

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Кафедра технології і обладнання зварювального виробництва

(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

**магістр**

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему:

**«Обґрунтування параметрів технологічного процесу  
виготовлення виробів циліндричної форми»**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МЗм-61  
спеціальності (напряму підготовки) \_\_\_\_\_

131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Тхорик Р.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Барановський В. М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Барановський В. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Паньків М. Р.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра на тему „Обґрунтування параметрів технологічного процесу двоконтактного точкового зварювання арматури вентиляційних систем” складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаної літератури зі 25 найменувань та додатку. Основна частина виконана на 108 сторінках, містить 24 рисунки та 15 таблиць.

Метою роботи є підвищення технологічної ефективності зварювання арматури вентиляційних систем шляхом застосування способу двоконтактного точкового зварювання з обтисненням зони зварювання притискними втулками.

Дипломна робота присвячена вирішенню технічної задачі підвищення технологічної ефективності зварювання арматури вентиляційних систем під час якого зварювальні деталі стискають струмопровідними електродами, а навколо них за допомогою притискних втулок прикладають автономне додаткове стискуjące зусилля (зусилля обтиску).

Наведено розрахунок основних параметрів зварювання, економічної ефективності, заходи з охорони праці та екології.

На основі проведених досліджень обґрунтовано основні силові параметри двоконтактного точкового зварювання.

**Ключові слова:** технологія, контактне зварювання, силова рівновага, ядро металу, обтискні втулки, силові параметри.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	9
1.1. Огляд існуючих способів двоконтактного точкового зварювання виробів .....	9
1.2. Основні технологічні аспекти двоконтактного точкового зварювання виробів .....	22
1.3. Обґрунтування вибору способу двоконтактного точкового зварювання арматури вентиляційних систем .....	31
1.4. Висновки до розділу .....	35
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ .....	36
2.1. Аналіз процесу зближення та деформування арматури вентиляційних систем під час двоконтактного точкового зварювання .....	36
2.2. Розрахунок середніх значень нормального напруження в контакті деталь-деталь .....	39
2.3. Методика проведення експериментальних досліджень зусилля стиснення арматури вентиляційних систем .....	41
2.4. Результати експериментальних досліджень зусилля стиснення арматури вентиляційних систем.....	47
2.5. Висновки до розділу.....	51
3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	52
3.1. Загальна характеристика зварного виробу .....	59
3.2. Огляд технологічних процесів виготовлення зварного виробу .	55
3.3. Розрахунок параметрів режиму контактного точкового зварювання арматури .....	61
3.4. Складання технологічного процесу виготовлення виробу .....	69
4. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	74
4.1. Перевірочний розрахунок міцності зварного виробу .....	74
4.2. Вибір баз, упорів та затискних елементів пристосувань .....	76

4.3. Розрахунок і підбір зусиль затискання, притискання .....	81
5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....	85
5.1. Розрахунок капіталовкладень на розробку та впровадження технології зварювання .....	85
5.2. Розрахунок економічного ефекту .....	91
6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....	99
6.1. Опис алгоритму розрахунку зубчатого колеса з рейкою .....	99
6.2 Розрахунок допустимих і діючих напружень зубчастої передачі .....	100
6.3. Перевірочний розрахунок зубчастої передачі .....	102
7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	104
7.1. Основні заходи охорони праці під час зварювання .....	104
6.2. Захист населення в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру .....	107
8. ЕКОЛОГІЯ .....	109
8.1. Актуальність охорони навколишнього середовища .....	109
8.2. Заходи із зменшення забруднення довкілля .....	112
ВИСНОВКИ .....	114
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	115
ДОДАТКИ .....	117

## ВСТУП

Контактне точкове зварювання – це один із способів контактного зварювання, який найбільш широко застосовується в машинобудуванні, особливо в масовому виробництві. Так, наприклад, в автомобілебудуванні близько 70% обсягу зварювальних робіт виконується саме цим способом. Також застосовують контактне точкове зварювання в інших галузях народного господарства: в тракторному та сільськогосподарському машинобудуванні, під час виробництва пасажирських і товарних вагонів, в галузях промисловості та будівництва. Цьому сприяли позитивні особливості процесу контактного точкового зварювання: незначні залишкові деформації, висока продуктивність, високий рівень механізації і автоматизації, гнучкість і універсальність технологічного процесу, відсутність допоміжних зварювальних матеріалів, висока екологічність і культура виробництва.

Контактне точкове зварювання, як і інші способи контактного зварювання, відносяться до числа високопродуктивних способів з'єднання, яке виконується автоматично без використання будь-яких зварювальних матеріалів. Цей вид зварювання став невід'ємним процесом високомеханізованих масових виробництв, де успішно використовується в період багатьох десятиріч та є один із небагатьох способів, який дозволяє з'єднувати практично всі відомі метали і сплави, забезпечуючи високу стабільність і якість з'єднання. Це робить його перспективним при створенні сучасних відповідальних конструкцій із нових матеріалів.

Досвід використання контактне точкового зварювання в нашій країні і за кордоном свідчить про те, що розвиток його іде по шляху розширення областей використання за рахунок збільшення номенклатури зварних матеріалів, так і площі зварюваних перерізів.

Разом з тим, існує ряд недоліків застосування контактного точкового зварювання для отримання нероз'ємних з'єднань у виробках відповідального призначення з сучасних конструкційних матеріалів, які працюють при

підвищених температурах, в агресивних середовищах, при динамічних навантаженнях. У цих випадках до якості точкових зварних з'єднань пред'являються підвищені вимоги по надійності і стабільності міцності, рівню залишкових деформацій, а також гарантованого рівня надійності та повної відсутності таких дефектів, як непровари і виплески.

Тому стали розвиватися способи двоконтактного точкового зварювання з програмованою зміною параметрів і режимів зварювання (зварювального струму, зусилля стиснення електродів тощо) в період формування з'єднань, які дозволяють управляти термічними деформаційними процесами, які протікають в зоні зварювання, що відкривало нові можливості підвищення якості одержуваних точкових з'єднань.

Тому дослідження технологічних процесів двоконтактного точкового зварювання арматури вентиляційних систем, які направлено на обґрунтування параметрів і режимів зварних процесів, є актуальним і важливим завданням.

Метою роботи є підвищення технологічної ефективності зварювання арматури вентиляційних систем шляхом застосування способу двоконтактного точкового зварювання з обтисненням зони зварювання притискними втулками. Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- на основі проведеного аналізу технологічних процесів і способів зварювання тонких виробів обґрунтувати доцільність застосування двоконтактного точкового зварювання з обтисненням зони зварювання притискними втулками;

- провести теоретичний аналіз основних термодформаційних процесів, які виникають в зоні двоконтактного точкового зварювання;

- обґрунтувати основні силові параметри та режими зварювання арматури вентиляційних систем двоконтактним точковим зварюванням з обтисненням зони зварювання притискними втулками;

- провести експериментальні дослідження зміни зусилля стиснення арматури вентиляційних систем двоконтактним точковим зварюванням залежно від параметрів процесу.

## 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1. Огляд існуючих способів двоконтактного точкового зварювання тонких виробів

Доцільність застосування того чи іншого способу контактного точкового зварювання деталей (зварного виробу) визначається на основі аналізу основних факторів: технічних і економічних вимог до зварних з'єднань; зварюваність металу; продуктивності зварювальних робіт; рівня механізації та автоматизації процесів; безпеки та нешкідливості роботи; вартості обладнання та матеріалів тощо.

Особливу увагу приділяють вибору способу зварювання, товщині металу зварюваних деталей, конструкції вузла, програмі та характеру виробництва, вимогам до якості та продуктивності процесу зварювання.

Основними способами контактного зварювання зварних виробів, є стикове, шовне та точкове зварювання деталей.

Контактне стикове зварювання – це процес отримання нероз'ємного зварного з'єднання деталей за допомогою деформації контактуючих торців нагрітих шляхом проходження електричного струму через них до температури, яка забезпечує локальну пластичну деформацію, при цьому воно є основним видом зварювання термомеханічного класу.

Існує два способи контактного стикового зварювання: зварювання опором, за якого торці деталей нагрівають до пластичного стану, а потім стискають; зварювання оплавленням, за якого поверхні торців деталей доводять до стану плавлення, після чого їх стискають.

Розрізняють зварювання безперервним і перервним (імпульсним) оплавленням, а також оплавленням з підігрівом.

При контактному стиковому зварюванні деталі закріплюють у затискачах і пропускають струм від трансформатора, зближуючи кінці деталей. В площині дотику деталі швидко нагріваються до зварювальної температури. Потім струм

вимикають, а деталі стискають. Нагрівання металу проходить у результаті виділення тепла в зоні контакту зварюваних деталей під час пропускання через них великого зварювального струму.

При проходженні струму в місці дотику деталей виникає великий електричний опір і виділяється тепло, яке нагріває метал до пластичного стану. Після цього торці деталей стискаються в результаті чого відбувається завершення процесу утворення нероз'ємного з'єднання. Цим способом зварюють рейки, труби, стрижні, свердла, ланцюги, різці тощо. Для захисту металу від взаємодії з газами під час застосування контактного стикового зварювання хімічно активних металів використовують захисні інертні гази.

Основним недоліком контактного стикового зварювання, є постійна необхідність видалення граду, або металу, який утворюється при стисканні деталей, при цьому видалення граду виконують методом ручного зачищення, або його видалення механічним способом відразу після зварювання [1].

Контактне шовне зварювання виконують на шовних зварювальних машинах, де замість стрижневих електродів використовують ролики. При зварюванні листів утворюється суцільний шов. За допомогою дискових роликів передається зусилля до деталей, подається струм і деталі переміщуються. Використовують такі способи контактної шовної зварювання: безперервне, перервне з безперервним обертанням роликів, перервне з періодичним обертанням роликів. Шовне зварювання використовують при виготовленні місткості з товщиною стінки 0,3...3 мм, де необхідна герметичність швів [2].

При контактному точковому зварюванні (КТЗ) листи з'єднують унапуск і затискають між мідними електродами, через які пропускають струм від трансформатора. Метал у точці опори сильно нагрівається внаслідок підвищення опору при проходженні струму за час 0,01...0,5 с [3]. Потім струм вимикають й деталі стискають за допомогою спеціального механізму електродами. При виготовленні багатьох конструкцій (вагонів, кузовів автомобілів тощо) використовують різні способи КТЗ: рельєфне (пресове), автоматичне багатоточкове, однобічне точкове та ін.



КТЗ проводять на м'яких і жорстких режимах. М'якому режимові характерні відносно малий питомий струм ( $70 \dots 160 \text{ А/мм}^2$ ), велика тривалість циклу зварювання ( $0,5 \dots 3 \text{ с}$ ) за порівняно низького тиску ( $15 \dots 40 \text{ МПа}$ ). При жорсткому режиму зварювання питомий струм становить  $160 \dots 360 \text{ А/мм}^2$ , тривалість зварювання –  $0,2 \dots 1,5 \text{ с}$  за тиску до  $150 \text{ МПа}$ . М'які режими застосовують для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей, а жорсткі – для корозієстійких сталей, алюмінію та мідних сплавів.

Технології електричного КТЗ за більш ніж столітній період свого розвитку (патент Департаменту торгівлі та мануфактури Росії на винахід точкового зварювання видано російському інженеру Н. Н. Бенардосу в 1887 р) досягли досить високого рівня досконалості та відрізняються великою різноманітністю способів їх практичного здійснення. Для створення найбільш оптимальних умов формування точкових з'єднань при зварюванні деталей з різних матеріалів, що відрізняються теплофізичними властивостями, застосовують різні види струму (змінний, постійний, низькочастотний і ін.) та різні цикли параметрів режимів зварювання, що відрізняються параметрами зусилля стиснення електродів і зварювального струму в різні періоди зварювання.

Широке використання контактного зварювання в нашій країні почалося в 30-х роках ХХ ст. після створення індустріальної бази. Контактне зварювання використовується переважно в промисловому масовому, або серійному виробництві однотипних виробів. Галузь застосування контактного зварювання надзвичайно широка – від великогабаритних будівельних конструкцій, космічних апаратів до мініатюрних напівпровідникових пристроїв і плівкових мікросхем.

Контактним зварюванням можна успішно поєднувати практично всі відомі конструкційні матеріали – низьковуглецеві і леговані сталі, жароміцні і корозійностійкі сплави, сплави на основі алюмінію, магнію, титану і ін.

Точкове зварювання – найбільш поширений спосіб, на частку якого припадає близько 70 % всіх з'єднань, які виконують контактним зварюванням. Цей спосіб зварювання широко використовують в автомобіле- і вагонобуду-

ванні, авіабудуванні, будівництві, радіоелектроніці тощо. В конструкціях сучасних авіалайнерів налічується декілька мільйонів зварних точок, в автомобілів – до 5000..7000, пасажирських залізнично дорожніх вагонів – близько 30000 точок. Діапазон зварювальних товщин – від декількох мікрометрів до 30 мм.

Стикове зварювання, переважно зварювання оплавленням, становить більше 10 % від загального обсягу застосування контактного зварювання. Стикове зварювання опором застосовують в основному при з'єднанні дроту, стрижнів і труб з вуглецевої і легированої сталі, або відносно малих компактних перетинів. У зв'язку з тим, що не завжди вдається забезпечити з'єднання високої якості, цей спосіб використовують обмежено.

Більш широке застосування знайшла стикове зварювання оплавленням, його використовують при з'єднанні трубопроводів, залізничних рейок (безстиківі шляхи) в стаціонарних та польових умовах, довгомірних заготовок з різних конструкційних сталей і сплавів, кольорових металів та ін. Також стикове зварювання застосовується при виробництві ріжучого інструменту.

Шовне зварювання за обсягом застосування займає третє місце серед контактних способів (близько 10 %) і використовується при виготовленні різних об'ємних виробів, корпусних виробів, різних труб, глушників вихлопу автомобілів, побутових мийок, баків пральних машин і шаф холодильників, плоских опалювальних радіаторів, сифонів і інших виробів, які виготовляють з листових заготовок.

Рельєфна зварювання – найменш поширений, але розповсюджуваний спосіб контактного зварювання (обсяг застосування близько 5...7 % від промислового обсягу контактних способів).

Цей спосіб використовується для кріплення кронштейнів до листовим деталям, наприклад скоби до капоту автомобіля, петлі для навішування дверей до кабіни, для з'єднання кріпильних деталей – болтів, гайок і шпильок тощо, з несучими елементами конструкцій.

Відомі способи контактного зварювання класифікують за низкою ознак (рис. 1.1):



Рис. 1.1. Класифікація контактної зварювання

- 1) за технологічним способом отримання з'єднання – точкове, рельєфне, шовне, стикове;
- 2) за конструкцією з'єднання – унапуск, стикове;
- 3) за станом металу в зоні зварювання – з розплавленням металу, без розплавлення металу;
- 4) за способом підведення струму – одностороннє, двостороннє;
- 5) за родом зварювального струму та формою імпульсу струму – змінний промисловий, підвищеної і зниженої частоти; постійний, уніполярний – струм однієї полярності зі змінною силою протягом імпульсу;
- 6) за кількістю одночасно виконуваних з'єднань – одноточкове, багатоточкове, одношовне, багатошовне – зварювання одним або декількома швами;
- 7) за наявністю додаткових з'єднувальних компонентів (клею, ґрунту, припою та ін.);

8) за характером переміщення роликів при шовному зварюванні – безперервне (з постійним обертанням роликів), крокове (із зупинкою роликів на

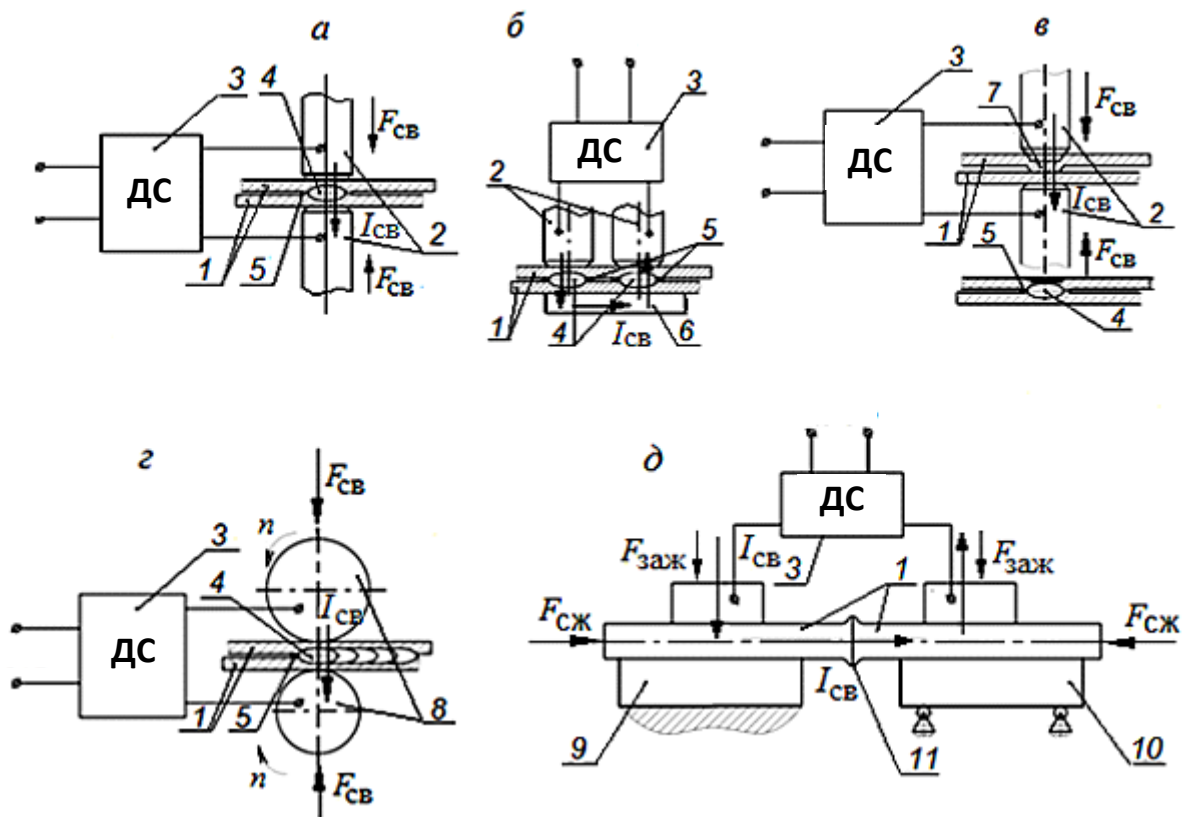


Рис. 1.2. Технологічні схеми основних способів контактного зварювання час зварювання).

Точкове зварювання – спосіб контактного зварювання, при якому деталі з'єднуються по окремих локальних ділянках дотику (по ряду точок). При точковому зварюванні (рис. 1.2а) деталі 1 збирають унапуск, стискають зусиллям  $F_{св}$  електродами 2, до яких підключено джерело електричної енергії 3. Деталі нагріваються при короткочасному проходженні зварювального струму  $I_{св}$  через ділянку електрод-електрод (рис. 1.2а) до утворення зони 4 спільного взаємного розплавлення деталей, яку називають ядром. Нагрівання зони зварювання супроводжується пластичною деформацією металу, спричиненої зусиллям стиснення в зоні контакту деталей (навколо ядра), де утворюється ущільнюючий ободок 5. Він запобігає виплеску рідкого металу, а також і від взаємодії його з навколишнім повітрям, тому спеціального захисту зони

зварювання не застосовують. Після виключення струму розплавлений метал ядра швидко кристалізується, в результаті чого утворюються металеві зв'язки між з'єднувальними деталями (рис.1.2б).

Нагрівання при точковому зварюванні проводять імпульсами змінного струму промислової частоти 50 Гц (в деяких випадках підвищеної частоти), а також імпульсами постійного, або уніполярного струму.

За способом підведення струму до зварюваних деталей розрізняють двостороннє і одностороннє зварювання. У першому випадку електроди 2 (рис. 1.1а) підводять до кожної з деталей 1, а в другому – до однієї з деталей (наприклад, верхньої, рис. 1.1б). Для підвищення густоти струму в точках торкання деталей нижню деталь притискають до мідної підкладки 6, яка сама одночасно роль опори.

Найчастіше за цикл зварювання отримують одну точку (одноточкове зварювання), рідше – одночасно дві (рис. 1.1б) і більше точок (багатоточкове зварювання).

Рельєфна зварювання – різновид точкового зварювання. Основною відмінністю цього способу є наявність попередньо сформованого рельєфу – виступи 7 (рис. 1.1в) на поверхні однієї з деталей, який обмежує початкову площу контакту деталей, в результаті чого при зварюванні в цій зоні підвищуються щільність струму і швидкість тепловиділення. У міру нагрівання, рельєф під дією зварювального зусилля поступово деформується до повного зникнення. На визначеному етапі утворення з'єднання, як правило, формується ядро 4, як при точковому зварюванні. Для виробів з великою площею з'єднувальних поверхонь на одній з деталей виконують кілька рельєфів або один протяжний виступ із замкнутим контуром, наприклад, у вигляді кільця.

У результаті після проходження зварювального струму, отримують одночасно кілька точок або безперервний щільний шов (контурне рельєфне зварювання).

Шовне зварювання – спосіб отримання герметичного з'єднання (шва) шляхом утворення ряду зварних точок, які частково перекриваються одна

одною. Стиснення і переміщення деталей, а також підведення струму здійснюють за допомогою дискових електродів, які обертаються, або роликів 8 (рис. 1.1г). Як і при точковому зварюванні, деталі збирають унапуск і нагрівають короткочасними імпульсами зварювального струму. Перекриття точок досягається відповідним вибором паузи між імпульсами струму і швидкості обертання роликів. В залежності від того, обертаються ролики безперервно при зварюванні шва або зупиняються на час проходження зварювального струму, розрізняють безперервне і крокове зварювання. Крокове зварювання відрізняється відносно невеликою продуктивністю, проте цей спосіб дозволяє зменшити швидкість зношення робочої поверхні роликів і ймовірність утворення дефектів шва (тріщини, раковини) в порівнянні з безперервним зварюванням, коли проходження зварювального струму і кристалізація литого ядра відбувається при обертанні роликів.

Стикове зварювання – спосіб контактного зварювання, коли деталі з'єднуються по всій площі торкання (по всьому перетину). Деталі (рис. 1.1д) закріплюють із зусиллям затиснення  $F_{ЗЛЖ}$  в струмопровідних затискачах 9, 10, один з яких, наприклад затиск 10, рухливий і з'єднаний з приводом зусилля стиснення машини. За ступенем нагрівання металу торців деталей розрізняють стикове зварювання опором і оплавленням.

При стиковому зварюванні опором деталі 1 попередньо стискають зусиллям  $F_{СЖ}$  і включають зварювальне джерело струму 3. По деталях проходить зварювальний струм  $I_{СВ}$ , при цьому відбувається поступовий нагрів стику деталей до температури, близької, але не нижчою від температури плавлення. Потім зварювальний струм вимикають і різко збільшують зусилля усадки деталей, які деформуються в стику.

Стикова зварювання оплавленням відрізняється тим, що спочатку на деталі подають напругу від зварювального джерела струму, а потім їх зближують.

