деталі до чергового ремонтного впливу (ресурс) мото-год; ($T_n = 1000-6000$ мото-год, в залежності від виробників деталі, умов роботи тощо).

«Ліва частина нерівності є критерій ефективності відновлення, а права частина дійсний критерій ефективності відновлення деталі.

У роботі необхідно спочатку визначити критерій ефективності відновлення K_e »[23]:

$$K_e = \frac{B_n - B_{2зал}}{T_n},$$

де K_e - граничне значення критерію ефективності на одиницю ресурсу, грн / мото-год .;

«Після одержання критерію ефективності відновлення треба розрахувати дійсний критерій ефективності відновлення деталі :

$$K_e = \frac{B_{1\text{зал}} + C_e - B_{2\text{зал}}}{T_p},$$

де K_e - граничне значення критерію ефективності в грошовому вираженні на одиницю ресурсу, грн / мото-год. ;

«Собівартість відновлення деталей враховує всі витрати виробництва по здійсненню виробничого процесу та визначається за формулою» :

$$C_e = B_m + Z_{nl} + B_{obl} + B_{ni} + B_{ц} + B_{нев},$$

де C_e - собівартість відновлення деталі, грн;

B_m - вартість ремонтних матеріалів $B_m = (0,25 - 0,40) \cdot B_{1\text{зал}}$, грн;

Z_{nl} - повна заробітна плата виробничих робочих з відрахуваннями на соціальне страхування, грн;

B_{obl} - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн;

B_{ni} - витрати на утримання інструменту, пристроїв і оснащення

$B_{ni} = (0,1 - 0,15) \cdot B_{obl}$, грн;

$B_{ц}$ - цехові витрати, грн;

$B_{нев}$ - невиробничі витрати, що являють собою витрати по збуту продукції (тару, упаковка, витрати на доставку та інші витрати, пов'язані зі збутом продукції), грн.,

$B_{нев}$ дорівнює 3% від виробничої собівартості, тобто

$$B_{нев} = 0,03 (B_m + Z_{nl} + B_{obl} + B_{ni} + B_{ц}).$$

Основна та додаткова заробітна плата виробничих робітників з відрахуваннями до державних страхових фондів визначають з наступної формули :

$$Z_{nl} = \left(\frac{T_{н1} \cdot C_1}{60} + \frac{T_{н2} \cdot C_2}{60} + \dots + \frac{T_{н6} \cdot C_6}{60} \right) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{с.с} = T_{шт} \cdot C_{ср.год} \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{с.с},$$

де $T_{н1}, T_{н2} \dots T_{н6}$ - норма часу на виконання операцій з першого по шостий розряд (з урахуванням підготовчого часу) в розрахунку на одну деталь, хв;

$C_1 C_2 \dots C_6$ - тарифна ставка робітника відповідного розряду, грн./год;

$C_{cp.год}$ - годинна тарифна ставка робітника середнього розряду, грн/год. Приймаємо $C_{cp.год} = 88,6$ грн / год , що відповідає теперішнім нормам годинних тарифних ставок робітників відповідного розряду;

$T_{ум}$ - трудомісткість відновлення деталі, люд-год – (розраховується як сума трудомісткостей операцій по відновленню деталей, данні яких беруться з технологічної документації);

K_c , K_o , $K_{c.c}$ - коефіцієнти, що враховують, відповідно, доплату за понаднормові та інші роботи ($K_c = 1,025-1,03$), додаткову заробітну плату ($K_o = 1,1-1,3$) і відрахування в державні соціальні фонди ($K_{c.c} = 1,425$).

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання визначають у відсотковому відношенні від амортизації обладнання за формулою» [23]:

$$B_{обл} = 2,49 \sum_{j=1}^m \frac{Ц_{aj} \cdot a_j \cdot t_j}{100 \cdot \Phi_o \cdot \eta_{oj}},$$

де $Ц_{aj}$ - балансова вартість обладнання, на якому виконується j -а операція, грн;

a_j - норми амортизаційних відрахувань по обладнанню з j -й операції, % (для стендового обладнання $a_j = 20\%$ для верстатного обладнання $a_j = 10\%$, для зварювально-наплавочного обладнання $a_j = 40\%$);

t_j - трудомісткість j -й операції, люд-год ;

Φ_o - дійсний річний фонд часу обладнання, год – (приймається при однозмінному режимі роботи рівним 2000 год.);

η_{oj} - коефіцієнт завантаження обладнання на j -й операції – (для токарних операцій $\eta_{oj} = 0,65$, фрезерних $\eta_{oj} = 0,87$, шліфувальних $\eta_{oj} = 0,93$, наплавочних $\eta_{oj} = 0,48$, зварювальних $\eta_{oj} = 0,70$).

Цехові витрати визначаються за формулою[23]:

$$B_{ц} = 2,33(0,3 \cdot Z_{пл} + 0,17 \cdot B_{обл}),$$

Виконані розрахунки дають змогу провести порівняльний аналіз одержаних значень критерію ефективності відновлення і дійсного критерію ефективності відновлення деталі.