КТЗ, є одним із способів контактного зварювання, за якого зварні деталі 1 (рис. 1.3) розташовуються перед зварюванням один до одного, а потім

притискаються зусиллям зварювання  $P_3$ , яке надається струмопровідним електродам 2 і 3. В подальшому від джерела струму (живлення), наприклад, трансформатора, пропускають імпульс зварювальної сили струму  $I_3$  (рис. 1.4) тривалістю  $t_3$ , що призводить до зварюють деталей зварними точками 4 (рис. 1.1) на окремих ділянках їх торкання [4, 5]. Для утворення фізичного контакту між деталями (поверхнями), що зварюються та їх активації в місці формування з'єднання під час КТЗ витрачається тепла та механічна енергія, яка підводиться ззовні електродами, які стискають деталі та пропусканням через

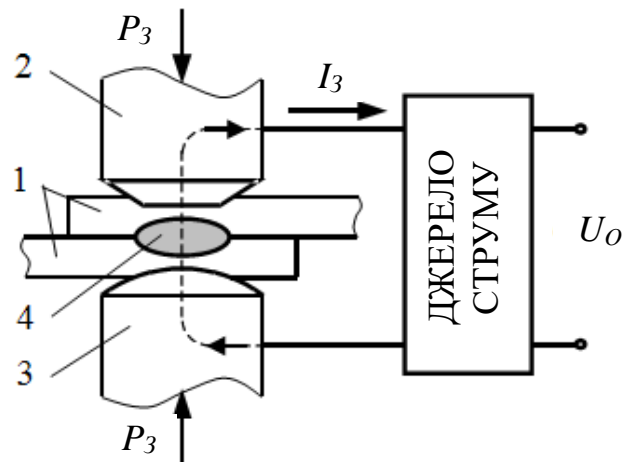


Рис. 1.3. Схема двоконтактного точкового зварювання: 1 – деталь зварювання; 2, 3 – струмопровідні електроди; 4 – зварна точка

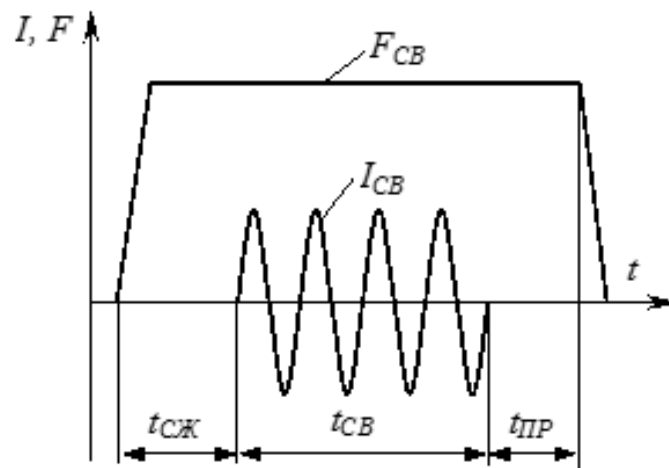


Рис. 1.4. Цикли зміни параметрів режиму контактної зварювання зони зварювання імпульсу зварювального струму [6, 7].

Найбільш надійним способом, який забезпечує утворення фізичного контакту і сприяє виникненню міжатомних зв'язків в зоні формування з'єднань,

є розплавлення металу в приповерхневих шарах деталей з утворенням його загального об'єму. Тому в технології КТЗ, за рідкісним винятком [5, 6], прийнято, що необхідною умовою утворення точкового зварного з'єднання є утворення спільної зони розплавленого металу деталей, що з'єднуються.

Загальну зону розплавленого металу деталей, що зварюються зазвичай називають «лите ядро», «ядро розплавленого металу» або просто «ядро» [7-9]. Параметрами, які найбільш значимо впливають на процес формування точкового зварного з'єднання та розрізняють між собою все різноманіття відомих способів двосторонньої точкової зварювання, є рід зварювального струму і форма його імпульсу. Це їх відмінність (рис. 1.3) обумовлена в основному особливостями будови силових електричних контурів машин КТЗ [10, 11].

Способи КТЗ за родом зварювального струму та формі його імпульсу поділяють на такі групи [12]: КТЗ змінним струмом; низькочастотне КТЗ (струмом зниженої частоти монополярними або уніполярними імпульсами); конденсаторне КТЗ; КТЗ постійним струмом. Кожна з цих груп КТЗ має свої особливості, переваги та недоліки в технологічному і технічному аспектах.

Точкове зварене з'єднання (рис. 1.5 [12]), яке здійснюють електродами з циліндричної робочою частиною, зазвичай вважають симетричним відносно осей. Зварну точку (рис. 1.5а) прийнято характеризувати геометричними параметрами в площині осі електродів, які називають «конструктивними елементами з'єднання».

Крім того, геометричними параметрами характеризують також і робочі частини електродів (рис. 1.5б). Основними з них, які найбільш часто застосовуються в більшості випадків, є параметри, які описують ядро розплавленого металу (діаметр і висота ядра, проплавлення деталей), залишкові деформації деталей (глибина вм'ятини від електродів), а також робочі поверхні електродів (діаметр плоскої та радіус сферичної).

Ядро розплавленого металу (рис. 1.5а, б) в більшості випадків характеризується його розмірами: діаметром  $d_{\text{я}}$  в площині контакту деталь-



деталь, а також його висотою  $h_A$  або проплавлення деталей  $A_1$  і  $A_2$ .

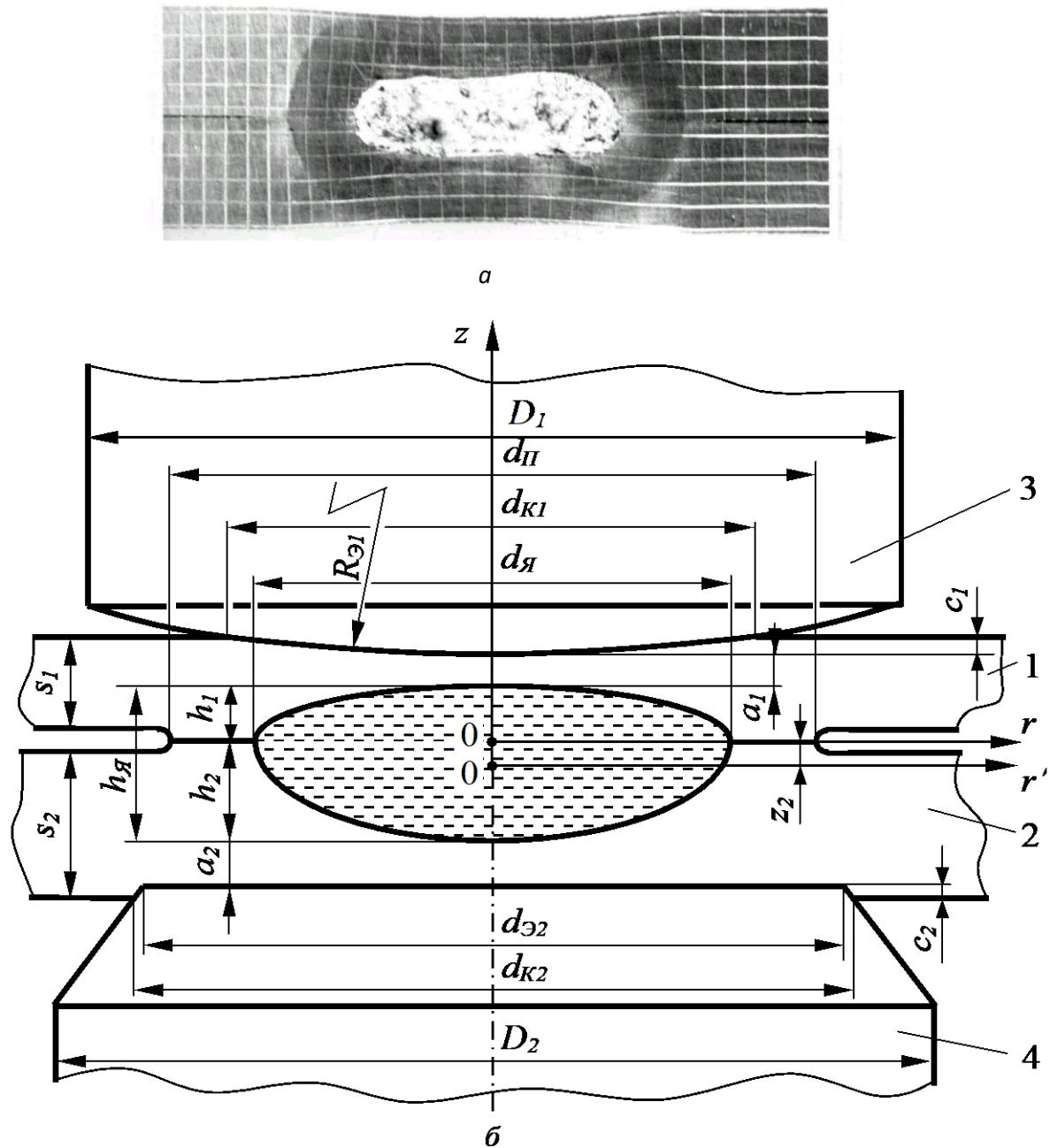


Рис.1.5. Вид точкового зварного з'єднання (а) та схема геометричних параметрів зварювання деталей 1 і 2 різної товщини електродами зі сферичною 3, плоскою 4 робочими поверхнями:  $s_1, s_2$  – товщина деталі 1 і 2;  $d_Я$  і  $h_Я$  – діаметр і висота ядра розплавленого металу;  $h_1, h_2$  – висота зони розплавлення в деталі;  $c_1, c_2$  – глибина вдавнення електроду;  $a_1, a_2$  – відстань від верхньої точки ядра до поверхні деталі;  $d_П$  – діаметр ущільнюючого поясу;  $D_1, D_2$  – діаметр робочої частини електроду;  $d_{К1}, d_{К2}$  – діаметр контакту електрод-деталь;  $R_{E1}$  – радіус сферичної робочої поверхні електрода 1;  $d_{E2}$  – діаметр робочої поверхні електрода 2

Проплавлення визначають окремо для кожної деталі як відношення до товщини деталей  $s_1$  і  $s_2$  відстаней  $h_1$  і  $h_2$  від площини зварюється контакту до границі зони розплавленого металу та висловлюють у відсотках згідно з [13]

$$A_1 = (h_1/s_1) \cdot 100 \% ; \quad A_2 = (h_2/s_2) \cdot 100 \% . \quad (1.1)$$

При точковому зварюванні деталей однокровні з'єднання застосовують не дуже часто. У переважній більшості випадків КТЗ здійснюється багатоточковим з'єднанням деталей (рис. 1.6). Останні виконують у вигляді одного (рис. 1.6а) або декількох (рис. 1.6б) рядів зварних точок, розташованих уздовж напуску деталей.

До основних конструктивних елементів, що характеризує багатоточкові зварні з'єднання відносять: ширину напуску  $B$ , відстань (крок) між точками  $t_{ш}$  в ряду (в шві), відстанями між осями швів  $b$ , а також відстань  $u$  між крайніми осями швів і крайками листів.

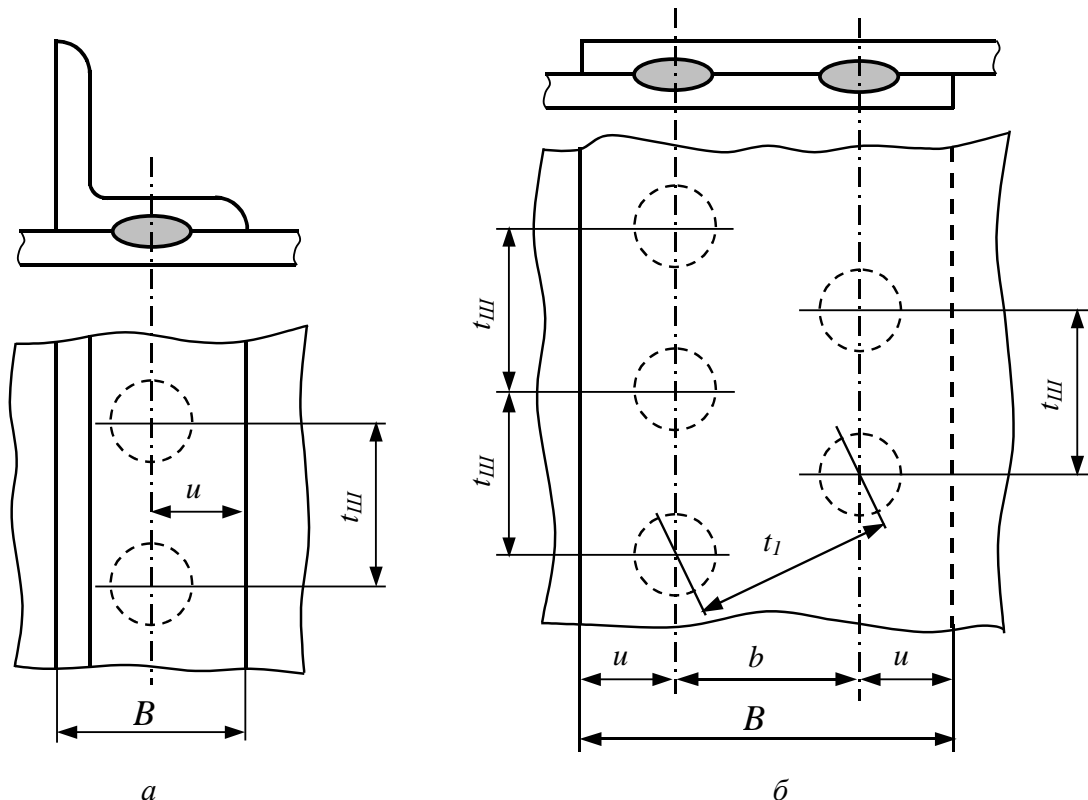


Рис. 1.6. Схема конструктивних елементів з'єднань при точковому зварюванні: а – однорядний шов; б – дворядний шов;  $B$  – ширина перекриття;  $t_{ш}$  – крок зварних точок;  $u$  – відстань від осі шва до краю перекриття;  $b$  – відстань між осями швів

Перераховані вище конструктивні елементи зварних з'єднань істотно впливають, як на процес їх формування при КТЗ, так і на показники якості готових зварних з'єднань.

Тому їх допустимі значення в переважній більшості випадків регламентуються, як в закордонній, так і вітчизняній практиці КТЗ, наприклад, в ГОСТах, ОСтах, галузевих технологічних рекомендаціях, стандартах підприємства [14-16].

Розміри ядра (його діаметр  $d_{\text{я}}$  та висота  $h_{\text{я}}$ , а також проплавлення деталей  $A_1$  і  $A_2$ ) найбільш значимо впливають на властивості точкового з'єднання, в першу чергу, на міцність.

Тому отримання оптимальних значень цих параметрів, які повинні знаходитися в межах між мінімальними і максимальними допустимими їх значеннями, є основним завданням технології точкового зварювання.

Мінімально допустимі значення діаметра ядра визначаються впливом цілої низки факторів точкового зварювання, наприклад, таких як міцність зварних з'єднань і стабільність її значень, стійкість процесу КТЗ проти утворення виплеск, непроварів та ін. Їх значення залежать від товщини  $s$  деталей, що зварюються [17-19 ]:

$$d_{\text{я}} = 2s + 3 \text{ мм}; \quad (1.2)$$

$$d_{\text{я}} = 4s^{2/3} \text{ мм}. \quad (1.3)$$

Вони регламентовані ГОСТ 15878 – 79. Величина проплавлення деталей  $A_1$  і  $A_2$  в більшості випадків повинна знаходитися в межах 20...80 % від товщини деталей. На титанових сплавах верхня межа збільшують до 95 %, а на магнієвих – зменшують до 70 %. Мінімально допустиму відстань між осями швів  $b$  встановлюють з умови відсутності впливу шунтування струму на процес КТЗ. Її вибирають такою, щоб відстань до сусідніх точок в будь-якому напрямку, наприклад  $t_1$ , була не меншою за мінімально допустимий крок між точками  $t_{\text{ш}}$ .

Мінімальну ширину напуску  $B$ , а також мінімальну відстань від центру точки або осі шва до краю напуску  $u$  встановлюють за умови відсутності об'ємних пластичних деформацій металу на краю напуску, а мінімальні значення і повинні бути не менше  $0,5 B$ .

Глибина вм'ятини від електродів  $c_1$  і  $c_2$  не повинна перевищувати 20 % від товщини деталей, оскільки вони погіршують зовнішній вигляд з'єднання та зменшують їх міцність. Тільки при зварюванні деталей нерівних товщин, або у важкодоступних місцях її допускають збільшувати до 30 % [20-22].

Широке застосування точкових зварних з'єднань замість клепаних в сучасному машинобудуванні, в тому числі при виготовленні відповідальних вузлів, обумовлено не тільки перевагами їх техніко-економічних показників [22, 23], а й конкурентною здатністю експлуатаційних властивостей [24-26].

Перш за все, це відноситься до їх динамічної міцності, яка в основному визначається розміри ядра розплавленого металу в сукупності з іншими конструктивними елементами зварних з'єднань [27-29].

Саме тому відповідність отриманих при КТЗ розмірів ядра заданим оптимальним значенням, в першу чергу його діаметра і проплавлення деталей, є одним з основних критеріїв якості та надійності з'єднань деталей, виконаних КТЗ [30]. Недоліком КТЗ, є значна короткочасна потужність, яка споживається від живильної мережі в момент зварювання.

## **1.2. Основні технологічні аспекти двоконтактного точкового зварювання виробів**

КТЗ виконують спеціальними машинами, що складаються із зварювального трансформатора, переривника зварювального струму, регулятора струму первинного кола трансформатора, струмопідвідних пристроїв, а також механізмів для створення необхідного тиску для стискання деталей. Для накопичення запасної енергії використовують електростатичний, конденсаторний, електромагнітний, інерційний та акумуляторний способи.

При КТЗ енергетичний вплив на метал зони формування з'єднання здійснюють імпульсом струму, а силовий вплив – стисненням деталей електродними пристроями в місці зварювання. Кількісно цей вплив характеризують параметрами режиму зварювання і представляють зазвичай у вигляді циклограм їх зміни в часі. Значення параметрів струму і зусилля стиснення електродів, характер їх зміни в окремі періоди циклу зварювання визначають параметри термодформаційних процесів, що протікають в зоні зварювання, і таким чином впливають на стійкість процесу формування з'єднання, зокрема проти утворення непроварів і виплесків, на розміри ядра, місцеві та загальні залишкові деформації і, в кінцевому випадку, на експлуатаційні властивості зварного з'єднання.

У загальному випадку для формування зварних з'єднань деталей, в тому числі і при КТЗ, необхідна умова утворення фізичного контакту між зварювальними поверхнями, наявності хімічних зв'язків в ньому та розвиток релаксаційних процесів в обсягах металу зони зварювання.

У кожній елементарній точці ці процеси йдуть послідовно, а по відношенню до всієї з'єднувальної поверхні можуть протікати одночасно. При КТЗ їх зародження та протікання забезпечується комплексним тепловим і силовим впливом на метал зони формування з'єднання [30, 31].

Термодформаційні процеси, що протікають в зоні формування точкового зварного з'єднання, відповідно до значущості їх впливу на кінцевий результат зварювання прийнято умовно розділяти на основні процеси та процеси супутні [32].

До основних процесів відносять процеси, без протікання яких формування точкового зварного з'єднання в принципі неможливо.

До основних термодформаційних процесів відносять: нагрів і розплавлення металу струмом, що проходить; утворення спільної зони розплавленого металу (ядра) та його кристалізація на останній стадії формування з'єднань; утворення мікроскопічних деформацій металу в контактах і макроскопічних деформацій в зоні формування з'єднання.

До супутніх термодформаційних процесів зварювання, які є наслідками протікання основних процесів зварювання, відносять процеси, які не тільки є небов'язковими для формування зварного з'єднання, але деякі з них є небажаними та які погіршують умови формування з'єднання та якість зварювання загалом.

До супутніх процесів відносять такі: дилатацію металу в зоні формування з'єднань; перемішування рідкого металу в ядрі та видалення окисних плівок; вплив термодформаційного циклу зварювання на властивості металу в зоні зварювання і прилеглої до неї області; утворення залишкових напружень і деформацій в деталях; масоперенос в контактах електрод-деталь.

Незважаючи на зміну значущості впливу кожного з перерахованих вище основних термодформаційних процесів, в процесі зварювання загальна схема формування з'єднання відбувається за єдиною схемою. Тому цикл зварювання у часовій послідовності умовно поділяють на окремі етапи, відповідно до значущості впливу будь-якого з основних факторів за їх період [33].

Цикл зварювання у часовій послідовності доцільно розділити на наступні чотири етапи (рис. 1.7), які відрізняються не тільки значимістю впливу будь-якого з основних чинників на процес формування з'єднання, а також основними технологічними завданнями, які виконуються поєднанням параметрів режиму зварювання в цей період:

1-й етап – від початку стиснення деталей електродами зусиллям  $F_E$  до початку імпульсу струму  $I_3$ ;

2-й етап – від початку імпульсу струму  $I_3$  до початку розплавлення металу в контактi деталь-деталь (до початку формування ядра);

3-й етап – від початку формування ядра діаметром  $d_J$  в контактi деталь-деталь до закінчення імпульсу зварювального струму  $I_3$ ;

4-й етап – від закінчення імпульсу зварювального струму  $I_3$  до зняття зусилля  $F_E$  стиснення деталей електродами.

На першому етапі, стиснення деталей електродами викликає мікропластичні деформації в контактах деталь-деталь і електрод-деталь,

наслідком яких є формування механічних та електричних контактів. Головне завдання на цьому етапі – забезпечення стабільності параметрів електродних контактів, що є вихідною умовою сталого перебігу процесу зварювання та отримання стабільних розмірів ядра.

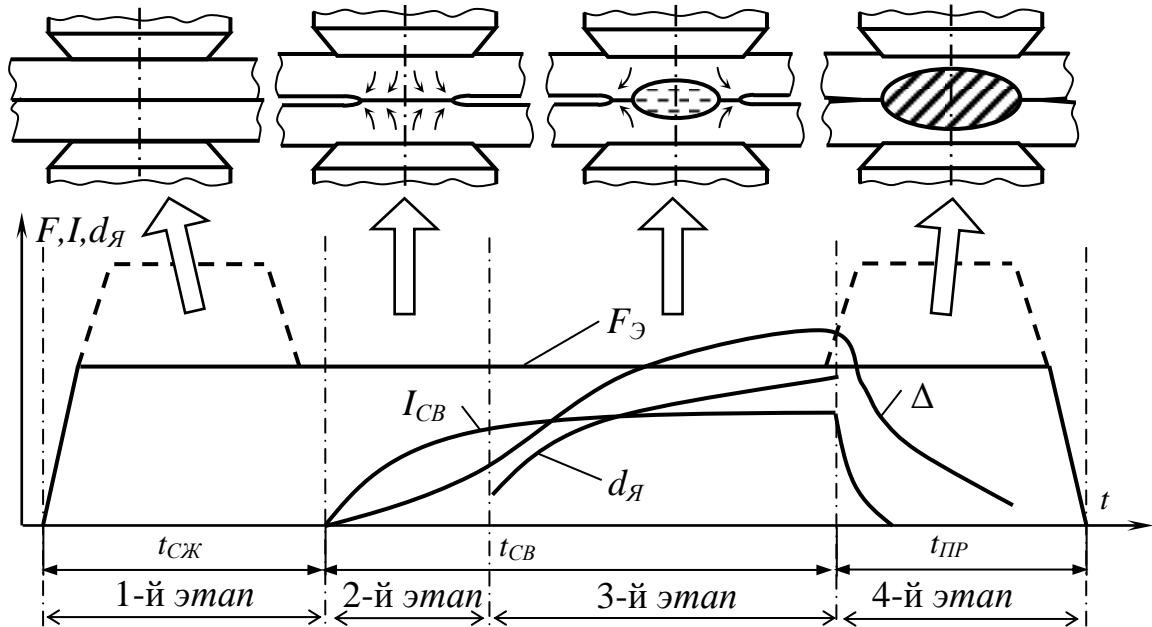


Рис. 1.7. Схема основних процесів формування точкового з'єднання

На другому етапі, подача зварювального струму призводить до нагрівання металу в зоні зварювання, який інтенсифікує процеси мікропластичної деформацій, руйнування окисних плівок, формування механічних та електричних контактів. Нагрітий метал зони зварювання розширюється, деформується переважно в зазор між деталями, внаслідок чого в контакті деталь-деталь утворюється рельєф (ущільнююча окрайка). Це призводить до зміщення електродів на величину  $\Delta$ . Динаміка збільшення ущільнюючої окрайки на цьому етапі залежить від зміни густини струму в зоні зварювання та швидкості тепловиділення в ній. Головне завдання на цьому етапі – забезпечення оптимальної швидкості нагріву металу в зоні зварювання.

На третьому етапі відбувається розплавлення металу в області контакту деталь-деталь, утворення ядра та ущільнюючої окрайки навколо нього, який запобігає викиду розплавленого металу. У міру проходження струму триває нагрів металу в зоні зварювання, ядро зростає в діаметрі та висоті, при цьому



відбувається перемішування металу, видалення поверхневих плівок і утворення зв'язків металу в рідкій фазі, тобто протікають процеси теплового розширення металу в зоні зварювання і його пластичної деформації. Головне завдання на цьому етапі – забезпечення оптимального ступеня макродеформацій металу в зоні зварювання, які б забезпечували оптимальну швидкість нагріву металу в зоні зварювання та запобігали викиду розплавленого металу.

На четвертому етапі відбувається охолодження металу в зоні зварювання та його кристалізація в ядрі, параметри якого визначають експлуатаційні властивості точкового зварного з'єднання. При охолодженні металу зменшується його обсяг, внаслідок чого виникають залишкові напруги і деформації. Головне завдання на цьому етапі – забезпечення ступеня макродеформацій металу в зоні зварювання, достатніх для усадки металу.

Серед циклів традиційних способів КТЗ (рис. 1.8) найбільш поширеним є цикл зміни параметрів режиму (рис. 1.8а), запропонований ще М.М. Бенардосом. При зварюванні деталі стискають струмопровідними електродами (див. рис. 1.3) незмінним зусиллям  $F_{CB}$  і через певний час стиснення  $t_{CЖ}$  пропускають імпульс зварювального струму заданої сили  $I_3$  та тривалості  $t_{CB}$ , а потім через певний час проковки  $T_{ПР}$ , достатнього для кристалізації та охолодження зони зварювання, зусилля стиснення електродів знімають. Його технологічні можливості до теперішнього часу задовольняють вимогам практики КТЗ не тільки зварювання деталей з маловуглецевих сталей в автомобільному та сільгоспмашинобудуванні, але і під час зварювання деяких спеціальних сталей і сплавів [34-36].

З метою запобігання утворення в ядрі дефектів усадочного характеру (тріщини, пор) при зварюванні деталей з матеріалів, схильних до їх утворення, наприклад, щодо товстих деталей або деталей, схильних до загартування, а також деталей з високоміцних матеріалів, застосовують цикл (рис. 1.8б), за якого під час кристалізації розплавленого металу в ядрі та охолодження зони зварювання (в період часу  $t_{ПР}$ ) зусилля стиснення електродів збільшують (прикладають кувальне зусилля  $F_K$ ).

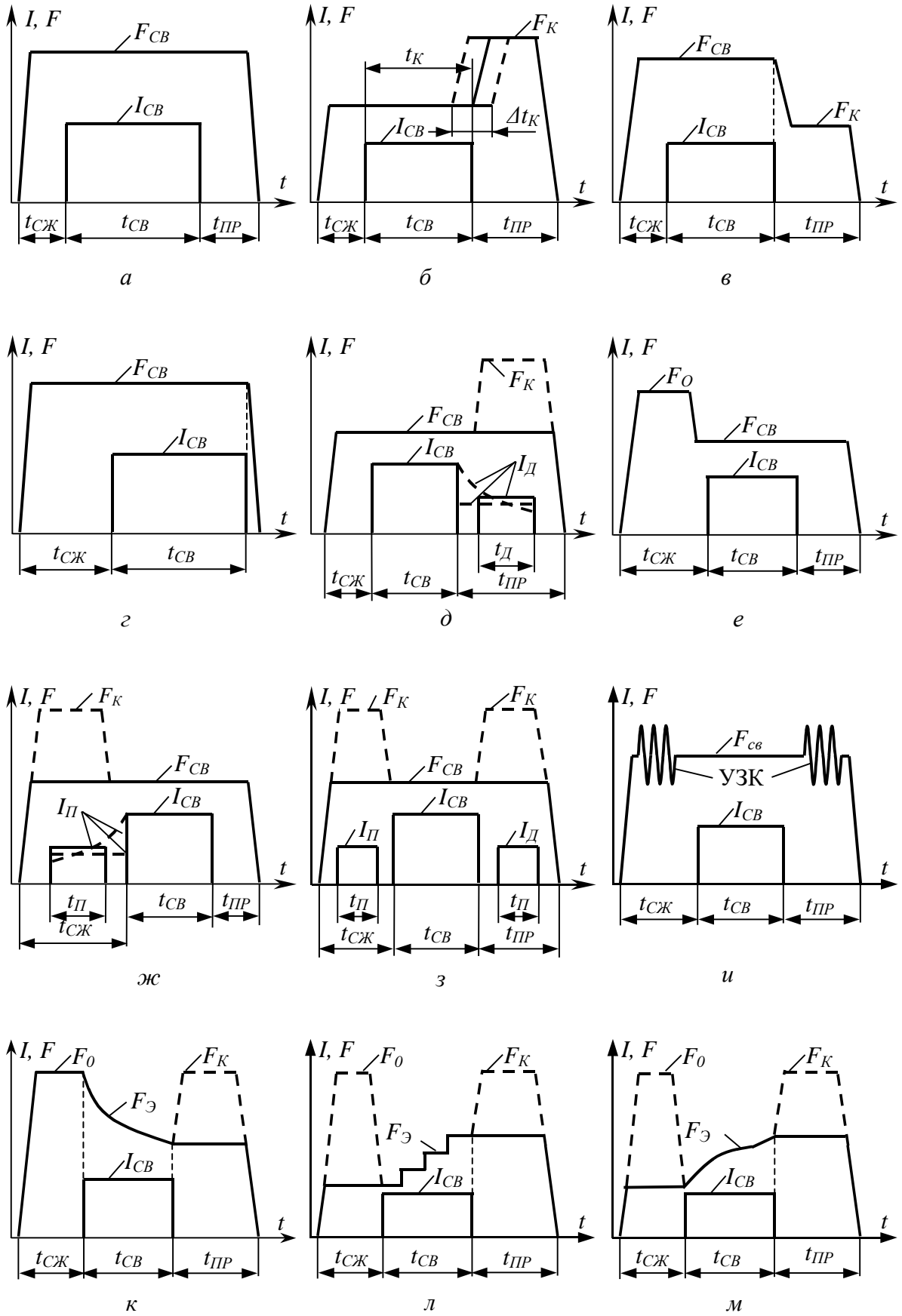


Рис. 1.8. Циклограми зміни зусилля стиснення електродів і сили струму традиційних способів КТЗ

Цим збільшують в зоні зварювання ступінь пластичної деформації металу, що компенсує його усадку при кристалізації та охолодженні.

Величину кувального зусилля  $F_K$  визначають за відомою формулою згідно з [37]:

$$F_K \approx 2 \dots 2,5 F_{CB}. \quad (1.4)$$

При цьому момент його застосування  $t_K$  ( $t_K \approx 0,9 t_{CB}$ ) задають з урахуванням термодформаційних процесів, що протікають в зоні зварювання та зазвичай збільшують монотонно із заданою швидкістю.

Але деколи досягти поставленої мети тільки прикладанням зусилля  $F_K$  не завжди вдається, оскільки його величина обмежується міцністю електродів і технічними можливостями машин точкового зварювання [38].

В технології КТЗ також відомі цикли (рис. 1.8в) під час здійснення яких в період проковки з'єднання  $t_{PP}$  зусилля стиснення електродів не тільки не збільшують, але навіть і зменшують [39], наприклад, при зварюванні свинцевих деталей зі сталевими.

При зварюванні деталей з вуглецевих і низьколегованих сталей з метою запобігання утворенню в з'єднанні структур гартування та тріщини шляхом зменшення швидкості його охолодження застосовують цикл в якому стиснення деталей електродами взагалі припиняють одночасно із закінченням імпульсу зварювального струму, (рис. 1.8г) [40].

Для вирішення цієї ж задачі, а також з метою поліпшення умов проковки з'єднань і зменшення необхідної величини кувального зусилля, а іноді для термообробки з'єднання в зварювальних електродах застосовують цикл, в якому після закінчення імпульсу зварювального струму  $I_3$  в період проковки з'єднання  $T_{PP}$  пропускають додатковий підігрівальний імпульс струму  $I_D$  (рис. 1.8д).

Додатковий підігрівальний імпульс струму  $I_D$ , що зменшує опір деформації металу в зоні зварювання, може застосовуватися в поєднанні з будь-якими циклограми зміни зусилля стиснення електродів. Підігрівальний струм

пропускають зазвичай у вигляді окремого додаткового імпульсу  $I_d$ , але іноді і як модульоване продовження зварювального імпульсу [41-46].

Для отримання оптимальних значень початкових електричних опорів в контактах, особливо при зварюванні деталей з високоміцних матеріалів або деталей з відносно невисокою якістю підготовки поверхонь, в практиці точкового зварювання застосовують цикл (рис 1.8е), в якому перед імпульсом зварювального струму в період стиснення деталей  $t_{СЖ}$  проводять їх обтиснення підвищеним зусиллям стиснення електродів  $F_o$  (зусиллям обтиску).

Цей технологічний прийом використовують і для попередження зовнішніх і внутрішніх початкових виплесків, а також для витіснення пластичних прошарків ґрунту, клею [47]. Причому, застосування при КТС рівних зусиль обтиску і проковки з'єднання спрощує конструкцію приводів зварювальних машин.

Величину зусилля попереднього обтиску деталей звичайно приймають рівною величині кувального зусилля [37]

$$F_o \approx F_k \approx 2 \dots 2,5 F_3. \quad (1.5)$$

Однак в ряді випадків тільки попередніми обтисненням деталей не вдається отримати оптимальні значення початкових електричних опорів в контактах. У цьому випадку застосовують цикл (рис 1.8ж), в якому метал в зоні зварювання попередньо, перед зварювальним імпульсом  $I_3$ , підігрівають окремим або поєднаним із зварювальним імпульсом  $I_3$ , додатковим підігрівальним імпульсом струму  $I_{II}$  [47-49].

Останні дослідження процесів КТЗ показують, що в багатьох випадках точкового зварювання стабілізувати процес формування з'єднання можна інтенсифікацією мікро- і макропластичних деформацій металу в зоні зварювання шляхом зменшення його опору пластичної деформації на стадіях стиснення і проковки з'єднання. У таких випадках в одному циклі зварювання раціонально використовувати і попередній, і додатковий підігрівальний імпульси струму, зокрема, навіть при зварюванні деталей з легких сплавів [50].

Підігрівальні імпульси струму  $I_{II}$  і  $I_D$  можна використовувати в поєднанні з будь-якою циклограмою зміни зусилля стиснення електродів (рис 1.8з). Для досягнення зазначених вище задач іноді використовують цикл (рис. 1.8і), в якому до імпульсу зварювального струму і після його закінчення, здійснюють коливання електродів з інфразвуковою, звуковою [51], або ультразвуковою [52, 53] частотою.

У ряді випадків, наприклад, при зварюванні деталей з жароміцних матеріалів, раціонально застосовувати цикл (рис 1.8к), в якому зусилля стиснення електродів  $F_E$  за час  $t_{CB}$  дії імпульсу зварювального струму зменшують за певною програмою [54].

Крім того, програмована зміна зусилля стиснення електродів під час імпульсу зварювального струму дозволяє підвищити і енергетичну ефективність процесу КТЗ, а також його стійкість проти утворення непроварів. Для досягнення цих завдань застосовують цикли, в яких зусилля стиснення електродів в процесі зварювання змінюють. Причому, в процесі КТЗ зусилля стиснення електродів найчастіше збільшують від початкового до кінцевого його значення, при чому здійснюють це поступово (рис. 1.8л) або монотонно (рис 1.8м) [54-58].

Нагрівання металу в зоні зварювання здійснюють зазвичай одним імпульсом зварювального струму та регулюють зміною його сили і тривалості. Форму імпульсу струму при зварюванні на серійних машинах, як правило, не регулюють. Характер його збільшення та спадання визначається звичайним модулюванням, залежним від індуктивності вторинних контурів зварювальних машин (рис 1.4).

Це обумовлено обмеженими можливостями зміни сили зварювального струму шляхом його фазового регулювання за невеликої тривалості імпульсів і промислової частоті струму 50 Гц. Іноді при зварюванні сталей на машинах змінного струму неможливо регулювати наростання та спадання імпульсу струму, а також регулювати спадання струму під час зварювання деталей з легких сплавів на низькочастотних машинах і машинах постійного струму [19].

### 1.3. Обґрунтування вибору способу двоконтактного точкового зварювання арматури вентиляційних систем

Таким чином, на основі проведеного аналізу було розглянуто сутність і найбільш поширені технології двостороннього КТЗ, загальна схема формування точкових зварних з'єднань і основні термодформаційні процеси, які протікають в зоні зварювання та найбільш значимо впливають на кінцеву якість одержуваних зварних з'єднань залежно від різноманіття використовуваних технологічних прийомів.

Незважаючи на це рівень дефектності зварних точок в серійному виробництві зварних конструкцій навіть при виготовленні відповідальних зварних виробів, досягає 5% [32].

За умов КТЗ в традиційних галузях машинобудування він ще вище. Це говорить про те, що традиційні способи зварювання тонких виробів практично вичерпали свої технологічні можливості. У зв'язку з цим досить перспективним напрямком розвитку технології КТЗ, є вдосконалення та розробка нових способів точкового зварювання тонких виробів з цілеспрямованим програмованим впливом на процес формування з'єднання. Одним з таких перспективних способів КТЗ є двоконтактне точкове зварювання (ДКТЗ) з обтисненням периферійної зони з'єднання тонких виробів [3, 16].

Під час ДКТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання (рис. 1.9) зварювальні деталі стискають струмопровідними електродами зусиллям  $F_E$  і прикладають навколо них притискними втулками додаткове стискуюче зусилля  $F_O$  (зусилля притиску).

В основі способу КТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання покладено винайдений в 1930 р П. Н. Львовим спеціальний електрод (рис. 1.9) [59]. Цей електрод (рис. 1.9а) містить струмопровідний електрод 2 і концентрично розташований навколо нього силовий пуансон (притискну втулку) 3, яку з'єднано з приводом притиску, яким служить пружний елемент 7. Даний електродний пристрій дозволяє розділити загальне зусилля стиснення

деталей  $F_{CB}$ , яке задається приводом зварювальної машини на дві його складових. Одна його складова  $F_E$  (рис. 1.9а), як і за традиційних способах КТЗ, стискає зварювальні деталі за допомогою струмопровідних електродів в центральній частині зони формування з'єднання (над ядром), а друга складова  $F_O$  за допомогою силових пунсонів обтискає зварювальні деталі в їх периферійній області (в області ущільнюючого окрайка або ободка).

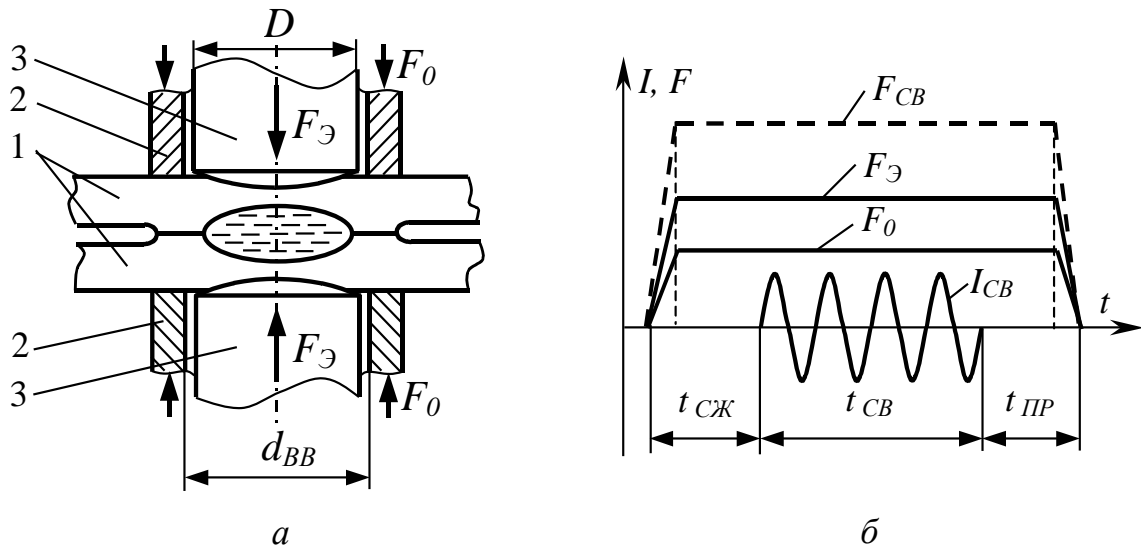


Рис. 1.9. Схема (а) та цикл зміни параметрів режиму (б) двостороннього КТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання: 1 – деталі; 2 – струмопровідні електроди; 3 – з'єднувальні втулки

Таким чином, в силу конструктивних особливостей даний електродний пристрій визначає основні ознаки способу ДКТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання в області ущільнюючого ободка [16, 60], при якому в будь-який момент співвідношення зусиль визначається наступною залежністю (рис. 1.9б)

$$F_{CB} = F_{Э} + F_O. \quad (1.6)$$

Проведені попередні дослідження показали високу ефективність даного способу ДКТЗ щодо запобігання виплесків і непроварів. Стійкість процесу формування з'єднання проти утворення виплесків підвищується внаслідок збільшення зусилля стиску деталей в області ущільнюючого ободка [61], а стійкість процесу зварювання проти утворення непроварів можна підвищити

внаслідок зменшення ймовірності утворення виплесків при стисненні периферії з'єднання, виконуючи зварювання на більш жорстких режимах [3, 16].

Крім того, обтиснення периферійної зони з'єднання дозволяє запобігати дефектам усадкового характеру (тріщини, пори) [62], зменшити глибину вм'ятини від електродів і зазори між деталями в унапуск та її ширину [3, 16]. Застосування цього способу ДКТЗ дозволяє також збільшити міцність з'єднань і динамічну міцність шляхом прогину деталей в напрямку осі електродів до початку імпульсу струму [63], обтисненням під час його дії [16], або проковуванням периферії з'єднання на стадії охолодження зони зварювання [64].

Для цього запропоновано електродний пристрій (рис 1.10), що дозволяє виконувати ДКТЗ з притисненням зони зварювання арматури вентиляційних систем.

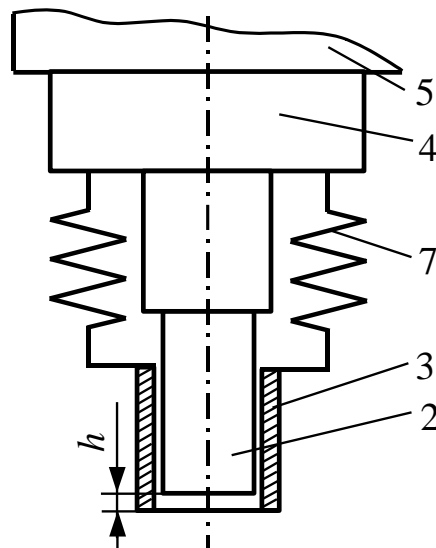


Рис. 1.10. Схеми електродного пристрою для ДКТЗ з притисненням периферійної зони з'єднання: 1 – деталі; 2 – струмопровідний електрод; 3 – обтискна втулка; 4 – електродотримач; 5 – елемент силового приводу зварювальної машини; 6 – електромагнітний привід зусилля на обтискній втулці; 7 – привід зусилля на обтискній втулці, виконаний у вигляді пружного елемента

Необхідно зазначити, що конструкції електродних пристроїв з пружними елементами в приводах зусилля на обтискній втулці  $F_O$  (рис. 1.10), або зусилля на струмопровідному електроді  $F_E$  застосовуються значно частіше. При цьому у



них необхідні зусилля забезпечуються шляхом деформації пружних елементів 7 на задалегідь встановлену величину  $h$  при стисненні деталей. У першій конструкції таких електродних пристроїв [59, 66-68] зусилля  $F_E$  на електроді 2 задається приводом машини за допомогою силового елемента 5, а на обтискній втулці 3 – пружним елементом 7 (рис. 1.10а).

При цьому їх використання можливе при зварюванні деталей малої товщини, коли величини зусиль  $F_E$  і  $F_O$ , а отже і жорсткість пружних елементів і взаємні осьові зміщення електрода і втулки в процесі формування з'єднання відносно малі. В цьому випадку відхилення силового впливу на деталі від заданих значень в меншій мірі впливає на якісні показники з'єднань через короткочасність циклу зварювання та інерційності механічних процесів в силових приводах зварювальних машин.

При цьому, широкому використанню способів ДКТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання в умовах реального виробництва, незважаючи на їх значну технологічну ефективність, перешкоджають наявні незадовільні робочі характеристики електродних пристроїв, в першу чергу відносно низька стійкість струмопровідного електрода 2.

Таким чином, формування точкових зварних з'єднань, як при традиційних способах зварювання, так і під час зварювання з обтисненням периферійної зони з'єднання відбувається за єдиною схемою, а способи КТЗ розрізняються між собою в основному кількісними параметрами термодформаційних процесів, що протікають в зоні зварювання на різних етапах формування з'єднання, які визначаються зовнішнім енергетичним і силовим впливом на метал зони зварювання (параметрами режиму).

Процес ДКТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання надає більше можливостей силового впливу на зону зварювання і тому вельми перспективний в технологічному плані. У результаті застосування даного виду зварювання тонких пластин буде забезпечене з'єднання, яке рівномічне основному металу. Даний спосіб є економічно вигідний і найбільше оптимальний порівняно з іншими способами зварювання тонких пластин.

## **1.4. Висновки до розділу**

1.4.1. Технології традиційних способів контактного точкового зварювання досягли своєї досконалості та практично вичерпали можливості свого розвитку. Вони цілком задовольняють вимогам масового виробництва, але в багатьох випадках не забезпечують необхідний рівень якості термічних деформаційних процесів, які присутні під час зварювання виробів відповідального призначення.

1.4.2. На основі проведеного аналізу технологій і способів контактного точкового зварювання було встановлено, що найбільш придатним способом зварювання тонких арматури вентиляційних систем є двоконтактне точкове зварювання.

1.4.3. Підвищення якості зварних з'єднань тонких виробів досягається шляхом застосування перспективного способу двоконтактного точкового зварювання з обтисненням периферійної зони зварювання притискними втулками.

## 2. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Аналіз процесу зближення та деформування арматури вентиляційних систем під час двоконтактного точкового зварювання

Параметри зварювання термодформаційних процесів істотно залежать від енергетичних і силових показників, які впливають на зону зварювання. При цьому зварна точка арматури – це результат протікання доволі випадкових термічних процесів, які відбуваються у точці формування з'єднання за весь період зварювання арматури вентиляційних систем.

Нижче розглянуті закономірності перебігу термодформаційних процесів, що мають найбільш значущий вплив на кінцевий результат зварювання.

У зоні зварювання відбувається нагрівання та пластична деформація металу, які впливають на стабільність процесу утворення точкового з'єднання. Наукова інформація про характер пластичних деформацій в основному має загальний характер, а їх опис практично відсутній.

Обґрунтування параметрів впливу на точку зварювання, або деталі в сучасних способах ДКТЗ неможливе без розрахунку дольового відношення між основними параметрами термічних процесів, які відбуваються в зоні контакту зварної точки. Між процесами, які протікають у зоні формування точкового з'єднання та для отримання якісного зварювання повинно бути встановлене відношення між параметрами, яке характеризує режими контактного точкового зварювання, параметри деталей, які зварюються та властивості електродів.

Технологічною операцією, яка першою виконується в будь-якому циклі ДКТЗ, є зближення зварювальних поверхонь до зіткнення, оскільки підготовлені для зварювання деталі практично ніколи щільно не прилягають між собою. Обумовлено це тим, що між зварювальними деталями завжди є зазори. Вони є наслідком або викривлення деталей при виконанні технологічних операцій, які передують зварюванню, або дефектів складання деталей перед зварюванням, або попередньої деформації деталей безпосередньо

в процесі виконання зварювання попередніх точок контакту тонких пластин [14-16]. У зближенні деталей, які зварюються до їх контакту велику роль на утворення початкових контактів і в кінцевому випадку на процес зварювання арматури відіграють такі фактори: викривлення арматури, або її деформація під час процесу зближення деталей; значна різниця зусилля стиснення арматури від зусилля стиснення електродів [71].