Якщо при відновленні деталей питомі витрати в розрахунку на одиницю

ресурсу зменшуються, то такі ремонтні роботи економічно виправдані. Тобто, якщо $K_e \leq K_e$ - дійсний критерій ефективності використання деталі після відновлення менше або, в крайньому випадку, дорівнює граничним значенням, визначеним до проведення відновлення, то відновлення деталі доцільно.

5.2 Результати розрахунку економічної ефективності відновлення ведучої розтискного кулака гальмівної системи автомобіля МАЗ

1. Визначаємо залишкову вартість деталі до моменту закінчення терміну її служби або вибраковування:

$$B_{2\text{зал}} = (0,025 - 0,03) \cdot B_n = 0,03 \cdot 3400 = 102 \text{ грн.}$$

2. Визначаємо критерій ефективності відновлення за формулою (5.3):

$$K_e = (B_n - B_{2\text{зал}}) / T_n = 3400 - 102 / 4000 = 0,82 \text{ грн/мото-год.}$$

3. Визначаємо залишкову вартість деталі з урахуванням всіх транспортно-заготовчих витрат (вартість ремонтного фонду):

$$B_{1\text{зал}} = 1,2 \cdot B_{2\text{зал}} = 1,2 \cdot 102 = 122,4 \text{ грн.}$$

4. Витрати на ремонтні матеріали дорівнюють:

$$B_m = (0,25 - 0,40) \cdot B_{1\text{зал}} = 0,40 \cdot 122,4 = 48,96 \text{ грн.}$$

5. Основну та додаткову заробітну плату виробничих робітників з відрахуваннями до страхових фондів визначаємо за формулою (5.6):

$$Z_{\text{пл}} = \left(\frac{T_{\text{н1}} \cdot C_1}{60} + \frac{T_{\text{н2}} \cdot C_2}{60} + \dots + \frac{T_{\text{н6}} \cdot C_6}{60} \right) \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{c.c} = T_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ср.год}} \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_{c.c} =$$

$$= 0,7 \cdot 88,6 \cdot 1,03 \cdot 1,3 \cdot 1,42 = 117,9 \text{ грн.}$$

6. Витрати на утримання і експлуатацію обладнання визначаємо за формулою (5.7):

$$B = 2,49 \sum_{j=1}^m \frac{U_{aj} \cdot a_j \cdot t_j}{100 \cdot \Phi_d \cdot \eta_{aj}} = 2,49 \left(\frac{22000 \cdot 40 \cdot 0,26}{100 \cdot 2000 \cdot 0,70} + \frac{(34500 \cdot 10 \cdot 0,3)}{(100 \cdot 2000 \cdot 0,65)} \right) + \left(\frac{92000 \cdot 10 \cdot 0,2}{(100 \cdot 2000 \cdot 0,93)} \right) = 5,85 \text{ грн.}$$

7. Витрати на утримання інструменту, пристроїв і оснащення цільового призначення складуть:

$$B_{ni} = (0,1 - 0,15) \cdot B_{обл} = 0,15 \cdot 5,85 = 0,88 \text{ грн.}$$

8. Цехові витрати визначаємо за формулою (5.8):

$$B = 2,33(0,3 \cdot 3_{nл} + 0,17 \cdot B_{бл}) = 2,33(0,3 \cdot 117,9 + 0,17 \cdot 5,85) = 83,47 \text{ грн.}$$

9. Невиробничі витрати визначимо з виразу:

$$B_{нв} = 0,03 (B_m + 3_{нл} + B_{обл} + B_{ni} + B_{ц}) = 0,03 (48,96 + 117,9 + 5,85 + 0,88 + 83,47) = 7,71 \text{ грн.}$$

10. Визначаємо собівартість відновлення деталі по формулі (5.5):

$$\begin{aligned} C_v &= B_m + 3_{нл} + B_{обл} + B_{ni} + B_{ц} + B_{нв} = \\ &= 48,96 + 117,9 + 5,85 + 0,88 + 83,47 + 7,71 = 262,26 \text{ грн.} \end{aligned}$$

11. Дійсний критерій ефективності відновлення деталі по формулі (5.4):

$$K_v = B_{зал} + C_v - B_{2зал} = 122,4 + 262,26 - 102/3600 = 0,08 \text{ грн/мото-год.}$$

$$T_p = 0,9 \cdot T_n = 0,9 \cdot 4000 = 3600 \text{ мото-год.}$$

Так як $K_v \leq K_e$ – розжимний кулак гальмівної системи доцільно відновлювати.

12. Економія від відновлення однієї деталі складе:

$$E = B - C_v = 3400 - 262,26 = 3137,74 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 Техніко-економічні показники ефективності відновлення

Найменування показника	Значення показника
1. Вартість нової деталі B_n , грн.	3400
2. Залишкова вартість деталі $B_{зал}$, грн.	122,4
3. Залишкова вартість деталі до моменту закінчення терміну її служби або вибраковування $B_{2зал}$, грн.	102,0
4. Термін служби нової деталі T_n , мото-год.	4000
5. Термін служби деталі після відновлення, T_p , мото-год.	3600
6. Собівартість відновлення деталі C_v , грн.	262,26
7. Граничне значення критерію ефективності відновлення деталі K_e , грн/мото-год.	0,82
8. Дійсний критерій ефективності відновлення деталі K_v , грн/мото-год.	0,08
9. Економія від відновлення однієї деталі складе, грн.	3137

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі виконано обґрунтування технологічного процесу відновлення розжимного кулака гальмівної системи автомобіля МАЗ, виконані розробки по поліпшенню організації робіт на зварювально – наплавлювальній ділянці, модернізовано стенд для виконання зварювальних робіт.