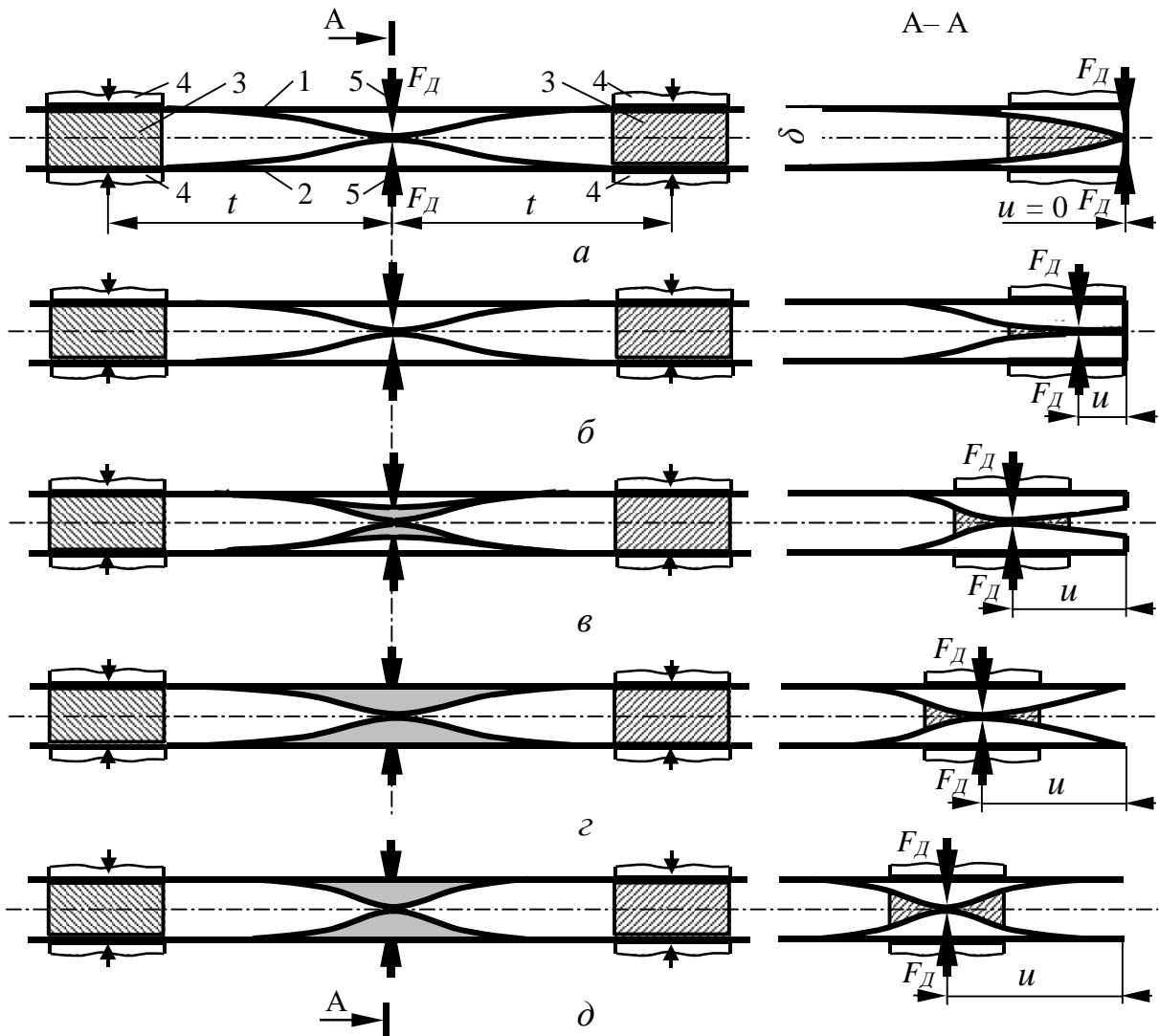


Рис. 2.1. Схема деформації зварювальних деталей: 1, 2 – деталі;  
3 – прокладка, що регулює величину зазору  $\delta$ ; 4 – стискаючі струбцини;  
5 – електродний пристрій

Наявність зазорів між деталями та операції їх зближення до контакту, яке призводить до складного викривлення деталей, істотно змінює, як розподіл напружень, які протікають в контактах, так і характер мікро- і

макродеформацій в них. При відсутності зазору в деталях можна припустити, що в контактi деталь-деталь деформуються двi плоскi поверхнi, а при великiй вiдстанi вiд кромки листiв до електродiв (рис. 2.1д) – двi сферичнi поверхнi. У практицi зварювання при зближеннi деталей зварювання вiдбуваються промiжнi та бiльш складнi несиметричнi види деформування деталей, рис. 2.1б, в) [72]. Складне викривлення деталей при їх зближеннi призводить як до зменшення розмiрiв ядра, так i до спотворення його форми, а основною причиною цього є змiна форми контакту (рис. 2.2).

Вплив зазору  $\delta$ , кроку мiж зварними точками  $t = 2 t_{III}$ , вiдстанi вiд  $u$  i  $F_{CB}$  має суттєве значення на показники початкового контакту [73-75]. До показникiв належить форма точки контакту, яка описується коефiциєнтом форми  $k_\phi$ , який приймається у формi елiпса, де велика та мала осi контакту приймаються рiвними  $2a$  i  $2b$ , рис. 2.2.

У цьому випадку коефiциєнт форми контакту визначається за залежнiстю

$$k_\phi = d_0/2b = 2a/d_0 = \sqrt{a/b}, \quad (2.1)$$

У всiх випадках прогину деталей за наявностi зазору мiж ними контакт витягується уздовж осi, перпендикулярноi лiнii краю напуску.

Розрахунок показника  $F_D$  визначають вiршенням рiвняння С. Жермен-Лагранжа, яке характеризує прогин зварювальної деталi [77]

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{q}{D}, \quad (2.2)$$

де  $w$  – прогин деталi;  $x, y$  – координати точки зварювання;  $q$  – зовнiшнє навантаження;  $D$  – цилiндрична жорсткiсть арматури

$$D = \frac{Es^3}{12(1-\mu^2)}, \quad (2.3)$$

де  $E$  – модуль пружностi металу зварювання;  $s$  – дiаметра арматури;  $\mu$  – коефiциєнт Пуассона.

Цю задачу можна вирішити за рахунок проведення експериментів які встановлюють характер силової взаємодії зварювальних деталей арматури залежно від наявних зазорів між зварювальною арматурою [81-83], діючим зусиллям  $F_d$ , яке прикладається до арматури під час зварювання.

## 2.2. Розрахунок середніх значень нормального напруження в контактї деталь-деталь

Точно розрахувати розподіл напружень в контактах при ДКТЗ є неможливим через складність і динамічність термодформаційних процесів, які протікають в них. Наближене рішення даної задачі засноване на припущенні, що характер розподілу напружень в контактї деталь-деталь при точковому зварюванні подібний характеру розподілу напружень в контактї пуансон-деталь при осадці смуги.

Встановлено, що в загальному випадку в площині контакту є три ділянки, які відрізняються розподілом дотичних напружень (рис. 2.3). Якісно такий характер розподілу нормальних напружень в контактах електрод-деталь і деталь-деталь при точковому зварюванні підтверджується експериментами по затікання (пластичної деформації) металу у вузьку щілину в електроді та характером деформації періодичного рельєфу на поверхні деталі.

Можна припустити, що і при зварюванні в площі контакту в момент часу  $t$  є три ділянки (рис 2.4), які відрізняються розподілом дотичних напружень  $\tau$ , подібно осадці смуги: зона ковзання (ділянки  $a_1b_1$  і  $b_2a_2$ ),  $\tau_1 = \pm \sigma_z \mu$ ; зона гальмування (ділянки  $b_1c_1$  і  $c_2b_2$ ),  $\tau_2 = \pm \sigma_z / \sqrt{3}$ ; зона застою (ділянки  $c_1o$  и  $oc_2$ )  $\tau_2 = \pm (\sigma_z / \sqrt{3}) (r/r_c)$ , де  $\sigma_z$  – напруження, яке нормальне до площини зварювального контакту;  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $r$  – радіальні координати точок в площині поверхні деталей.

Рішення наближеного рівняння рівноваги має вигляд

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \frac{2\tau}{s} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0, \quad (2.4)$$

де  $s$  – товщина деталі;  $\sigma_z$ ,  $\sigma_r$ , і  $\sigma_\theta$  – відповідно, нормальне відносно площини зварювального контакту, радіальне та навколишнє напруження.

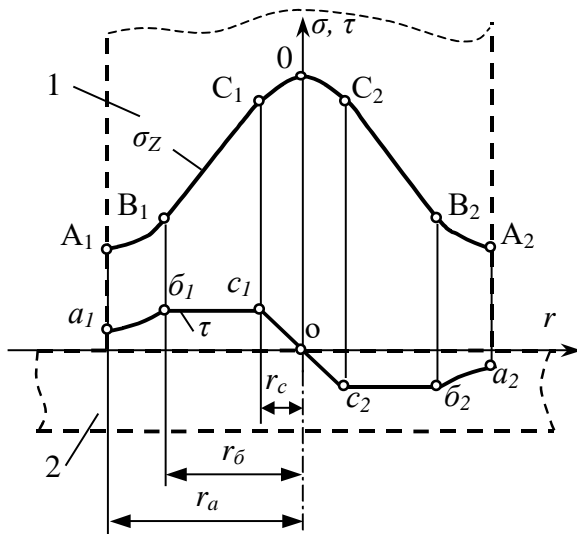


Рис. 2.3. Розподілення

нормальних  $\sigma_z$  і дотичних  $\tau$  напружень в контакті пуансон-деталь при осадці полоси:  
1 – пуансон; 2 – деталь

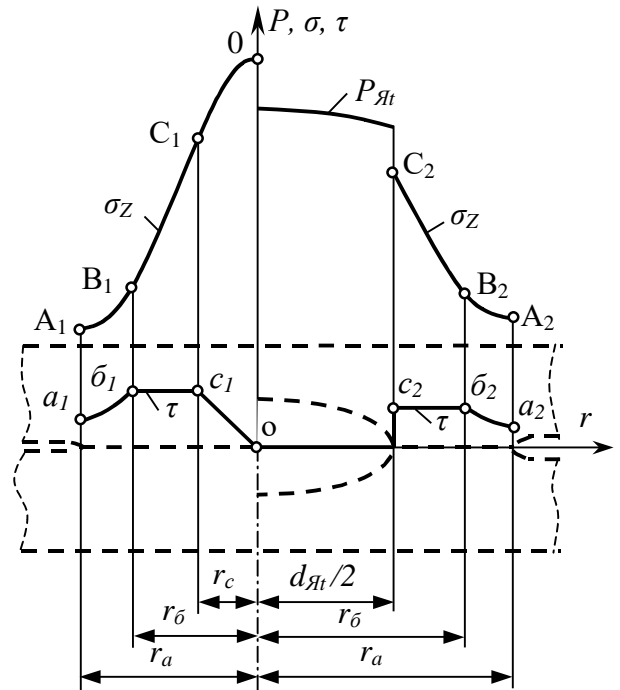


Рис. 2.4. Розподілення нормальних  $\sigma_z$  і дотичних  $\tau$  напружень в контакті деталь-деталь до (зліва) та після (справа) початку плавлення металу

При цьому згідно з умовою пластичності Губера-Мізеса  $\sigma_r$  визначається за формулою

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_D, \quad (2.5)$$

де  $\sigma_D$  – це опір пластичної деформації металу в області ущільнюючого ободка, а зміна нормальних напружень  $\sigma_{1Z}$ ,  $\sigma_{2Z}$ ,  $\sigma_{3Z}$  на різних ділянках контакту з урахуванням умов точкового зварювання, має вигляд:

- перша ділянка при  $r_b \leq r \leq r_a$

$$\sigma_{1Z} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_D \exp\left[\frac{2\mu}{s} \left(\frac{d_{II}}{2} - r\right)\right]; \quad (2.6)$$

- друга ділянка при  $r_c \leq r \leq r_b$

$$\sigma_{2z} = \frac{\sigma_D}{(\mu/\sqrt{3})} \left[ 1 + \frac{2\mu}{s}(r_b - r) \right]; \quad (2.7)$$

- третя ділянка при  $0 \leq r \leq r_c$

$$\sigma_{3z} = \frac{\sigma_D}{2\mu} \left[ 1 + \frac{2\mu}{s}(r_b - s) + \frac{\mu}{s^2}(s^2 - r^2) \right], \quad (2.8)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $d_{II}$  – діаметр контурної площини контакту (ущільнюючого ободка).

Координату границі зони гальмування  $r_b$  можна визначити за залежністю, з урахуванням умов точкового зварювання

$$r_b = d_{II}/2 + [\ln(2\mu)/(2\mu)] s. \quad (2.9)$$

Якщо при ДКТЗ в контакті електрод-деталь і, особливо, в контакті деталь-деталь спостерігається схоплення металу, тоді коефіцієнт тертя  $\mu$  можна прийняти рівним 0,5. Тоді, згідно з (2.9) при  $\mu = 0,5$  – координата  $r_b = d_{II}/2$ , тоді зона ковзання (ділянки  $a_1b_1$  і  $a_2b_2$ ) відсутні, а зона гальмування (ділянки  $b_1c_1$  і  $b_2c_2$ ) доходить до границі контакту.

Розрахунки показали, що, нехтуючи зменшенням дотичних напружень в зоні спокою  $c_1o$  і  $oc_2$  (рис. 2.4), отримуємо абсолютну помилку при визначенні середньої величини нормальних напружень  $\sigma_{CP}$ , яка не перевищує 5...10%, причому в зварювальному контакті тільки до початку плавлення металу.

Можна допустити, що розподіл дотичних нормальних напружень  $\tau$  в області  $0 \leq r \leq d_{II}/2$  рівномірний, а зона гальмування поширюється до центру контакту. В цьому випадку маємо, що  $r_c = 0$ .

### **2.3. Методика проведення експериментальних досліджень зусилля стиснення арматури вентиляційних систем**

У загальному аспекті основними складовими компонентами проведення експериментальних досліджень зварювання тонких виробів під час ДКТЗ, є дослідження функціональної зміни зусилля стиснення арматури, яке необхідне для їх зближення.



При цьому об'єктом дослідження є технологічний процес ДКТЗ арматури вентиляційних систем, а предметом дослідження – зусилля стиснення деталей.

Експериментальні дослідження базувалися на основі відомих часткових методик і положень, які характеризують порядок проведення експериментів у загальному випадку.

В основу проведення експериментальних досліджень було покладено розробку та побудову моделі об'єкта експериментальних досліджень (рис. 2.5), який було модельовано у вигляді кібернетичного поняття “чорного ящика”, або багатовимірної динамічної системи «вхід-вихід» [90].

Вхідними величинами, або змінними діючими факторами структурної моделі експериментальних досліджень, є технологічні параметри процесу зварювання, а вихідними величинами, або вихідними параметрами (функція відгуку) – основні технологічні показники та показники процесу зварювання. Дослідження побудованої даної структурної моделі (рис. 2.5) проведено на основі реалізації відомої методики планування, проведення та обробки і аналізу результатів багатфакторних експериментів.

Зусилля в площині контакту деталь-деталь  $F_K$ , як правило є завжди меншим за зусилля стиснення електродів  $P_E$  відносно значення зусилля стиснення деталей  $F_D$ .

При цьому, не тільки для формування початкових контактів зварних тонких пластин, але і для всього процесу формування з'єднань ДКТЗ, важливо провести оцінку величини відхилення зусилля в площині зварювального контакту  $F_K$  від зусилля стиснення електродів  $F_E$ , яка безпосередньо впливає на стійкість процесу формування з'єднань проти появи бризів за наявності зазорів, незважаючи на те, що величина зазорів під час ДКТЗ жорстко регламентована.

Тому, що під час точкового зварювання зона нагріву металу обмежена та складає відносно невелику частину зони пружнопластичної та пружної деформації деталей при їх зближенні, то вважається, що зусилля прогину деталей в процесі зварювання не змінюється.

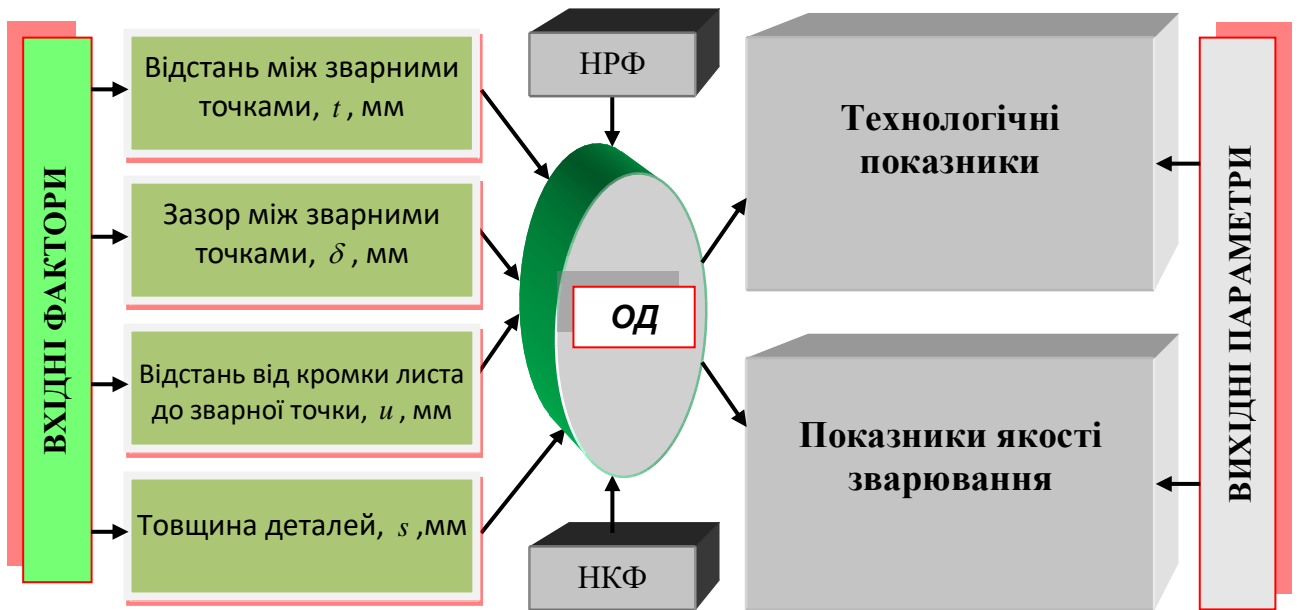


Рис. 2.5. Загальна структурна модель проведення досліджень

Тому таке припущення дозволяє проводити експерименти по визначенню  $F_D$  на холодних зразках поза межами зварювальної машини.

Під час реалізації експериментальних досліджень зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежало від таких факторів ДКТЗ: при реалізації двофакторного експерименту як функція  $F_{1D} = f_1(t, \delta)$ , де  $t$  – відстань між точками, які зварюються;  $\delta$  – зазор між точками, які зварюються.

Дослідження зразків арматури відбувалося на установці з використанням розривної машини УММ-5, рис. 2.6 [12].

Арматуру 10 встановлювали перпендикулярно осі електродів і між ними.

Прогин  $z$  однієї деформованої арматури 10 визначали з похибкою  $\pm 0,005$  мм за формулою

$$z = (l - \Delta h) / 2, \quad (2.10)$$

де  $l$  – відстань між електродами 1 и 2;  $\Delta h$  – відхилення відстані зближення арматури 10.

В експериментах використовувалися зразки із сплавів АМг6 розміром  $300 \times 400$  мм і товщиною 1,5...4,5 мм. Дослідження зміни від параметрів процесу зварювання, яке моделювали у вигляді функції  $P_{1D} = f_1(t, \delta)$  провели з метою визначення зміни впливу вхідних факторів (рис. 2.5) на вихідні параметри.

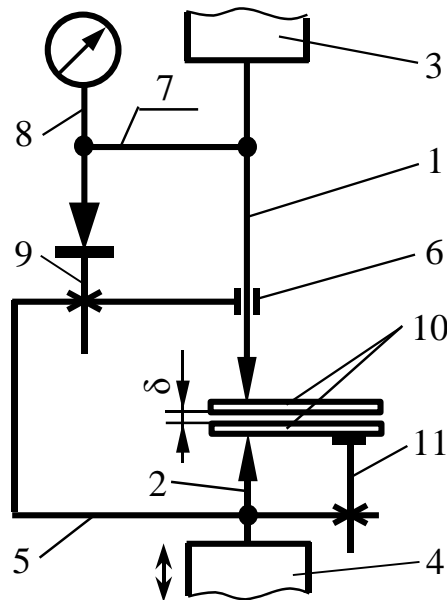


Рис. 2.6. Кінематична схема установки для деформування пластин до їх зближення: 1, 2 – верхній та нижній електротримач; 3, 4 – розривна машина; 5 – направляюча скоба; 6 – паз скоби; 7 – кронштейн верхнього електротримача; 8 – індикатор; 9 – регулювальний гвинт; 10 – пластина; 11 – пристосування

Реалізація експериментальних досліджень функціональної зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  та яка описується апроксимуючою математичною моделлю у вигляді функції  $F_{1D} = f_1(x_1; x_2)$  в кодованих факторах, або  $F_{1D} = f_1(t; \delta)$  і  $F_{2D} = f_2(u; s)$  в натуральних величинах і яка на емпіричному рівні характеризує функціональну залежність зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$ , був наступним: обґрунтування входних факторів і їх кодування; визначення рівнів і інтервалу зміни кожного діючого фактора; розробка план-матриці реалізації експериментів; рандомізацію план-матриці; проведення експериментів згідно з нумерацією рандомізованої план-матриці; обробку експериментальних значень; перевірку відтворюваності даних експериментальним значенням; перевірку значущості коефіцієнтів емпіричного рівняння та адекватності розробленого рівняння регресії експериментальним даним.

Для отримання емпіричного рівняння регресії, яке характеризує

функціональну зміну зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від основних технологічних параметрів процесу, вибирали відповідний план двофакторного експерименту. Функціональну зміну зусилля стиснення пластин  $F_D$  подано у вигляді моделі двофакторного експерименту (рис. 2.7). Змінними факторами були відстань між зварними точками  $t$ , яку кодували індексом  $x_1$ ; зазор між зварними точками  $\delta$ , яку кодували індексом  $x_2$ .

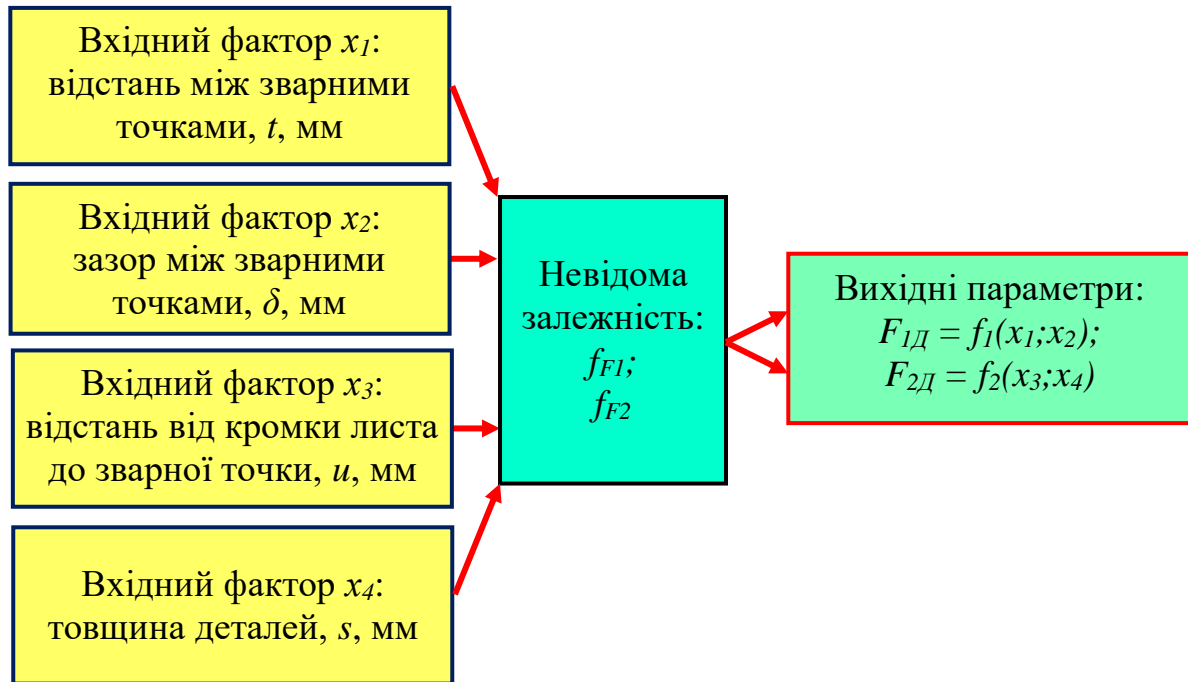


Рис. 2.7. Схема моделі двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$

Двофакторний експеримент з визначення функціональної зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від основних технологічних параметрів процесу провели на основних рівнях зміни факторів (верхньому, середньому та нижньому), або реалізували експеримент типу ПФЕ  $3^2$ .

При побудові порядку проведення експериментів вводили кодовані позначення основних рівнів варіювання факторами, відповідно, верхнього +1, нижнього -1 та середнього 0.

Перехід від кодованих  $x_i$  до натуральних  $X_i$  значень вхідних факторів експерименту типу ПФЕ  $3^2$  встановлювали згідно з залежністю

$$X_i = \frac{(x_i - x_0)}{\Delta x_i}, \quad (2.11)$$

де  $x_{i0}$  – значення  $i$ -го фактору на нульовому рівні;  $x_i$  – натуральне позначення  $i$ -го фактору.

Нульовий рівень  $x_{0i}$ , або середнє значення та інтервали варіювання  $\Delta x_i$  фактора, визначали за формулами [91]

$$x_0 = \frac{(x_{max} + x_{min})}{2}, \quad \Delta x_i = \frac{(x_{max} - x_{min})}{2}, \quad (2.12)$$

де  $x_0, x_{max}, x_{min}$  – значення основних рівнів (нульового, верхнього, нижнього) фактора;  $\Delta x_i$  – інтервал варіювання кожного  $i$ -го фактора.

Кодування факторів і рівні варіювання факторів наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні факторів, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Відстань між зварними точками, мм	$x_1$	$t$	40	60	100	140
Зазор між зварними точками, мм	$x_2$	$\delta$	1,0	0,6	1,6	2,6

Після кодування вхідних факторів склали план-матрицю двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  для загального числа дослідів  $N = P^k = 9$ , де  $P$  – число рівнів варіювання факторами,  $k$  – кількість факторів. Експерименти провели в трикратній повторності [92].

Під час проведення експериментів з визначення зусилля стиснення пластин  $F_d$ , або реалізації складеної план-матриці, для усунення впливу неконтрольованих (НКФ) і нерегульованих (НРФ) факторів (рис. 2.7) на значення параметра оптимізації, провели її рандомізацію шляхом застосування методу випадкового балансу, який реалізовано способом витягання порядкових номерів експериментів з урни [95].

Реалізацію двофакторного експерименту провели в три етапи – етап підготовки до зварювання, етап проведення експериментів з використанням лабораторної установки та етап обробки експериментального масиву даних.

Етап підготовки до зварювання пластин складався з наступних операцій: підготовки пластин для зварювання та визначення впливу технологічних факторів; моделювання зазорів між зварними пластинами.

Моделювання зазорів між зварними пластинами (рис. 2.8) проводилося за відомою методикою.

В цьому випадку зразки 1 в місцях імітації вже зварених точок стискалися спеціальними струбцинами 2 зусиллям 2...8 кН, яке цілком забезпечувало жорстке закріплення зразків товщиною 1...4 мм при їх деформації електродами в місці зварювання. Величина зазору  $\delta$ , а також кут  $\alpha$  розкриття зазору в напуск регулювали за рахунок встановлення прокладок 3.

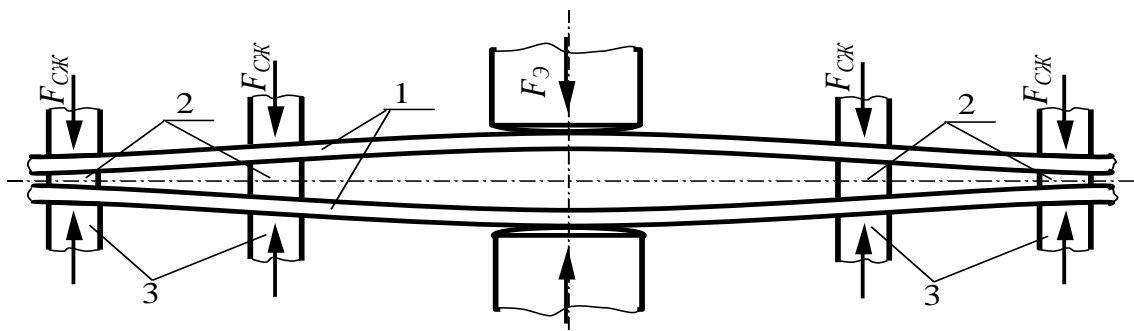


Рис. 2.8. Схема моделювання зазорів стисненням пластин: 1 – деталь; 2 – прокладки; 3 – притискна струбцина

Етап обробки експериментального масиву даних провели в наступній послідовності: визначали числові значення зусилля стиснення пластин  $F_D$ ; отримані експериментальні значення зусилля стиснення пластин  $F_D$  заносили у таблицю рандомізованої план-матриці; обробку числових даних зусилля стиснення пластин  $F_D$  проводили за відомими методиками.

#### **2.4. Результати експериментальних досліджень зусилля стиснення арматури вентиляційних систем**

Проведення експериментальних досліджень, які встановлювали характер зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від параметрів процесу зварювання здійснювали згідно з відомою методикою.

Порядок реалізації експериментів з визначення характеру зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від параметрів процесу зварювання встановлювали згідно рандомізованої план-матриці експерименту типу ПФЕ 3<sup>2</sup>. Результати експериментів зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від параметрів процесу зварювання наведено у табл. 2.2.

Функцію відгуку, або характер зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від параметрів процесу зварювання, визначену експериментальним шляхом вигляді функціоналів  $F_{1D} = f_1(t, \delta)$  і  $F_{2D} = f_1(u, s)$ , знаходили у вигляді математичної моделі повного квадратного полінома

$$F_{iD} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2, \quad (2.12)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  – коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ ;  $x_1, x_2$  – відповідні кодовані фактори.

Таблиця 2.2

Результати досліджень характеру зміни зусилля стиснення пластин  $F_{1D}$  та  $F_{2D}$

№ досл.	$t$	$\delta$	$F_{1D}$	$u$	$s$	$F_{2D}$
1	60	0,6	1,7	1,5	15	0,4
2	100	0,6	1,1	3	15	0,7
3	140	0,6	0,3	4,5	15	1,9
4	60	1,6	2,8	1,5	30	0,6
5	100	1,6	1,5	3	30	1,6
6	140	1,6	0,5	4,5	30	2,9
7	60	2,6	3,4	1,5	45	0,8
8	100	2,6	1,9	3	45	2,1
9	140	2,6	0,8	4,5	45	3,7

Коефіцієнти рівняння регресії, які характеризують зміну характеру зміни зусилля стиснення пластин  $F_D$  залежно від параметрів процесу зварювання та які записано у вигляді функціонала  $F_{1D} = f_1(x_1; x_2)$  у кодованих величинах

визначали за відомими формулами. Перехід від кодованих факторів до натуральних факторів моделі  $F_{1Д} = f_1(t; \delta)$  визначали за формулами (2.11), (2.12). Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії зміни зусилля стиснення пластин  $F_{1Д}$  залежно від параметрів процесу зварювання наведено у табл. 2.3.

Після відповідних перевірок отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну зусилля стиснення пластин  $F_{1Д}$  залежно від параметрів процесу зварювання [98]

Таблиця 2.3

## Коефіцієнти рівняння регресії

$F_{1Д} = f_1(t, \delta)$	$b_0$	$t$	$\delta$	$t\delta$	$t^2$	$\delta^2$
	-0,82	0,05	1,5	-0,004	-0,0004	-0,15
$F_{2Д} = f_2(u, s)$	$b_0$	$u$	$s$	$us$	$u^2$	$s^2$
	0,28	0,03	-0,78	0,002	-0,0007	0,19

$$F_{1Д} = -0,82 + 0,05t + 1,5\delta - 0,004t\delta - 0,0004t^2 - 0,15\delta^2; \quad (2.13)$$

Одержане рівняння регресії (2.13) характеризує зміну зусилля стиснення  $F_{1Д}$  арматури у процесі її контактного точкового зварювання від факторів у вигляді функції  $F_{1Д} = f_1(t, \delta)$  у наступних межах зміни діапазону варіювання змінними факторами: відстань між зварними точками  $60 \leq t \leq 140$  мм; величина зазору між зварними точками  $0,6 \leq \delta \leq 2,6$  мм; відстань від кромки арматури до зварної точки  $15 \leq u \leq 45$  мм; товщина деталей  $1,5 \leq s \leq 4,5$  мм.

За одержаним рівнянням регресії (2.13) побудовано поверхні відгуку (рис. 2.9) та двомірний переріз поверхні відгуку (рис. 2.10) зміни зусилля стиснення електродів як функція  $F_{1Д} = f_1(t, \delta)$  – рис. 3.5, рис. 3.6.

Зусилля стиснення пластин  $F_{1Д}$  знаходиться у діапазоні зміни  $F_{1Д} = 0,1 \dots 3,4$  кН (рис. 3.5, рис. 3.6). При цьому за збільшенням відстані між зварними точками  $t$  у діапазоні  $60 \leq t \leq 140$  мм зусилля  $F_{1Д}$  зменшується, а значне зниження  $F_{1Д}$  відповідає значенню  $t \geq 100$  мм та знаходиться у межах від 1,5 до 0,1 кН.



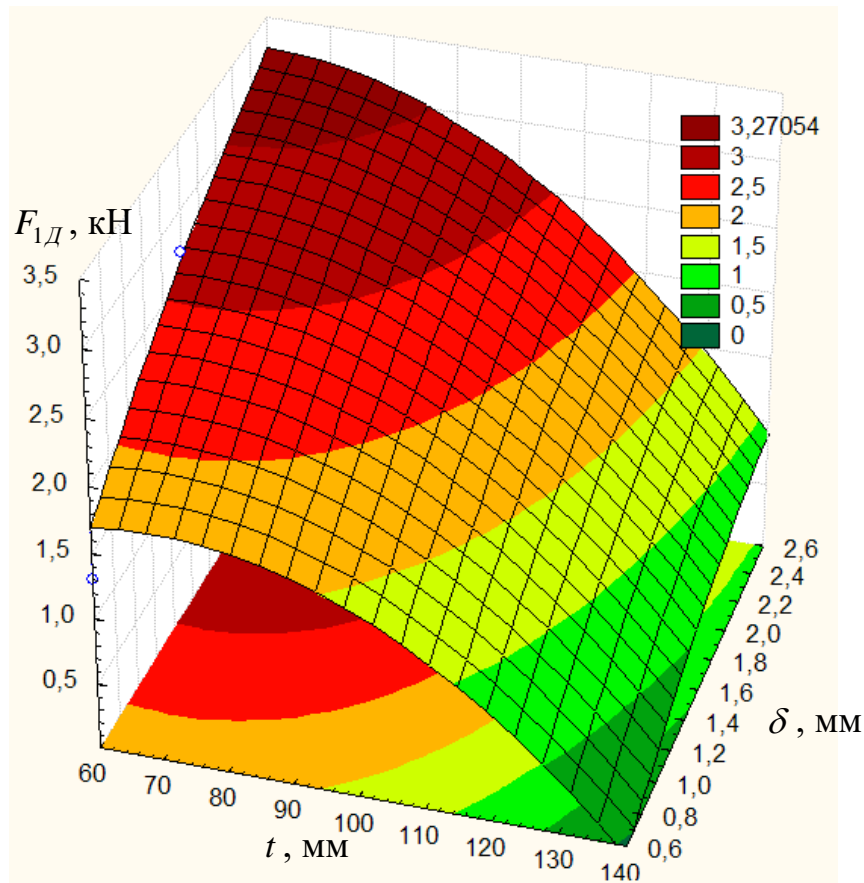


Рис. 2.9. Поверхня відгуку зміни зусилля стиснення електродів  $F_{iD}$

як функція  $F_{1D} = f_1(t, \delta)$

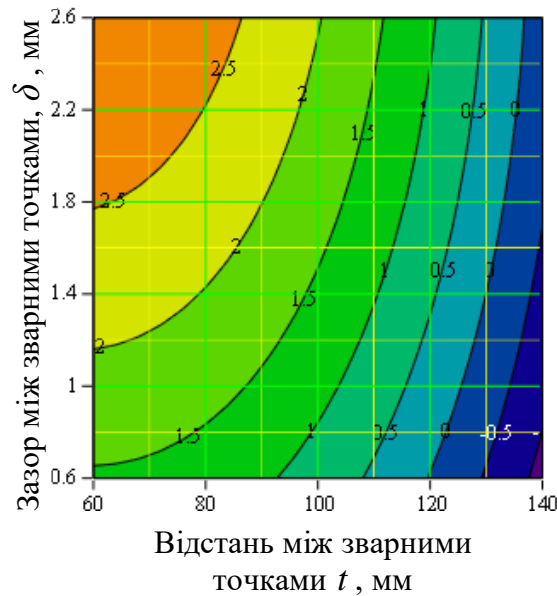


Рис. 2.10. Двовірні перерізи залежності зміни зусилля стиснення

пластин  $P_{iD}$  як функція  $F_{1D} = f_1(t, \delta)$

У межах зміни відстані між зварними точками  $60 \leq t \leq 80$  мм зусилля стиснення  $F_{1D}$  зменшується незначно та становить 0,2кН (рис. 2.9, рис. 2.10).

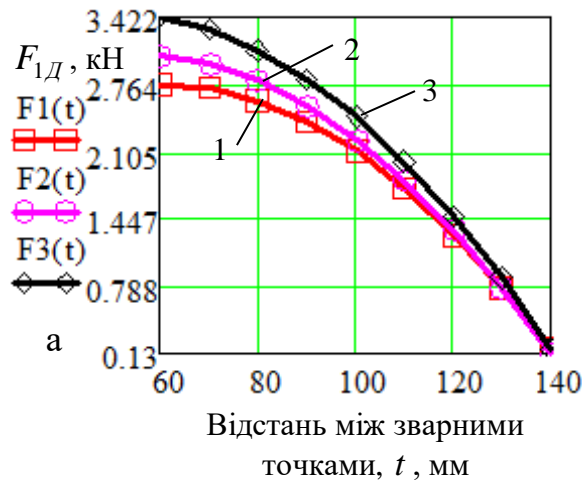


Рис. 2.11. Залежність зміни зусилля стиснення електродів  $F_{1Д}$  як функція  $F_{1Д} = f_1(t)$ : 1. 2. 3 – при  $\delta = 0.6: 1.6: 2.6$  мм

Ця закономірність характеру поведінки функціональної зміни зусилля стиснення електродів  $F_{1Д}$  також підтверджується залежністю, яку наведено на рис. 2.11.

Розроблена емпірична модель дозволяє описувати зміну зусилля стиснення арматури у процесі контактного точкового зварювання.

## 2.5. Висновки до розділу

1. Отримано рівняння регресії у натуральних величинах, які характеризують зміну зусилля стиснення арматури під час контактного точкового зварювання у наступних межах зміни факторів: відстань між точками зварювання від 60 до 140 мм; зазору між зварними точками від 0,6 до 2,6 мм.

5. Зусилля стиснення арматури становить  $F_{1Д} = 0,1 \dots 3,4$  кН, а збільшенням відстані між точками зварювання від 60 до 140 мм призводить до зменшення  $F_{1Д}$ , причому суттєве зменшення  $F_{1Д}$  відбувається за значення  $t \geq 100$  мм та становить від 1,5 до 0,1 кН.

### 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1. Загальна характеристика зварного виробу

*Призначення виробу.* Виробом є зварювання арматури, яка призначена для виробництва повітропроводів витяжних вентиляційних систем. Призначення вентиляції: вона використовується для повітрообміну шляхом механічного відведення повітря і його притоки тін. Витяжна система також буває локальної та / або загальнообмінної дії. Однією з основних складових будь-якої вентиляційної системи служить повітропровід, що представляє собою конструкцію у вигляді трубопроводу, що служить для пересування повітря. В системі повітропроводів є прямі ділянки і фасонні частини, які впливають на напрямок руху повітряних потоків, а також на їх з'єднання і поділ.

*Технічні вимоги до виробу.* Основними технічними умовами на виготовлення повітропроводів є дотримання розмірів в межах допусків, які вказано на кресленнях. Також це дотримання правильності форми конструкції згідно креслень, розрахункових параметрів режиму зварювання, які наведено в технологічних картах на виготовлення виробу та дотримання правил техніки безпеки. У місцях зварювання допускаються відхилення згідно стандартів. Грунтування, фарбування виробу повинні проводитись тільки після того, як даний виріб буде прийнято контролером.

*Характеристика матеріалу виробу.* Арматура виготовляється з маловуглицевої конструкційної якісної сталі марки Сталь 08кп у вигляді стрічки холоднокатаної товщиною 1,5 мм і шириною 50 мм.

Залежно від умов розкислення і степені розкислення розрізняють наступні види сталей: спокійні, киплячі і напівспокійні. В позначенні даної сталі ставляться букви кп, отже дана сталь відноситься до групи киплячих сталей. Киплячі сталі повністю не розкислені. Вони є більш дешевими, тому що при їх виробництві відходи мінімальні. В порівнянні з спокійною і напівспокійною сталю – киплячі більш схильні до старіння і холодноламкості, і гірше зварюються. Сталь 08кп зварюється без обмежень, крім хіміко термічно

оброблених деталей; способи зварювання: ручне дугове зварювання, автоматичне дугове зварювання під флюсом і газовим захистом, контактне точкове зварювання [3].

*Вимоги до матеріалів і напівфабрикатів.* Оскільки для виготовлення виробу використовується вуглецева сталь, то в кресленнях необхідно вказувати: групу та категорію для сталей за ГОСТ 380-71 та ГОСТ 16523-70; вимоги за степені розкислення для сталей за ГОСТ 380-71.

Для захисту від надмірної вологості необхідно використовувати обезводнювальний засіб - силікагель. При упакованні напівфабрикатів силікагель поміщають в упаковальну тару разом із металом. Всі матеріали та напівфабрикати повинні мати сертифікати заводу постачальника або супроводжувальні паспорти, при відсутності яких вони не можуть бути допущені у виробництво без попередніх випробувань з метою встановити відповідності вимогам стандартів на постачання.

*Вимоги до розмірів і геометричної форми виробу.* В процесі виробництва на стадії проектування і виготовлення виробу потрібно забезпечувати геометричні розміри і форму виробу. Це завдання вирішується встановленням ряду вимог, а саме: розробити конструкцію з врахуванням технологічних особливостей виробництва; дотримуватися вимог поставлених до зварних з'єднань, підготовки поверхонь заготовок які зварюються та допусків на розміри; чітко дотримуватися технології для попередження виникнення напружень і деформацій.

*Вимоги до зварних з'єднань виробу.* Зварним з'єднанням називають ділянку конструкції, в якій окремі її елементи з'єднані зварюванням. Основні типи і конструктивні елементи швів у зварних з'єднаннях, що виконуються контактним точковим зварюванням повинні відповідати умовам стандарту. Конструктивні елементи нестандартних швів встановлюється розробниками конструкторської документації та вказуються на кресленні.

Зварні з'єднання не повинні мати дефектів, які виходять за межі норм, встановленими стандартом. До зварних з'єднань відбивача ставлять наступні вимоги: дотримання форми і розмірів з'єднання у відповідності з технічними умовами, що вказані на кресленнях; відсутність тріщин, пор, виплесків та

інших дефектів; забезпечення міцності і надійності з'єднань під час експлуатації.

*Вимоги до складання.* Важливою умовою досягнення високої якості зварних конструкцій є мінімальні зазори між деталями які з'єднуються, тому що під час контактного точкового зварювання при збільшеному зазорі частина зусилля електродів затрачається на усунення цих зазорів.

Існує декілька способів складання: по попередній розмітці, або по контрольним отворам. При складанні по попередній розмітці положення кожного елемента визначається за місцем нанесення на з'єднувальні елементи розмічувальних ліній. При складанні по контрольним отворам, з'єднуються деталі по спеціальних отворах.

При виготовленні зварних конструкцій на складально-зварювальному обладнанні виріб не піддається транспортуванню і проміжному переміщенню, що сприяє збереженню розмірів. Якість виробу в цьому випадку значно вища ніж при зварюванні на прихопленнях.

Таким чином в нашому випадку ми будемо використовувати для зварювання відбивача складально-зварювальне обладнання.

При складанні виробу потрібно виконати наступні вимоги: не допустити перекосів і згинання кільця в маніпуляторі; не допускається грубе складання деталей з утворенням великих зазорів; небажане попадання забруднень в зону складання і зварювання виробу; забезпечити точне встановлення зварюваних деталей у відповідності з кресленням виробу.

Складання виконують на спеціальних пристосуваннях - оправках. На зварюваних поверхнях і в зазорах між деталями, складених під зварювання, не допускається наявність мастил, бруду, вологи, іржі.

*Вимоги до якості виробу.* При контролі якості зварного виробу і оцінки придатності до експлуатації необхідно знати вплив навколишніх і внутрішніх факторів на міцнісні характеристики виробу. Це залежить від конструктивних і експлуатаційних факторів.

Зварювання деталей має забезпечити необхідну якість зварних з'єднань, тобто отримання ядра відповідних розмірів і без недопустимих дефектів, а також стійкість процесу, тобто малу чутливість до самовільного відхилення параметрів режиму зварювання.

### 3.2. Огляд технологічних процесів виготовлення зварного вибору

Для даного виробу існує технологічний процес виготовлення що складається із таких операцій: заготівельної; очищення; вирубування; складання; зварювання; зачищення; контроль якості; фарбування; приймальний контроль. Технологічний процес заготовки деталей включає в себе наступні основні операції: правлення, розмічання, вирубування, гнуття.

Правлення проводиться в холодному стані на семивалкових вальцях. Розмічування деталей проводиться на розмічувальних плитах. Вирубування проводиться на пресі встановивши заготовку в штампі.

Перед складанням деталей проводиться зачищення зварювальних кромок від бруду, іржі, мастил. Зачищення проводиться слюсарним інструментом. Деталі транспортують до місця складання і зварювання в спеціальних візках. Далі проводиться складання деталей і зварювання їх на контактній точковій машині.

Недоліком існуючого технологічного процесу виготовлення відбивачів є низький рівень механізації транспортувальних, складальних, зварювальних, а також завантажувально-розвантажувальних операцій.

Метою удосконалення є розроблення складально-зварювального обладнання яке б дозволило підвищити продуктивність праці, скоротити час на виготовлення відбивачів, скоротити час на виконання транспортних операцій.

*Обґрунтування вибору матеріалу зварного виробу.* Для сталей, призначених для зварних конструкцій, важливою є мала чутливість до термічного старіння, а для сталей, які піддаються холодному правленню і гнуттю, мала схильність до деформаційного старіння. При проектуванні зварних конструкцій, велику увагу приділяють вибору матеріалу з метою отримання виробів більш якісними і з якомога меншою вагою. По можливості використовують міцні метали, а також враховують специфіку роботи об'єктів.

При виборі матеріалу для виготовлення зварних конструкцій керуються, насамперед, механічними властивостями основного металу та

зварних з'єднань. Матеріал зварного виробу повинен мати хороші механічні властивості, добре зварюватись, піддаватись механічній і хіміко-термічній обробці, а також мати невисоку вартість. Основним критерієм при виборі марки сталі і способу виготовлення зварних конструкцій є кількість, надійність і довговічність зварних з'єднань.

Тому матеріалом для виготовлення відбивача світильника вибираємо маловуглицеву конструкційну якісну сталь марки Сталь 08кп.

Хімічний склад сталі марки Сталь 08 кп наведено в таблиці 3.1, механічні властивості в таблиці 3.2, а фізичні властивості у таблиці 3.3 згідно відповідних держстандартів.

Таблиця 3.1-Хімічний склад Сталь 08кп за ГОСТ 1050-74,% [3, с.41]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Cu	Ni	As
			не більше					
0,05-0,11	0,25-0,50	До 0,03	0,035	0,04	0,10	0,25	0,25	0,08

Технологія зварювання вибирається залежно від основного показника зварюваності для кожного конкретного матеріалу. Зварюваністю називається сукупність технологічних характеристик основного металу, які визначають його реакцію на зміни що проходять при зварюванні, і здатність при прийнятому технологічному процесі забезпечити надійне в експлуатації і економічне зварне з'єднання. Під зварюваністю маловуглицевої сталі розуміють характеристику металу, або сполучення металів утворювати зварні з'єднання за обраної технології зварювання, яка повинна відповідати вимогам, які характеризують виготовлення конструкції та експлуатацію виробу.