Проведено розрахунок технологічного процесу відновлення розжимного кулака гальмівної системи автомобіля МАЗ.

Впровадження модернізованого стенду у виробництво дозволить зменшити час виконання операцій, поліпшити умови праці.

Розроблені заходи щодо організації безпечних і нешкідливих умов праці, заходів щодо протипожежної профілактики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лобанов, М.Л. Новые возможности механизированной дуговой точечной сварки с применением импульсных воздействий / Л.М. Лобанов, В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – № 5. – С. 17–22.
2. Amin M. Pulse current parameters for arc stability and controlled metal transfer in arc welding / M. Amin // Welding Journal. – 1983. – № 5. – P. 272– 278.
3. Патон, Б.Е. Використання механічних імпульсів для управління процесами автоматичного і механізованого зварювання / Б.Е. Патон, В. А. Лебедев, С. І. Полосков, И.В. Лендел // Зварювання і діагностика. - 2013. - № 6. - С. 16-20.
4. Лебедев В.А., Лендел И.В. Исследование технологических возможностей дуговой сварки и наплавки с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел // Научные технологии в машиностроении. – 2013. – № 9. – С. 20–27.
5. Лебедев, В.А. Особенности сварки сталей с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. – 2007. – №. 8. – С. 30–35.
6. Бабинец, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла / А.А. Бабинец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.
7. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
8. Лебедев, В.А. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 3. – С. 25–30.
9. Металлургия дуговой сварки. Процессы в дуге и плавление электродов /

Под ред. И.К. Походни. – Киев: Наук. думка, 1990. – 224 с.

10. Ланкин, Ю.Н. Показатели стабильности процесса дуговой сварки плавящимся электродом / Ю.Н. Ланкин // Автоматическая сварка. – 2011. – № 1. – С. 7–15.

11. Лендел, И.В. Влияние импульсной подачи электродной проволоки на формирование и износостойкость наплавленного валика, а также потери электродного металла при дуговой наплавке в углекислом газе / И.В. Лендел, С.Ю. Максимов, В.А. Лебедев, О.А. Козырко // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5–6. – С. 46–48.

12. Stava E. K. The surface-tension transfer power source: A new, low-spatter arc welding machine // Welding J. — 1993. — № 1. — P. 25–29.

13. Рябцев И.А., Сенченков И.К. Теория и практика наплавочных работ. – Киев: Екотехнологія, 2013. – 400 с.

14. Harvey R. Castner. Gas metal arc welding using pulsed fume generation current. WELDING RESEARCH SUPPLEMENT. – February, 1995. – P. 59–68.

15. Жерносеков А.М. Тенденции развития управления процессами переноса металла в защитных газах (Обзор) // Автоматическая сварка. – 2012. – № 1. – С. 33–38.

16. Грибенченко, А.В. Совершенствование технологии восстановления деталей машин сельскохозяйственного назначения плазменной наплавкой: автореферат на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Волгоград: Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия. – 2006.

17. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г.А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А.И. Акулова, 1978. – 462 с.

18. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин / Зенкин А.С., Молодык Н. В. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

19. А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / Акулов А.И. Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. – М.: Машиностроение, 1977

20. Гандзюк М.П., Желібо Е.П., Халимовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. - К.: Каравела, 2005. - 393 с.

21. Краснов, А.Н. Низкотемпературная плазма в металлургии / А.Н.Краснов, С.Ю.Шаривкер, В.Г.Зильберберг М., Металлургия, 1970.

22. Плазменная наплавка металлов. Вайнерман А.Е., Шоршоров М.Х., Веселков В.Д., Новосадов В.С., изд -во «Машиностроение», 1969 г., 192 с.

23. Проектування ремонтно-технологічної документації : Методичні вказівки. / А.К. Автухов, А.В. Тіхонов, В. А. Бантковский, В. Ф. Карпусенко. - Харків, ХДТУСГ, 2001 - 45 с.

24. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1: Практикум з ремонту машин / [О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонов, Т.С. Скобло] За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. - Харків: ТОВ «Пром-Арт» 2018. – 416 с

25.Хасуй А., Мorigаки О. Наплавка и напыление. М. Машиностроение. 1985. 239 с.

26. Булей І.А. Проектування підприємств з виробництва і ремонту сільськогосподарських машин. – К.: Вища школа, 1993. – 286 с.

27. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.

28. Зінько Р.В., Лозовий І.С., Скварок Ю.Ю. Ремонт автомобіля: навчальний посібник. Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка, 2012. – 272 с.