Таблиця 3.2 - Механічні властивості Сталь 08кп [3, с.42]

ГОСТ	Стан постачання	σв, МПа	δ5 (δс)	ψ	НВ
			%		
			не менше		
503-81	Стрічка холоднокатана:	310	32	-	-
	- особливо м'яка	245-390	23	-	-
	- м'яка	315-440	17		
	- напівгартована	370-510	7		
	- нагартована	440-590	4		

Таблиця 3.2 – Фізичні властивості сталі марки Сталь 08 кп [ 3, с.617 ]

Густина	Теплоємність	Питомий електричний опір	Температуро-провідність
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	C, Дж/(кг×К)	$\rho_t$ , НОм×м	$\lambda$ , Вт×(м×°С)
7871	482	147	63

Розрізняють фізичну і технологічну зварюваність. Під фізичною зварюваністю розуміють здатність металів утворювати в результаті зварювання монолітне зварне з'єднання з хімічним зв'язком. Технологічна зварюваність – техніко-економічний показник. Вона характеризує можливість отримання зварного з'єднання необхідної якості, яке задовольняє потребам надійності конструкції при експлуатації, з застосуванням наявного обладнання при намічених затратах роботи і часу.

Основними труднощами при зварюванні конструкційних маловуглицевих, низьколегованих, а також середньолегованих сталей є: чутливість до загартування та утворення холодних тріщин; схильність до утворення гарячих тріщин; забезпечення рівномірності зварного з'єднання.

Існує декілька методів, які дозволяють оцінювати схильність сталі до утворення тріщин розрахунковим шляхом за хімічним складом сталі. Один з таких методів – оцінка потенційної схильності до утворення тріщин за значенням еквівалента вуглецю  $C_{екв}$ .

Значення  $C_{екв}$  характеризує прогартовуваність сталі, тобто воно пропорційне її критичним швидкостям охолодження, що обумовлюють загартовування.  $C_{екв}$  можна використовувати в якості порівняльного кількісного показника потенційної схильності різних марок сталі до утворення тріщин. При  $C_{екв} > 0,45\%$  сталі часто стають потенційно схильними до утворення тріщин. Еквівалентний вміст вуглецю визначається за формулою [4, с. 526]

$$C_{екв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{10} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{15} + \frac{V}{14} + 5B; \quad (3.1)$$

де вміст вуглецю та інших легуючих елементів подано в відсотках.

$$C_{екв} = 0,11 + \frac{0,5}{6} + \frac{0,03}{24} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,10}{5} + \frac{0,25}{15} = 0,25\%$$

Еквівалентний вміст вуглецю Сталі 08кп  $C_{екв} = 0,25\%$  є меншим за 0,45% отже



ця сталь добре зварюється без утворення гартівних структур і тріщин, тому попереднє підігрівання і термічне оброблення проводити непотрібно.

*Заготовки та методи їх одержання.* Для виготовлення одного відбивача світильника марки РСП-20 використовують шість фацет, які виготовляють із стрічки зі Сталі 08кп. Металопрокат який поступає з металургійних заводів у відповідності з стандартами повинен бути виправленим, але враховуючи порушення правил вантажно-розвантажувальних робіт, які призводять до деформування прокату виникає необхідність операції правлення.

Для вирівнювання сталюї стрічки використовують семивалкові вальці. Схема правлення стрічки показана на рисунку 3.1.

Для очищення прокату, стрічки, деталей і зварних вузлів використовують механічні і хімічні методи. До механічних методів відносять способи очищення: дробоструминеви́ми, і дробомітними апаратами; а також використовують очисні станки, робочим органом яких є металеві щітки, голкофрези, шліфувальні круги і стрічки; ручні пневматичні і електричні машини. Очищення ручним і механізованим інструментом малопродуктивні і використовуються в основному для очищення зварних швів та іншого. До хімічних методів відносять обезжирення і травлення, які виконуються ванним або струминевим способом. Хімічне очищення ефективне, але потребує більших затрат на очищення стічних вод.

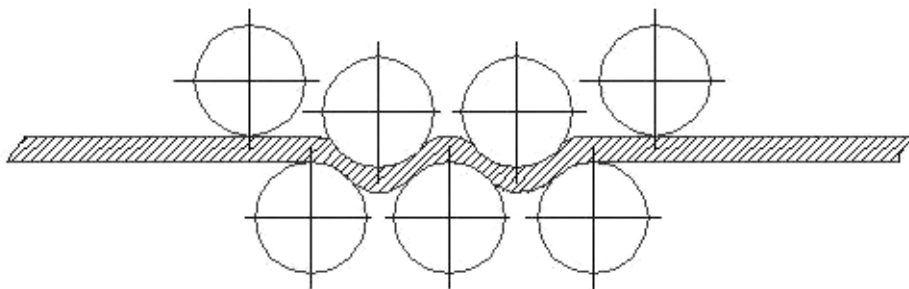


Рисунок 3.1 – Схема правлення стрічки в листоправильних семивалкових вальцях

Після правлення металеву стрічку розрізають на заготовки необхідного розміру на спеціальних пресових ножицях. Холодне штампування забезпечує

високу точність і продуктивність, меншу масу зварних конструкцій і використовується для заготовок деталей із листів, стрічки товщиною до 10 мм. Основними видами холодного штампування є: вирубування; пробивка отворів; згинання – однобічне, двохбічне; витяжка; формування деталі.

*Вибір та обґрунтування способу зварювання.* Арматура вентиляційних систем має товщину 1,5 мм, тому можна використати такі види зварювання: контактне точкове зварювання, плазмове зварювання, газове зварювання.

Враховуючи конструктивні особливості і технічні вимоги до даного зварного виробу, вибираємо для його виготовлення спосіб контактного точкового зварювання.

Контактне точкове зварювання представляє собою процес утворення нероз’ємного з’єднання, яке виникає в результаті нагрівання металу під час проходження електричного струму через деталі і пластичної деформації зони з’єднання.

Основні відмінні особливості цього способу зварювання – надійність з’єднань, гарний зовнішній вигляд з’єднання, тому що відсутній присаджувальний метал, високий рівень механізації і автоматизації, висока продуктивність процесу виробництва, малі зварювальні напруження конструкцій. Контактне точкове зварювання не потребує допоміжних матеріалів (флюсів, присаджувального дроту, захисних газів та ін.)

Для зварювання арматури вентиляційних систем використовуємо одностороннє багатоточкове контактне зварювання. Зварювання проводиться за шість етапів, на кожному з етапів зварюються одночасно десять точок. Використання одностороннього контактного зварювання пов’язано з тим, що відбивач є суцільним і не має змоги підвести електроди з іншої сторони. Фацети встановлюється на оправку, яка має мідну підкладку зверху, для шунтування струму і відведення тепла.

*Вибір електродів для контактного точкового зварювання.* Електроди для контактного точкового зварювання служать для безпосереднього підведення до зварювальних деталей струму і зусилля притискання.

Для контактного точкового зварювання використовують неплавкі електроди, які виготовляють із кольорових металів, або їх сплавів.

Умови роботи електродів є складними і визначаються наступними факторами: високою температурою в контакті електрод-деталь; значними зусиллями на робочі поверхні, які носять ударний характер; циклічним нагріванням і навантаженням робочої поверхні; зміною хімічного складу металу робочої частини електрода, яка знаходиться в контакті з зварювальними деталями.

Для виготовлення арматури вентиляційних систем вибираємо електроди із хромистої бронзи марки БрХ1. Хромиста бронза має високу твердість, жароміцність та електропровідність і застосовується переважно для контактного точкового зварювання маловуглицевих і низьколегованих сталей. Електроди входять в систему охолодження машини і охолоджуються за допомогою води, яка подається із водопровідної мережі підприємства і проходить через них. Із машини відпрацьована вода відводиться в каналізацію.

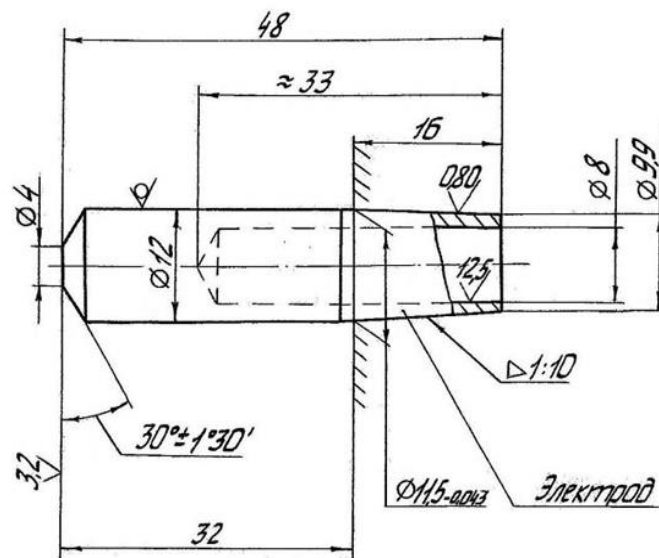


Рисунок 3.3 - Загальний вигляд електрода для контактного точкового зварювання

Загальний вигляд електрода для контактного точкового зварювання показано на рисунку 3.3

### 3.3. Розрахунок параметрів режиму контактного точкового зварювання арматури

Для отримання якісного зварного з'єднання, потрібно не лише вибрати певний спосіб зварювання, а також розрахувати параметри режиму зварювання, які впливають на розміри і властивості зварного шва і біляшовної зони. До основних параметрів контактної точкової зварювання відносять: зварювальний струм, час імпульсу струму, зусилля стиску електродів.

Оскільки матеріал виробу зварюється добре і не потребує додаткового оброблення після утворення зварного з'єднання, тому для зварювання арматури вентиляційних систем вибираємо циклограму із постійним зусиллям стискання і одним імпульсом струму.

На рисунку 3.4 зображено циклограму точкового контактної зварювання [5].

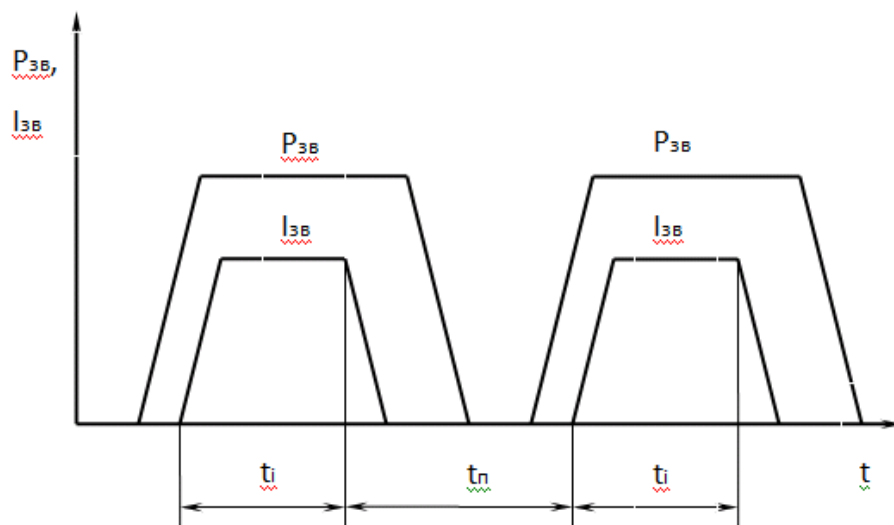


Рисунок 3.4 – Циклограма процесу контактної точкової зварювання;

$I_{зв}$  – струм зварювання;  $P_{зв}$  – зусилля стиску електродів;  $t_i$  – час імпульсу зварювального струму;  $t_n$  – час паузи

Зусилля стискання  $P_{зв}$  деталей електродними за двоконтактної точкової зварювання залежить від механічних характеристик арматури деталей, їх

товщини і може бути визначена за формулою [6, с.16]

$$P_{зв} = 500 + 2 \cdot 10^6 \cdot \delta \quad (3.2)$$

де  $\delta$  – товщина деталей зварюваного виробу, м

$$P_{зв} = 500 + 2 \cdot 10^6 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 1500 \text{ Н}.$$

Час проходження зварювального струму є одним із головних параметрів процесу двоконтактного точкового зварювання. Його називають часом імпульсу  $t_i$ . Час імпульсу в основному залежить від властивостей матеріалу зварювання та товщини деталей, які зварюються.

Час імпульсу зварювального струму визначається за формулою [6, с.17]

$$t_i = 0,04(1 + \delta^2 \cdot 10^6); \quad (3.3)$$

$$t_i = 0,04(1 + 0,15^2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6) = 0,25 \text{ с}$$

Час стиску електродів визначається за формулою [6, с.17]:

$$t_c = (2 \div 3)t_i, \quad (3.4)$$

$$t_c = (2 \div 3) \times 0,25 = 0,5 \text{ с}.$$

Загальний час зварювання визначається за формулою [6, с.17]

$$t_{зв} = t_i + t_n; \quad (3.5)$$

$$t_{зв} = 0,25 + 0,5 = 0,75 \text{ с}.$$

На основі рівняння теплового балансу можна визначити діюче значення зварювального струму [5, с.45]

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (3.6)$$

де  $Q$  – загальна кількість теплоти, яка утворюється між електродами;  $Q_1$  – теплота  $T_{пл}$ , яка необхідна для нагріву циліндричної арматури висотою  $2\delta$  і діаметром  $d$ ;  $Q_2$  – теплота, яка затрачається для нагрівання арматури шириною  $x_2$ ;  $Q_3$  – теплота, яка затрачається для нагрівання електродів циліндричної форми висотою  $X_3$  до середнього значення температури  $T_e$ ).

Теплота  $Q_1$  визначається за формулою [5, с.46]

$$Q_1 = \frac{\pi d x_2^2}{4} \cdot 2\delta \cdot c \cdot \gamma \cdot T_{пл} \quad (3.7)$$

де  $\delta$  – товщина зварюваних деталей, м ( $\delta=0,0005\text{м}$ );  $dя$  – діаметр ядра, м ( $dя = 0,003\text{м}$ );  $c$  – теплоємність зварюваного металу, Дж/кг\*К, ( $c = 462$  Дж/кг\*К);  $\gamma$  – густина зварюваного металу, кг/м<sup>3</sup>, ( $\gamma = 7800$  кг/м<sup>3</sup>);  $T_{пл}$  – температура до якої потрібно нагріти метал під час зварювання.

Тобто  $T_{пл} = 1803 - 293 = 1510\text{К}$ , де 1803 – температура плавлення зварюваного металу, К, а 293 – температура зварюваного металу до початку зварювання, К.

$$Q_1 = \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} \cdot 2 \cdot 0,0005 \cdot 462 \cdot 7800 \cdot 1510 = 38,444 \text{ Дж}.$$

Під час розрахунку  $Q_2$  приймаємо, що помітне підвищення температури спостерігається на відстані  $x_2$  від границі ядра.

Значення  $x_2$  для маловуглицевих сталей визначається за формулою [5, с.46]

$$x_2 = 1,2 \cdot \sqrt{ti} \cdot 10^{-2} \quad (3.8)$$

$$x_2 = 1,2 \cdot \sqrt{0,15} \cdot 10^{-2} = 0,0046 \text{ м}.$$

Тепло, яке затрачається, на нагрівання металу у вигляді кільця шириною  $x_2$  навколо литого ядра визначається за формулою [5, с.46]

$$Q_2 = k_1 \cdot \pi \cdot x_2 \cdot (dя + x_2) \cdot 2\delta \cdot c \cdot \gamma \cdot \frac{T_{пл}}{4}, \quad (3.9)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт, який враховує, що середня температура кільця дещо нижча від середньої температури  $T_{пл}/4$ , в зв'язку з складним розподіленням температури по ширині цього кільця. Коефіцієнт  $k_1 = 0,8$  [5, с.47]

$$Q_2 = 0,8 \cdot 3,14 \cdot 0,0046 \cdot (0,003 + 0,0046) \cdot 2 \cdot 0,0005 \cdot 462 \cdot 7800 \cdot \frac{1510}{4} = 1116,06 \text{ Дж}.$$

Втрата тепла на нагрівання умовного циліндра висотою  $x_3$  до середньої температури  $T_{пл}/8$  визначається за формулою [5, с.47]

$$Q_3 = 2 \cdot k_2 \cdot \frac{\pi dя^2}{4} \cdot x_3 \cdot c_e \cdot \gamma_e \cdot \frac{T_{пл}}{8}; \quad (3.10)$$

де  $k_2$  - коефіцієнт який враховує форму робочої поверхні електрода. Для

електрода з циліндричною робочою поверхнею  $k_2=1$ ;  $x_3$  - висота умовного циліндра нагрітого до температури  $T_{пл}/8$ , м;  $C_e$  – теплоємність металу електроду, Дж/кг\*К ( $C_e = 380$  Дж/кг\*К);  $\gamma_e$  – густина металу електроду, кг/м<sup>3</sup> ( $\gamma_e = 8930$ кг/м<sup>3</sup>).

Висота умовного циліндра нагрітого до температури  $T_{пл}/8$  визначається за формулою [5, с.46]

$$x_3 = 3,3 \cdot \sqrt{ti} \cdot 10^{-2}; \quad (3.11)$$

$$x_3 = 3,3 \cdot \sqrt{0,15} \cdot 10^{-2} = 0,013 \text{ м};$$

$$Q_3 = 2 \cdot 1 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} \cdot 0,013 \cdot 380 \cdot 8930 \cdot \frac{1510}{8} = 117,7 \text{ Дж};$$

$$Q = 38,444 + 116,06 + 117,7 = 275,564 \text{ Дж}.$$

Опір деталей в кінці нагрівання визначається за формулою [5, с.29]

$$R_{кин} = \frac{A\delta \cdot kn \cdot \delta}{\frac{\pi \cdot d_{кин}^2}{4}} \cdot (\rho_1 + \rho_2), \quad (3.12)$$

де  $d_{кин}$  - діаметр контакту до кінця нагрівання, м. Приймаємо  $d_{кин} = 0,004$ м;  $kn$  – коефіцієнт який враховує нерівномірність нагрівання деталей, які зварюються. Для сталей  $kn = 0,85$  [5, с.29];  $\rho_1, \rho_2$  - питомий електричний опір для температур  $T_1$  і  $T_2$ . Для сталей  $T_1$  і  $T_2$  приймають рівними 1200 і 1500 °С [5, с.29];  $A\delta$  – коефіцієнт, який залежить від співвідношення  $dk/\delta$ , де  $dk$  – діаметр площі контакту  $\frac{dk}{\delta} = \frac{4}{0,5} = 8$ . За графіком [5, с.26] коефіцієнт  $A\delta = 1$ .

Залежність опору від температури визначається за формулою [5, с.26]:

$$\rho_t = \rho \cdot (1 + \alpha\rho \cdot T) \quad (3.13)$$

де  $\rho$  – питомий електричний опір при температурі 20 °С матеріалу деталей які зварюються, Ом\*м, ( $\rho = 13 \cdot 10^{-8}$  Ом·м) [5, с.25];

$\alpha\rho$  – температурний коефіцієнт зміни опору;

$T$  – температура в кінці нагрівання деталей, град.

Для сталей  $\alpha\rho = 0,004$  1/град [5].

$$\rho_{1200} = 13 \cdot 10^{-8} (1 + 0,004 \cdot 1200) = 75,4 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{1500} = 13 \cdot 10^{-8} (1 + 0,004 \cdot 1500) = 91 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$R_{кин} = \frac{1 \cdot 0,85 \cdot 0,0005}{3,14 \cdot 0,004^2} \cdot (75,4 + 91) \cdot 10^{-8} = 2,346 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$$

Сила зварювального струму визначається за формулою [5, с.47]:

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{Q}{k_3 \cdot R_{кин} \cdot ti}}; \quad (3.14)$$

де  $k_3$  - коефіцієнт зміну опору процесу зварювання.

Для маловуглицевих сталей  $k_3 = 1,0 \dots 1,1$  [5, с.47]. Приймаємо  $k_3 = 1,1$ .

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{275,564}{1,1 \cdot 2,346 \cdot 10^{-5} \cdot 0,15}} = 8849 \text{ А.}$$

*Вибір і обґрунтування зварювального обладнання.* Для виготовлення арматури вентиляційних систем використовується спеціалізований напівавтомат для контактного точкового зварювання. Напівавтомат призначений для виготовлення відбивача призначений для виготовлення відбивачів типу ЖИЦД 305.682.012 в умовах помірного і холодного клімату, категорія розміщення 4 по ГОСТ 15150-69.

Напівавтомат складається із турелі, двох чотириелектродних і однієї двохелектродної зварювальних головок, які розміщені на збірній станині, що складається із труби, стійки і корпусу, установлених на рамі турелі. Турель складається із рами на якій на нерухомій стійці знаходяться рухома гільза, що містить в двох корпусах дві оправки з двома незалежними приводами.

Оправки призначені для складання і базування на них деталей відбивача. Оправки розміщені в двох взаємно протилежних напрямках, одна із них знаходиться в зоні зварювання, а друга в цей момент – в зоні завантаження (розвантаження) фацет. Оправки в момент зварювання і складання фіксуються фіксатором. На корпусі фіксатора знаходиться зіштовхувач заготовок.



На бокових стінках стійки силової шафи розміщені два трансформатори ТК-301У4 і один трансформатор ТК-401У4. В нижній частині тумби змонтована насосна установка Г48-12, і апаратура керування гідросистемою напівавтомата. Наявність в корпусних вузлах діверок забезпечує вільне складання і регулювання елементів напівавтомата. Система охолодження призначена для охолодження протічною водою електродів з електродотримачами, трансформаторів і струмовідводів.

Зварювальний напівавтомат десятиелектродний, що дає можливість виконувати десять зварних з'єднань одночасно. Складально-зварювальні пристосування розміщені безпосередньо на станині напівавтомата, що дозволяє значно підвищити точність складання і уникнути дефектів, що виникають при транспортуванні, а також значно скоротити час на виготовлення відбивачів.

Зварювальні трансформатори повинні забезпечувати потрібну для даного технологічного процесу силу струму і напругу. Враховуючи розраховані параметри контактного зварювання обираємо зварювальні трансформатори. Обираємо два трансформатори типу ТК- 401У4 і один типу ТК-301У4, їх технічна характеристика наведена в таблиці 3.3.

*Вибір допоміжного обладнання для зварювання.* До допоміжного обладнання для зварювання відносять прилади керування машини: контактори і регулятори контактного зварювання. За допомогою апаратури керування здійснюється включення.

Регулювання величини і виключення зварювального струму, регулювання послідовності і тривалості окремих операцій циклу зварювання в тому числі і часу протікання зварювального струму, включення і регулювання зусилля стиску електродів та інше.

Для включення і виключення зварювального трансформатора в мережу служать спеціальні пристрої контактори. Контакттори включені в мережу послідовно з первинною обмоткою трансформатора і складаються з двох зустрічно і паралельно з'єднаних вентилів. В розробленому напівавтоматі для включення зварювальних трансформаторів служать тиристорні контактори типу КТ-11, які мають ряд переваг перед іншими: велика довговічність.

Малі габаритні розміри, високий коефіцієнт корисної дії, надійне відкриття тиристора. Технічні характеристики тиристорного контактора подано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика зварювальних трансформаторів ТК-301У4, ТК-401У4

Тип трансформатора		Ступені		ПВ, %	Струм				Напруга, В		
		Число	Номи-нальна		кА		А		U1	U20min. – U20max	U2ном.
					I2ном.	I2	I1ном.	I1			
ТК-301У4	w1=1	4	4	50	8	5,6	111	78	365	3 - 5	5
	w2=2				4	2,8				6 - 10	10
ТК-401У4	w1=1	4	4	50	10	7,1	278	197	365	7-10	10
	w2=2				5	3,55				14-20	20
Потужність, кВ·А		Опір обмоток $\times 10^{-6}, \text{Ом}$			Магнітопровід		Маса активних матеріалів, кг				
Sном.	S	гТ	хТ	зТ	Номер по додатку	h, мм	Мідь	Сталь	Загальна		
40	28	31 124	35 140	46,7 186,4	–	224	14,2	42,5	56,7		
100	70	46,6 186, 4	53,2 212,8	70,8 283,2		448	24,2	85	109,2		

Регулятори циклу контактного зварювання являють собою прилади, що призначені для управління послідовністю дій всіх зварювальних позицій і для витримки необхідних часових інтервалів на кожній позиції.

Використовуємо регулятор циклу – РКС–601.

*Вибір методу контролю якості виробу.* Для ефективного керування якістю важливим є контроль на всіх стадіях технологічного процесу. Контроль проектної документації і самих проектів повинно бути передбачено в відповідних організаціях. При цьому важливо мати на увазі, що помилка на стадії проектування обходиться часто в сотні і тисячі разів дорожче, чим виробничі дефекти. Має зміст вкласти лишні засоби для виконання якісного проекту, чим справляти наступні його недоробки.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики тиристорного контактора типу КТ-11

Параметри	Значення
Номинальна напруга мережі, В	220,240,380,415,440
Частота струму мережі, Гц	50-60
Номинальний струм, А: При тривалості імпульсу зварювального струму 0,5с. і ПВ рівне:	
50%	800
20%	1000
5%	1300
При тривалості імпульсу зварювального струму 2с і ПВ, рівне:	
50%	800
20%	900
Тип комутуючого пристрою	ТВ-500
Вид охолодження	Водяне
Розхід охолоджуючої води, м <sup>3</sup> /год	1

Якість вхідних матеріалів повинна задовольняти вимогам норм технологічних документів і сертифікатів. Технічний рівень і стан обладнання слід підтримувати в заданих межах, дотримуючись графіку технічного обслуговування і вимогам відповідних інструкцій. Режим зварювання контролюють в першу чергу з ціллю дотримання параметрів процесу. Використовуючи візуальний нагляд за приладами і за зовнішнім виглядом шва.

Усі методи контролю якості поділяються на дві групи: методи неруйнівного контролю; методи руйнівного контролю.

Методи неруйнівного контролю поділяються на такі групи: візуальний і вимірювальний контроль; капілярний контроль; магніто-порошковий контроль; радіографічний контроль; ультразвуковий контроль; контроль прогонкою металічним калібром (шариком); контроль герметичності; гідравлічний і пневматичний контроль.

До методів руйнівного контролю відносяться: механічні дослідження; металографічні дослідження; дослідження на стійкість на мікрокристалічну корозію; визначення складу феритної фази в наплавленому металі; контроль хімічного складу [9, с. 132].

При контролі швів контактного зварювання найбільш ефективно і раціонально, економічно застосовувати візуальний контроль, тому що даний виріб не є відповідальною конструкцією і не несе ніяких зусиль.

При виявленні дефектів бракований виріб по можливості виправляють, і дають на подальший процес. При невиправному браку виріб складають до бракованих виробів і потім здають на металобрухт.

### **3.4. Складання технологічного процесу виготовлення виробу**

Технологічний процес виготовлення відбивача світильника включає в себе ряд операцій: заготівельні, складальні, опоряджувальні, допоміжні, контрольні.

*Заготівельні операції.* Будь-який технологічний процес починається з підбору металу за необхідними розмірами, формою поперечного перерізу, маркою сталі. До заготівельних операцій належать: правлення, розмічування, вирубування, зачищення під зварювання.

Правлення проводять через недотримання правил вантажно-розвантажувальних робіт, що призводить до деформації бухти стрічки. Для того, уникнути втрат пластичності виробу, потрібно обмежити величину відносного залишкового видовження. Процес правлення проводять в холодному стані. Для правлення тонкого листового прокату використовують багато валкові вальці. Розмічування проводиться на розмічувальних плитах (стендах). Під час розмічування на метал наносять контури деталі за допомогою рисувалок. Вирубування проводиться на пресі, встановивши заготовку в штамп. При наявності іржі, бруду, мастил проводять зачищення металу під зварювання. Зачищення проводять шліфувальним папером, або іншим слюсарним інструментом.

*Опоряджувальні операції.* Після знімання деталі із оправки напівавтомата при необхідності зачищають зварні точки, видаляють металеві бризки виплесків. При необхідності проводять правлення виробу, після правлення проводять фарбування виробу.

*Допоміжні операції.* При виготовленні даного відбивача світильника виконуються наступні допоміжні операції: налагоджувальні роботи із зварювальною установкою та іншим обладнанням, перевантажувальні, розвантажувальні, транспортні, операції з технічного обслуговування зварювального обладнання.

Перед початком зварювання проводиться налагодження обладнання, очищення і заточення електродів, встановлюються параметри режиму зварювання, не рідше одного разу за зміну проводиться змащування поверхонь деталей що труться.

Переміщення кожного із механізмів здійснюється натисканням кнопки відповідних вимикачів, розміщених на панелі управління.

При виконанні перевантажувальних і транспортних операцій здійснюється перевезення заготовок на робоче місце, встановлення деталей, переміщення готових виробів.

*Контрольні операції.* У контроль якості зварювання входить: перевірка матеріалів зварювання; контроль якості основних операцій виготовлення зварного виробу.

Під контролем якості продукції розуміють перевірку відповідності показників якості продукції встановленим вимогам, які можуть бути зафіксовані в стандартах і технічних умовах.

В залежності від місця виконання контролю на тому чи іншому етапі, розрізняють: вхідний контроль; операційний контроль. Для даного виробу найбільш раціональним методом контролю є візуальний огляд. Візуальний огляд – це найпростіший візуально-оптичний метод контролю. Як правило зовнішнім оглядом контролюють всі зварні з'єднання незалежно від того чи будуть проводитись інші методи контролю. Зовнішній огляд достатньо інформативний, найбільш дешевий і оперативний метод контролю.

Зовнішній огляд на стадії підготовки до зварювання застосовується для контролю правильності складання і підготовки поверхонь до зварювання. При цьому можуть використовуватись вимірювальні прилади, шаблони і інші

пристосування. Спостереження за процесом зварювання дозволяє вчасно попередити появу дефектів, можна проконтролювати параметри режиму зварювання, правильність розміщення зварних точок і їх форму. Готові зварні з'єднання перевіряють на наявність тріщин, підрізів, виплесків, напливів, несплавлення та інших дефектів.

*Нормування технологічного процесу і витрат матеріалів та електроенергії.* Нормування витрат є необхідним фактором при будь-якому виробництві, тому що дає змогу економічно використовувати засоби для виробництва. При виготовленні зварних конструкцій потрібно забезпечити раціональне використання матеріалів (електродів, металу та інших). Використання електродних матеріалів при контактному точковому зварюванні складає в середньому 10-30 грам на 1000 точок. Стійкість металу притискних пристроїв із мідних сплавів до повного спрацювання забезпечує зварювання 20000-100000 стиків. Витрата електродних сплавів може бути знижена при використанні раціональних режимів зварювання і охолодження електродів, хорошою підготовкою поверхонь деталей і використанням сплавів, які мають невисоку степінь зношування.

Витрата охолоджуючої води для машин змінного струму складає 300-1200 л/год. Верхня межа відноситься до більш потужних машин. Економія води може бути досягнута при використанні замкнутої системи охолодження. Для проекрованої машини витрата води для охолодження складає не більше 1,1 м<sup>3</sup>/год. Витрати електроенергії при формуванні одного з'єднання на точкових контактних машинах визначаються за формулою [8, с.171]:

$$Q = I_{звср}^2 (R_{e\text{ср}} + R_m) t_{зв} (1 + V_k / \cos \varphi), \quad (3.15)$$

де  $I_{звср}$  – діюче середнє значення зварювального струму за  $t_{зв}$ , А;  $R_{e\text{ср}}$  – середній опір ділянки електрод-електрод, Ом;  $R_m$  – активний опір машини, який є у вторинному контурі (з врахуванням активного опору первинної обмотки трансформатора), Ом;  $t_{зв}$  – тривалість протікання  $I_{зв}$ , с;  $V_k$  – падіння напруги на контакторі, В;  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності зварювальної машини.

$$Q = 6927^2 * (3,604 * 10^{-3} + 33,4 * 10^{-6}) * 0,05 * (1 + \frac{1}{0,6}) = 827,9 \text{ Вт}.$$

Загальна витрата електроенергії для виготовлення одного виробу розраховується за формулою

$$Q_{\text{заг}} = Q * n, \quad (3.16)$$

де,  $n$  – кількість разів опускання електродів.

$$Q_{\text{заг}} = 827,9 * 3 = 2619 \text{ Вт}.$$

При контактному зварюванні під нормою часу розуміють час, який необхідний для виконання одного виробу. Нормування контактної зварювання, затрати часу на зварювальну операцію – штучний час визначається за формулою [ 5, с.529 ]:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{м}} + t_{\text{в}} + t_{\text{пр}} + t_{\text{п}}, \quad (3.17)$$

де  $t_{\text{м}}$  – машинний або основний технологічний час, який залежить від режиму зварювання, степені механізації і її потужності, хв. Приймаємо  $t_{\text{м}} = 0,465$  хв;  $t_{\text{в}}$  – додатковий час, який необхідний на встановлення, затискання і знімання деталі, її переміщення і інше, який залежить від степені механізації, додаткових операцій та іншого, хв. Приймаємо  $t_{\text{в}} = 0,20$  хв;  $t_{\text{пр}}$  – прибавочний час на технічне обслуговування обладнання ( пуск і регулювання, заправку електродів, прибирання і інше ) і складає 10 – 15 % (  $t_{\text{м}} + t_{\text{в}}$  ), хв. Приймаємо  $t_{\text{пр}} = 0,08$  хв;  $t_{\text{п}}$  – час на перерву в роботі і відпочинок, складає 10 – 20 % (  $t_{\text{м}} + t_{\text{в}}$  ), хв. Приймаємо  $t_{\text{п}} = 0,1$  хв.

$$t_{\text{шт}} = 0,465 + 0,20 + 0,08 + 0,1 = 0,845 \text{ хв}$$

Мале значення шт. = 0,845 хв, показує високу продуктивність цього технологічного процесу. Контактне зварювання – відносно енергоємний процес. Долі витрат електроенергії залежать від зварювальних металів, жорсткості режиму зварювання, типу обладнання і таке інше. Розхід електроенергії може бути суттєво зменшений при використанні жорстких режимів. До додаткових матеріалів при контактному зварюванні відносять електродні сплави, воду для охолодження струмоведучих частин, стиснуте повітря [ 5, с.531 ].

При контактному зварюванні проходить зношення робочих контактних частин машини. Зношення електродних матеріалів при точковому контактному зварюванні складає в середньому 10 – 30 г на 1000 точок. Стійкість металу притискних пристроїв із мідних сплавів до повного

зношення забезпечує зварювання 20000 – 100000 з'єднань. Витрата електродних матеріалів може бути знижена за рахунок використання раціональних режимів зварювання і охолодження електродів, хорошого підготовлення поверхонь деталей і використання сплавів, які мають високу стійкість проти зношення [5, с.531 ].

Витрата охолоджуючої води, для машин змінного струму становить 300 – 1200 л/год. Верхня межа відноситься до більш потужних машини [ 5, с.532 ]. Витрата води машиною згинально-зварювальної складає 1,1 м<sup>3</sup>/год. Вода охолоджує в машині: зварювальний трансформатор, електроди і тиристорний контактор.

Витрата електроенергії при формуванні одного з'єднання на точкових контактних машинах визначається за формулою [ 8, с.171 ]:

$$Q = I_{зв.д.ср} \cdot ( R_{е.ср.} + R_{м} ) \cdot t_{зв} \cdot (1 + \frac{U_{к}}{\cos\phi} ), \quad (3.18)$$

де  $I_{зв.д.ср}$  – діюче середнє значення зварювального струму за час  $t_{зв}$ , А;  $R_{е.ср.}$  – середній опір ділянки електрод-електрод, Ом;  $R_{м}$  – активний опір машини, вторинного контуру ( з врахуванням активного опору первинної обмотки трансформатора ), Ом;  $t_{зв}$  – тривалість імпульсу струму, с;  $U_{к}$  – падіння напруги на контакторі, В;  $\cos \phi$  – коефіцієнт потужності машини.

$$Q = 7176 \cdot ( 63,89 \cdot 10^{-6} + 33,4 \cdot 10^{-6} ) \cdot 0,0656 \cdot (1 + \frac{1}{0,6} ) = 2,3 \text{Вт}.$$



## 4. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 4.1. Перевірочний розрахунок міцності зварного виробу

*Розрахунок на зріз.* Допустиме зусилля на одну зварну точку при зрізі визначається за формулою [14, с. 261]:

$$T_{зр} = \frac{\pi \cdot d_{я}^2}{4} \cdot [\tau']_T, \quad (4.1)$$

де  $[\tau']_T$  - допустиме напруження при зрізі точкового з'єднання, МПа;

$d_{я}$  - діаметр ядра званої точки, м.

Допустиме напруження при зрізі точкового з'єднання визначається за формулою [15, с.326]:

$$[\tau']_T = 0,6 \cdot [\sigma]_p, \quad (4.2)$$

де  $[\sigma]_p$  - допустиме напруження основного металу при розтязі, МПа.

Допустиме напруження металу при розтягу визначається за формулою [16, с.20 ]

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{n_2}, \quad (4.3)$$

де  $\sigma_T$  - межа текучості матеріалу виробу, МПа;

$n_2$  - коефіцієнт запасу міцності, який рівний  $n_2 = 1,4 - 1,6$ .

Приймаємо  $n_2 = 1,4$ .

$$[\sigma]_p = \frac{175}{1,4} = 125 \text{ МПа};$$

$$[\tau']_T = 0,6 \cdot 125 = 45 \text{ МПа};$$

$$T_{зр} = \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} \cdot 45 = 0,0007065 \text{ МН}$$

Допустиме зусилля на зріз одної фацети визначаємо, врахувавши кількість зварних точок, якими вона кріпиться до виробу за формулою:

$$T_{зр.к} = T_{зр} \cdot n_{Т.К}, \quad (4.4)$$

де  $n_{Т.К}$  - кількість зварних точок, якими деталь кріпиться до виробу ( $n_{Т.К}=10$ ).

$$T_{зр.к} = 0,0007065 \cdot 10 = 0,007065 \text{ МН}$$

*Розрахунок на відрив.* Допустиме зусилля на одну зварну точку при відриві визначається за формулою [14, с.261]:

$$T_{\epsilon} = \frac{\pi \cdot d_{я}^2}{4} \cdot [\sigma']_T, \quad (4.5)$$

де  $[\sigma']_T$  - допустиме напруження при відриві точкового з'єднання, МПа.

Допустиме напруження при відриві точкового з'єднання визначається за формулою [15, с.326]:

$$[\sigma']_T = 0,3 \cdot [\sigma]_p; \quad (4.6)$$

$$[\sigma']_T = 0,3 \cdot 125 = 37,5 \text{ МПа};$$

$$T_{\epsilon} = \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} \cdot 37,5 = 0,0002649 \text{ МН}.$$

Допустиме зусилля на відрив однієї фацети, враховуючи кількість зварних точок, якими вона кріпиться до виробу, визначаємо за формулою:

$$T_{\epsilon.д} = T_{\epsilon} \cdot n_{Т.д} \quad (4.7)$$

де  $n_{Т.д}$  - кількість зварних точок, якими деталь кріпиться до виробу ( $n_{Т.д}=10$ )

$$T_{\epsilon.д} = 0,0002649 \cdot 10 = 0,002649 \text{ МН}$$

Розрахунок по допустимих напруженнях визначається за формулою:

$$\sigma = \frac{N^H}{\pi \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\sigma]_T, \quad (4.8)$$

де  $N^H$  – нормативне значення повздовжньої сили, Н.

Приймаємо  $N^H = 15 \text{ кН}$ ;

$d$  – діаметр зварної точки, м. Приймаємо  $d = 4 \times 10^{-3} \text{ м}$ ;

$n$  – число зварних точок в ряді, шт. Приймаємо  $n=5$  шт;

$[\sigma]_T$  – допустиме напруження на відрив, МПа.

$$\sigma = \frac{15000}{5 \cdot \frac{3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 23,88 \times 10^6 \leq [37,5 \times 10^6] \text{ Па.}$$

Отже, зварне з'єднання витримає навантаження  $N^H = 15 \text{ кН}$  і не зруйнується.

#### 4.2. Вибір баз, упорів та затискних елементів пристосувань

В процесі складання зварних виробів виникають задачі з'єднання з необхідною точністю двох або більшої кількості деталей. Розміщення деталей, які складаються в пристроях, здійснюється за правилами базування.

База – поверхня або сукупність поверхонь, вісь, точка, що належать заготовці або виробу і використовується при базуванні. Положення будь-якого твердого тіла в просторі визначається шістьма степенями вільності. Це переміщення вздовж трьох взаємно перпендикулярних координатних осей. Щоб тіло закріпити нерухомо, необхідно позбавити його всіх елементів вільності, це досягається притисканням тіла до шести опорних точок.

Ці точки розташовані у трьох взаємно перпендикулярних площинах  $uoz$ ,  $хоу$ . Площина  $хоу$  горизонтальна площина, її називають установчою, в ній розташовані три опорні точки. Елементи деталі, що визначають її положення при складанні називають технологічними базами. Цим базам відповідають установчі елементи пристосувань.

Технологічним базам заготовки, або виробу відповідають установчі поверхні пристрою. Тобто, бази бувають установчими, напрямними та опорними. При базуванні здійснюється розміщення деталей в пристрої таким чином, щоб технологічні бази деталей опиралися на установчі поверхні пристрою.

При складанні зварних конструкцій доводиться встановлювати в пристрої велику кількість заготовок, забезпечуючи їх фіксацію та закріплення в необхідному положенні. Раніше встановлені деталі, які стикаються з

установчими поверхнями пристрою, стають базами для монтажу наступних деталей.

Основні схеми базування є такі: базування деталей призматичної форми; базування деталей циліндричної форми; базування деталей з отвором.

В нашому випадку вибираємо базування деталей призматичної форми. Для базування деталей призматичної форми необхідно три бази: установча, направляюча, упорна. Бажано, щоб установчою була поверхня з великими габаритними розмірами.

Установчі елементи забезпечують правильне встановлення виробів чи деталей у складальні пристосування. До установчих елементів ставляться такі вимоги: забезпечення необхідної точності при установленні деталей в складальні пристосування; можливість точного встановлення деталей в складальні пристосування; можливість зручно зварювати біля місць встановлення упорів; вони повинні мати достатню міцність і жорсткість.

Всі установчі елементи можна розділити на рухомі і нерухомі, постійні і знімні. Рухомі упори бувають відвідні і поворотні. Рухомі установчі елементи можуть бути ручними та механізованими.

Постійні упори приварюють до основи пристрою, або прикріплюють за допомогою різьбових з'єднань з фіксацією штифтами. Знімні упори використовують у випадках, коли постійний упор ускладнює вільне встановлення заготовки в складальний пристрій або звільнення зварного виробу. Також у таких випадках застосовують відкидні і поворотні упори, які в експлуатації зручніші, ніж знімні.

В нашому випадку будемо використовувати постійний силовий упор, який обмежує переміщення червячної рейки, що обертає оправки напівавтомата на яких відбувається складання і зварювання фацет відбивача світильника типу РСП-20. На корпусі оправок розміщені рухомі і нерухомі установчі елементи.

Оскільки точний розрахунок навантажень на упори, особливо тих, які виникають під час зварювання є дуже ускладненим, тому конструкції силових упорів мають значний запас міцності.

Для надійного закріплення встановлених у пристрої заготовок, деталей, складальних одиниць відповідно з вимогами технологічної документації в процесі всього періоду складання та зварювання використовуються затискні елементи і механізми.

До затискних елементів висуваються наступні вимоги:

- забезпечення необхідного напрямку дії сили притискання заготовок, що виключало б зсуви та перекидання заготовок відносно установчих баз;
- притискачі не повинні спричиняти деформацію заготовок та пошкодження їх поверхонь;
- сила затискання має бути необхідною для забезпечення надійного закріплення заготовки відносно установчих елементів пристосувань;
- затискання заготовок і звільнення виробу необхідно проводити з мінімальною затратою сил і часу;
- затискний механізм має бути простим за конструкцією, зручним і безпечним в роботі.

Широке застосування знайшли затискні пристрої, що діють від пневматичного приводу. Пневмопривід широко використовують в пристосуваннях завдяки його швидкодії, простоті конструкції, легкості і простоті керування, надійності і стабільності в роботі. Затискачі, що працюють від пневмопривода також доцільні та вигідні з економічної точки зору, бо стиснене повітря подається від цехової мережі, а після відпрацювання випускається в атмосферу.

Деталі відбивача базуються на фіксаторах, закріплюються електромагнітами і механічними при хватами, зв'язаними з пневмоприводом.

*Вибір типу пристосувань.* Вибір та розроблення пристосувань - один із етапів технологічного підготовки виробництва виробів. Конструювання нового пристосування або модернізація існуючого проводяться на основі [2, с.816]:

- вивчення креслень та технічних умов на зварну конструкцію. При розробленні зварних виробів питання їх технологічності часто залишаються не в

полі зору конструктора. Тому при проектуванні технологічного процесу, виборі та конструюванні зварювального пристосування, як правило, виникає необхідність аналізу технологічності зварної конструкції. Особливу увагу при цьому слід звернути на конфігурацію деталей, які входять до складу тої чи іншої складальної одиниці зварної конструкції, точність виготовлення заготовок і стан їх поверхонь. Конфігурація деталей повинна забезпечувати їх легке встановлення при складанні і зніманні виробу, доступність до місць прихоплювання, зварювання. Технологічна зварна конструкція дозволяє застосовувати більш прості та дешевші пристосування для її виготовлення;

- розроблення технологічного процесу виготовленні виробу. Раціональний технологічний процес складання і зварювання виробу повинен бути пропрацьований на рівні маршрутного або розвернутого технологічного процесу та ретельно вивчений конструктором пристосування;

- аналіз виробничої програми випуску виробу. Він вивчає складність пристосування, необхідність та доцільність його оснащення механізмами механізації і автоматизації. Таким чином, вибір типу пристосування залежить від способу зварювання і складання, конструкції виробу, матеріалу і поперечного перерізу деталей, якості складання і зварювання, які вимагаються, особливо точності розмірів, і від заданої продуктивності. При цьому слід пам'ятати про необхідність істотно скоротити трудомісткість складальних і допоміжних робіт, забезпечити стабільну якість виробу, полегшити й покращити умови праці працюючих робітників, виключити втомлювальні монотонні, малоцікаві ручні роботи. В серійному та масовому виробництвах переважає застосування механізованих швидкісних пристосувань, які приводяться в рух не м'язовою енергією людини, а енергією повітря, рідини, електроенергією.

Людина займається лише керуванням механізованих пристроїв, завантаженням і вивантаженням виробів у випадках, коли комплексна механізація і автоматизація утруднена технічно та в даний період економічно не вигідна;

- техніко-економічне обґрунтування найкращого варіанту пристосування із числа можливих. Вибір того чи іншого пристосування із числа можливих проводиться на основі їх техніко-економічного порівняння. Вибирають, як правило, варіант найбільш раціональний в технічному та рентабельний в економічному відношенні [17, с.12]

Для виготовлення зварних конструкцій високої якості необхідне правильне складання деталей зварюваного виробу, тобто їх правильне взаємне розміщення і закріплення. Для цього в зварювальному виробництві використовуються зварювальні пристосування. В залежності від функціонального призначення складальні пристосування поділяються на, власне, складальні, зварювальні та складально-зварювальні.

Основним призначенням складального обладнання у зварювальному виробництві є фіксація і закріплення зварних деталей у правильному положенні. Положення деталей під час складання визначається установчими елементами пристосування, або іншими суміжними деталями. Деталі закріплюються затискними елементами складальних пристроїв.

На складальному пристосуванні операція складання закінчується прихоплюванням деталей. На зварювальних пристосуваннях проводиться повне зварювання раніше прихоплених виробів. На складально-зварювальному пристосуванні, крім складання проводиться повне чи часткове зварювання виробу, а іноді і витримування після зварювання з метою зменшення зварювальних деформацій. При цьому операцію зварювання можна виконувати, як після попереднього прихоплювання, так і без нього. Призначення і конструкція пристосування (складального чи складально-зварювального) визначається технологічним процесом, який залежить перш за все від виробу, його форми і розмірів, необхідної точності, типу виробництва, його програми, наявності виробничих площ, звантаження робочих місць, способу зварювання в різних місцях. При цьому якість виробу вища, якщо зварювання проводиться безпосередньо після складання і виріб не піддають проміжному транспортуванню. При виготовленні, деяких виробів, особливо з тонколистових

матеріалів не рекомендується використовувати прихоплювання, а тому при їх виготовленні необхідно застосовувати складально-зварювальні пристосування. У багатьох випадках перестановка із складального на зварювальне пристосування збільшує процес виготовлення і збільшує затрати праці [11, с. 82].

Складально-зварювальне обладнання може бути універсальне, спеціальне, спеціалізоване. Універсальне призначене для широкої номенклатури виробів. Спеціальне – для одного або декількох виробів. Вибір виду обладнання визначається типом і масштабом виробництва і конструкцією виробу. Спеціальне обладнання дає більшу продуктивність і якість його застосування при масовому і крупносерійному виробництві. Спеціалізоване обладнання застосовується в серійному виробництві.

Складальне обладнання ділиться на групи: складальні кондуктори; складальні стенди і установки; переносні складальні пристрої.

В нашому випадку ми вибираємо спеціалізовані складально-зварювальні пристосування – шести позиційні оправки на корпусі яких розміщені установчі та затискні елементи електромагнітні і механічні прихвати, фіксатори з пневмоприводами.

### **4.3. Розрахунок і підбір зусиль затискання, притискання**

В складально-зварювальному виробництві широке використання знайшли різноманітні затискні пристрої, механізми, які можуть приводитись в дію, як від стиснутого повітря (пневматичний привід), так і рідинного (гідравлічний привід). Такі приводи дуже простої конструкції і легко керуються.

Сучасна складально-зварювальна оснастка обладнується гідравлічними притискачами. Застосування гідропритискачів скорочує допоміжний час при виготовленні зварних конструкцій завдяки швидкодії та керуванню пристроєм з одного робочого місця. Конструктивні схеми гідропритискачів такі ж, як і схеми пневмопритискачів. Гідравлічні притискачі забезпечують: великі сили,



що дозволяє застосовувати їх при складанні товстолистових конструкцій; плавність та безшумність в роботі; основні вузли не потребують змащування та не схильні до корозії.

Недоліки гідропритискачів: мала швидкість переміщення робочого органу; можливість забруднення зварюваних поверхонь заготовок через витікання робочої рідини; дороге обладнання насосних станцій та необхідність для їх розміщення значних площ.

Гідропритискачі уникають встановлювати над зварюваними заготовками і, як правило, розміщують їх в нижній частині рами складально-зварювального пристрою. Гідропритискачі приводяться в рух за допомогою гідроциліндрів. В машині згинально-зварювальні, встановлюємо гідростанцію, яка приводить в рух гідроциліндри, які виконують роль не тільки притискання деталі, а її гнуття, тому проводимо розрахунок гідроциліндрів, для створення необхідних зусиль.

Використовуємо гідроцилінри двох сторонньої дії.

Для даного напівавтомата використовуємо і розраховуємо гідропривід стиску електродів.

Осьова сила на торці гідро циліндра двохсторонньої дії при подачі рідини із боку поршня визначається за формулою [11. с,42]

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot P \eta, \quad (4.9)$$

де  $D$  – діаметр циліндра, м;

$P$  – тиск стиснутої рідини, Па;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії, який враховує втрати в гідроциліндрі  $\eta = 0,85$ .

З формули (4.9) визначаємо необхідний діаметр гідроциліндра

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}}. \quad (4.10)$$

Враховуючи розраховану величину зусилля притискання електродів ( $Q = 1500\text{Н}$ ), діаметр становить:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1500}{3,14 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 0,85}} = 0,024 \text{ м}.$$

Заокругливши значення до найближчого приймаємо діаметр гідроциліндра  $D = 30 \text{ мм}$ .

*Опис конструктивних схем пристосувань напівавтомата для зварювання відбивачів.* Напівавтомат складається із поворотної турелі, двох чотирьохелектродних головок (верхньої і нижньої) і однієї двохелектродної головки, котрі розміщені на збірній станині, що складається із тумби, стійки і корпусу встановлених на рамі турелі.

Турель складається із рами на котрій на нерухомій стійці знаходиться рухома гільза, що містить в двох корпусах дві оправки з двома незалежними приводами. Оправки розміщені в двох взаємно протилежних напрямках, одна з них знаходиться в зоні зварювання, а друга в цей момент – в зоні завантаження (розвантаження) фацет.

Оправки в момент складання і зварювання фіксуються фіксаторами. На корпусі фіксатора знаходиться скидувач заготовок. На рамі установлені механізм повороту турелі, фіксатор і два демпфера. Головка електродна складається із зварного корпуса в якому переміщаються чотири поршні зі штоками. До кожного через струмоізолюючі втулки кріпляться електродотримачі.

Тумба і стійка представляють собою зварні конструкції із листового і фасонного прокату. На бокових стінках стійки розміщені два трансформатори ТК - 301 У4 і один трансформатор ТК - 401 У4. В нижній частині тумби змонтована установка насосна Г48-12, на плиті на якій встановлений кронштейн з плитою на якій монтується апаратура керування гідросистемою автомата. Наявність в корпусних вузлах діверок забезпечує вільне складання і регулювання елементів напівавтомата.

Схема охолодження призначена для охолодження проточною водою електродів з електродотримачами, трансформаторів і струмовідводів. Для контролю потоку охолоджуючої води в напівавтоматі використовується реле

протоку РП-29 і можливість візуального контролю зливного струменя охолоджуючої води.

Принцип роботи напівавтомата такий.

Напівавтомат може працювати в налагоджувальному режимі, по команді оператора з ручним завантаженням фацет і автоматичному режимі – для роботи в лінії з автоматизованим завантаженням фацет. В зоні завантаження фацети почергово встановлюються на шести позиційну оправку, пов'язану з двигуном через черв'ячний редуктор з електромагнітною муфтою і мальтійським механізмом. Фацети базуються на фіксаторах, схоплюються електромагнітними і механічними при хватами, зв'язаними з пневмоприводом.

Турель повертається на  $180^\circ$  в зону розвантаження гідроприводом де звільнена від прихватів заготовка зіштовхується скидувачем з оправки. Оправка з зони зварювання перемістилась в зону завантаження фацет, а друга оправка із зони завантаження – в зону зварювання. Обі оправки при повороті навколо своєї осі фіксуються фіксаторами, зв'язаними з пневмоприводами керованими розподільниками.

Конструктивно обидві оправки однакові. В зоні зварювання здійснюється підведення трьох зварювальних головок з електродами до фацет, закріплених на оправці, після зварювання головка відводиться у вихідне положення. Одна із головок (верхня) переміщається гідроприводом на крок здійснюється підведення електродів до оправки, зварювання фацет, відведення електродів і зворотній хід головки в вихідне положення.

Аналогічно здійснюється ще п'ять циклів зварювання, а після чергового повного повороту турелі на  $180^\circ$  здійснюється подальше чергове завантаження всій позицій оправки, тобто цикл повторюється. Поворот оправок навколо власної осі на кожній позиції завантаження на кут  $300^\circ$  здійснюється почергово на позиції завантаження по часовій стрілці, а на позиції зварювання – проти реверсуванням електродвигуна. Під час завантаження і зварювання турель знаходиться в зафіксованому положенні (привід фіксатора від пневмоциліндра, керованого пневморозподільником).

## 5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 5.1. Розрахунок капіталовкладень на розробку та впровадження технології зварювання

Метою економічної частини магістерської роботи є визначення доцільності та економічної ефективності застосування способу КТЗ пластин.

З метою вдосконалення технологічного процесу зварювання пластин запропоновано застосовувати КТЗ з обтисненням периферійної зони з'єднання.

Впровадження модернізованої технології зварювання неможливе без її техніко-економічного обґрунтування.

Зміни в технології зварювання забезпечують підвищення точності в контролі і регулюванні технологічних параметрів, що забезпечить більш оптимальний режим роботи обладнання. Впровадження модернізованої технології зварювання крім якісних змін, приведе до кількісних змін в регулюванні основних технологічних параметрів.

В цілому впровадження даної технології зварювання зможе підвищити якість виконання зварних робіт, тобто готові вироби будуть міцнішими, надійнішими, матимуть більший термін експлуатації. Про високий технічний рівень та рівень якості запропонованої технології зварювання можна судити з відповідних показників.

Показники оцінки технологічного рівня існуючої і запропонованої технології приведені в таблиці 5.1.

Визначимо капіталовкладення, які потрібні для розробки технології зварювання

$$K^n = K_{np} + B_{np} + B_m, \quad (5.1)$$

де  $K_{np}$  - затрати на виконання проектних робіт;

$B_{np}$  - кошторисна вартість основних засобів;

$B_m$  - затрати на монтаж основних засобів.

Капіталовкладення в базову технологію зварювання складають

$$K_b = 961,3 + 169781,8 + 318,8 = 191061,9 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1

## Показники оцінки технічного рівня технології зварювання

Показники	Варіанти технології		Коефіцієнт технічного рівня
	Базовий	Новий	
Частота виникнення дефектів зварного шва, 1/год.	0,00239	0,00313	0,00259
Частота виникнення деформацій виробу, 1/год.	0,00188	0,00097	0,00138
Витрати енергії на зварювальні роботи, кВт/год.	6,6	4,1	6,3
Термін служби готового виробу, роки	15	30	5

Проаналізувавши вище наведені дані можна підтвердити необхідність впровадження модернізованої технології зварювання.

Визначимо капіталовкладення на нову технологію зварювання.

Таблиця 5.2

## Розрахунок заробітної плати на виконання проектних робіт

Зміст операції	Професія	Тарифна ставка, грн./год.	Трудомісткість роботи н.-год.	Сума зарплати по тарифу грн.
Надання технічних параметрів	технолог	35,58	6	253,48
Проектування технології зварювання	інженер	28,06	31	869,86
Разом				1123,34

Затрати на виконання проектних робіт вони включають в себе затрати на придбання необхідного інвентарю, довідкової літератури, додаткових матеріалів (що в сумі складає 8490 грн.), залучення потрібної кількості спеціалістів та їх заробітну плату. Для оцінки затрат на виконання проектних робіт зведемо всі операції по оплаті праці в таблицю 5.2.

Нарахування на зарплату спеціалістів з проектування вдосконаленої технології зварювання становлять 38,5%. Витрати на заробітну плату разом з нарахуваннями будуть рівними:

$$B_{зп.нарах} = B_{зп} * 1,385 = 1123,34 * 1,385 = 1517,33 \text{ грн.}$$

Отже, затрати на виконання проектних робіт визначимо за допомогою виразу

$$K_{ПР} = 5900 + 1517,33 = 7417,33 \text{ грн.}$$

Кошторисна вартість основних засобів вдосконаленої технології зварювання з урахуванням транспортних і складських витрат визначається за формулою

$$B_{np} = \sum_{i=1}^p C_{\eta} \cdot a_{\eta} + Z_{тр} + Z_{скл}, \quad (6.2)$$

де  $C_{\eta}$  – відпускна ціна підприємства на обладнання  $\eta$  - і групи;

$a_{\eta}$  - кількість одиниць обладнання в кожній групі;

$p$  - кількість груп обладнання;

$Z_{тр}$  - транспортні витрати по доставці обладнання;

$Z_{скл}$  - складські витрати.

Розрахунок вартості основних засобів наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Розрахунок вартості основних засобів технології зварювання

Назва обладнання	Кількість	Відпускна ціна за шт. грн.	Загальна вартість, грн.
Контактна стикова машина K584M	1	545000	545000
Комплектуючі зварювального стану	1	134000	134000
Всього			679000

Кошторисна вартість обладнання, що використовуватиметься разом з новою технологією зварювання, становить

$$\sum_{i=1}^p C_{\eta} \cdot a_{\eta} = 679000 \text{ грн.}$$

Транспортні витрати розраховуються за формулою

$$Z_{mp} = \sum_{i=1}^a M_s \cdot C_i \cdot L + Z_{II} + A_M \quad (5.3)$$

де  $M_a$  – витрата бензину, масла і т.д.;

$C_a$  – ціна одиниці  $i$ -го виду матеріалу;

$L$  – відстань, на яку здійснюються перевезення;

$Z_n$  – заробітна плата водіїв, вантажників за період здійснення перевезень;

$A_M$  – амортизація використаного автотранспорту.

Розрахуємо витрату палива і масел. Норма витрати палива і масла для вантажного автомобіля КАМАЗ 5320 на 100 км пробігу складає  $M_1=25$  л дизельного палива і  $M_2=0,3$  л масла. Ціна 1 л дизельного палива складає 20 грн., а машинного масла 40 грн. Перевезення здійснюються на відстань 400 км.

Отже, затрати на паливо і масло знаходимо за формулою

$$B_{II} = \left( \sum_{i=1}^a M_a \cdot C_a \right) \cdot \frac{L}{100}, \quad (5.4)$$

$$B_{II} = (25 \cdot 20 + 0,3 \cdot 40) \cdot 560 / 100 = 3584 \text{ грн.}$$

Заробітну плату водіїв, вантажника за період здійснення перевезень визначаємо за тарифними ставками і трудомісткістю.

Для зручності даний розрахунок зведемо у вигляді таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Розрахунок заробітної плати водіїв та вантажників на перевезення обладнання

Професія	К-ть	Розряд	Тарифна ставка	Трудоємність нормо-годин	Сума до виплати, грн.	Нарахування на ЗП (38,5%), грн.
Водій	1	IV	10,48	14	146,72	56,49
Вантажник	2	V	11,5	8	184	70,84
Разом	3				330,72	127,33

Отже, за перевезення обладнання робітники повинні отримати заробітну плату  $Z_{II}=630,72$  грн. Нарахування на зарплату становлять 257,33 грн.

Амортизацію використаного транспорту розрахуємо за формулою

$$A_m = \frac{BT}{T_{cl} \cdot 365} \cdot T_\phi \quad (5.5)$$

де  $BT$  – вартість транспортної одиниці;

$T_{cl}$  – нормативний термін служби, роки;

$T_\phi$  – фактичний час експлуатації, годин.

Таблиця 5.5

Розрахунок заробітної плати по монтажу основних засобів  
та впровадженню нової технології зварювання

Зміст операції	Професія	Розряд роботи	Тарифна ставка, грн./год.	Трудомісткість робіт нормо/год	Сума зарплати по тарифу
Демонтаж базового обладнання	Слюсар	VI	12,5	8	100,08
Демонтаж вторинних приладів	Слюсар	V	11,5	5	57,5
Демонтаж щита керування	Слюсар КВПіА	V	11,5	2	23
Монтаж нового обладнання	Слюсар	VI	12,51	21	262,71
Прокладка зовнішніх електричних проводок	Електрик	IV	10,48	3	31,44
Прокладка зовнішніх трубних проводок	Слюсар КВПіА	V	11,5	2	23
Встановлення контрольних-вимірювальних приладів і автоматики	Інженер КВПіА	V	28,06	2	56,12
Занулення і заземлення	Електрик	IV	10,48	1	10,48
Налагоджувальні роботи	Інженер	V	28,06	5	140,3
Випробування основних засобів	Зварювальник	V	11,5	5	57,5
Всього					662,05

Витрати на заробітну плату разом з нарахуваннями будуть рівні. Перевезення здійснювались на вантажній машині КАМАЗ 5320. На даний



момент її вартість складає  $BT=320000$  грн. Нормативний термін служби  $T_{cl}=10$  років. Фактичний час експлуатації  $T_{\phi}=14$  год.

Таким чином отримаємо

$$A_m = 320000 * 14 / (10 * 365 * 24) = 51,14 \text{ грн.}$$

Отже, загальні транспортні витрати на перевезення обладнання до місця монтажу дорівнюють

$$Z_{mp} = 14084 + 35230,72 + 127,33 + 51,14 = 65093,19 \text{ грн.}$$

Тепер розрахуємо складські витрати, тобто витрати, які зв'язані із зберіганням обладнання, вартості використаної тари, упаковки. Проте вони є досить незначними, тому розрахунок проведемо по встановленому коефіцієнту, від загальних витрат на обладнання і витрат на транспортування за формулою

$$Z_{скл} = K(Z_{mp} + \sum_{n=1}^p C_{\eta} \cdot a_{\eta}) \quad (5.6)$$

Встановлено, що відсоток складських витрат складає 8%.

$$Z_{скл} = 0,08(1993,19 + 198780) = 16061,86 \text{ грн.}$$

Тоді загальна кошторисна вартість обладнання буде складати:

$$B_{np} = 198780 + 1993,19 + 16061,86 = 216835,05 \text{ грн.}$$

Розраховуємо заробітну плату персоналу у вигляді таблиці 6.5.

$$B_{зн. + нарах} = B_{зн} * 1,385 = 662,05 * 1,385 = 916,94 \text{ грн.}$$

Проаналізуємо, як необхідно організувати проведення робіт по впровадженню нової технології зварювання. Спочатку необхідно демонтувати усе застаріле обладнання. Всі ці операції проводяться поступово, одна за одною, тому складати сітковий графік не доцільно.

Після аналізу робіт всі дані з переліком тривалості заносимо в таблицю 5.6.

Таким чином, капіталовкладення, які необхідні для розробки та впровадження нової технології зварювання згідно формули (6.1) дорівнюватимуть:

$$K^H = 2007,33 + 216835,05 + 916,94 = 519759,32 \text{ грн.}$$

З проведених розрахунків видно, що вдосконалена технологія зварювання є дорожчою в порівнянні з існуючою.

Таблиця 5.6

## Перелік робіт та чисельність персоналу

Назва роботи	Тривалість роботи	Чисельність робітників
Демонтаж базового обладнання	8	3
Демонтаж вторинних приладів	5	2
Демонтаж щита керування	2	1
Монтаж нового обладнання	21	3
Прокладка зовнішніх електричних проводок	3	1
Прокладка зовнішніх трубних проводок	2	1
Встановлення контрольно-вимірювальних приладів і автоматики	2	1
Занулення і заземлення	1	1
Налагоджувальні роботи	5	2
Випробування основних засобів	5	2

## 5.2. Розрахунок економічного ефекту

Впровадження нової технології зварювання і її функціонування впливає на формування величини експлуатаційних витрат, які пов'язані з обслуговуванням та роботою обладнання.

Ці витрати складаються з витрат на заробітну плату персоналу, зварювальників  $B_{zn}^n$ , амортизаційних відрахувань по основних засобах  $A_m$ , витрат на електроенергію, яка витрачається на живлення встановленого обладнання  $E_e$ , витрат на ремонт  $P_e$ , тобто

$$B_{звар}^n = B_{zn}^n + A_m^n + E_e^n + P_e^n, \quad (5.7)$$

де  $B_{звар}^n$  - сумарні експлуатаційні витрати, що зв'язані з використанням нової технології зварювання, грн./рік.

Оскільки нова технологія зварювання є більш сучасною, це дає змогу зменшити затрати часу на обслуговування обладнання, тобто зменшити кількість персоналу.

Річний фонд заробітної плати персоналу залежить від чисельності працівників та їх оплати праці

$$B_{зп}^{об} = \sum_{i=1}^n \Phi_{зп i}, \quad (5.8)$$

де  $n$  - чисельність персоналу;

$\Phi_{зп i}$ , - річна заробітна плата  $i$ -го працівника.

Таблиця 5.7

## Розрахунок річного фонду заробітної плати персоналу

Професія	Кваліфікація	Тариф на ставка	Чисельність		Трудомісткість	Річний фонд заробітної плати	
			базовий варіант	новий варіант		базовий варіант	новий варіант
Старший технолог		25,58	1	1	1760	45020,8	45020,8
Технолог		23,1	1	1	1760	40656	40656
Інженер		23,1	1	1	1760	40656	40656
Зварювальник	IV	10,48	1	1	1760	18444,8	18444,8
Зварювальник	V	11,5	1	1	1760	20240	20240
Слюсар	V	11,5	1	1	1760	20240	20240
Слюсар	VI	12,51	2	1	1760	44035,2	22017,6
Всього			8	7		229292,8	207275,2

Таким чином річний фонд заробітної плати:

- по базовому варіанту  $B_{зп.баз.} = 229292,8$  грн.

- по новому варіанту  $B_{зп.нов.} = 207275,2$  грн.

Додаткова ЗП в сумі 20% від основної рівна для базового і нового варіантів відповідно рівна: 45858,56 та 41455,04 грн.

Обчислимо нарахування на заробітну плату в сумі 38,5% від  $B_{зп.}$ .

По базовому варіанту  $B_{зп.відр.баз.} = (229292,8 + 45858,56) * 0,385 = 105933,27$  грн.

По новому варіанту  $B_{зп.відр.нов.} = (207275,2 + 41455,04) * 0,385 = 95761,14$  грн.

Розрахуємо загальноцехові витрати, які становлять 55% від  $B_{зп.}$ :

по базовому варіанту  $B_{зп.баз.}^{об} = 229292,8 * 0,55 = 126111,04$  грн.

по новому варіанту  $B_{зп.нов.}^{об} = 207275,2 * 0,55 = 114001,36$  грн.

Амортизаційні відрахування на основні засоби визначаються за формулою

$$A_M^H = K_n \cdot H_A \quad (5.9)$$

де  $K_n$  - капітальні вкладення в розробку і впровадження нової технології зварювання;

$H_A$  – середньорічна норма амортизації на основні засоби, яка дорівнює 15%.

Отже, для базової технології

$$A_{M.баз}^H = 171061,9 \cdot 0,15 = 25659,29 \text{ грн.}$$

а для нової

$$A_{M.нов}^H = 219759,32 \cdot 0,15 = 32963,9 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію, що йде на живлення основних засобів, розраховуємо наступним чином

$$E_e^H = W_{np} \cdot t_p \cdot K_{en} \cdot C_e, \quad (5.10)$$

де  $W_{np}$  – приєднана потужність основних засобів, яка рівна для базової технології 6,3 кВт, для нової 4,1 кВт;

$t_p$  – кількість годин роботи основних засобів за рік,  $t_p = 1760$  год.

$K_{en}$  – коефіцієнт, що враховує споживання електроенергії по потужності для технології,  $K_{en}=0,8$ ;

$C_e$  – ціна 1 кВт/год. електроенергії,  $C_e=0,7927$  грн.

Отже, для базової технології:

$$E_{e.баз}^H = 6,3 \cdot 1760 \cdot 0,8 \cdot 0,7927 = 7031,57 \text{ грн.}$$

Для нової технології:

$$E_{e.нов}^H = 4,1 \cdot 1760 \cdot 0,8 \cdot 0,7927 = 4576,1 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт основних засобів складають суму планового та позапланового ремонтів і визначаються так

$$P_e^H = P_{пл}^H + P_{поз}^H. \quad (5.11)$$

$$P_{пл}^H = K \cdot A_M^H, \quad (5.12)$$

де  $K$  – коефіцієнт пропорційності, який враховує долю затрат на ремонт по відношенню до суми амортизаційних відрахувань,  $K=0,1$ .

Отже для базової технології:

$$P_{пл.баз}'' = 0,1 * 25659,29 = 2565,93 \text{ грн.}$$

Для нової технології:

$$P_{пл.нов}'' = 0,1 * 32963,9 = 3296,39 \text{ грн.}$$

Суму позапланового ремонту визначаємо за такою формулою

$$P_{ноз}'' = (C_{np} + t_n \cdot C_m \cdot K_{дон}) \cdot n_{пол} \quad (5.13)$$

де  $C_{np}$  – середня вартість зіпсованого вузла обладнання;

$t_n$  – середній час ліквідації поломки,  $t_{н.баз.} = 4$  год.,  $t_{н.нов.} = 3$  год.

$C_m$  – погодинна тарифна ставка ремонтника, що ліквідує поломку,  $C_m = 11,5$  грн.

$K_{дон}$  – коефіцієнт, який враховує доплати, додаткову заробітну плату та відрахування на неї, приймають  $K_{дон} = 1,65$ .

$n_{пол.}$  – кількість можливих пошкоджень,  $n_{пол.баз.} = 6$ ,  $n_{пол.нов.} = 5$ .

Середня вартість зіпсованого вузла обладнання визначається за наступною формулою

$$C_{np} = \frac{\sum_{z=1}^n C_z \cdot h_z}{\sum_{z=1}^n h_z}, \quad (5.14)$$

де  $C_z$  – ціна  $z$ -того вузла обладнання, грн.;

$h_z$  – кількість елементів  $z$ -того типу, шт.;

$n$  – загальна кількість елементів.

Звідси

$$C_{np.баз.} = 169781,8/105 = 1616,97 \text{ грн.}$$

$$C_{np.нов.} = 216835,05/115 = 1885,52 \text{ грн.}$$

Тоді будемо мати:

$$P_{\text{поз.баз.}}^{\text{н}} = (1616,97 + 4 * 11,5 * 1,65) * 6 = 10157,22 \text{ грн.}$$

$$P_{\text{поз.нов.}}^{\text{н}} = (1885,52 + 3 * 11,5 * 1,65) * 5 = 9712,23 \text{ грн.}$$

Таким чином витрати на ремонт основних засобів будуть становити:

$$P_{\text{е.баз.}}^{\text{н}} = 2565,93 + 10157,22 = 12723,15 \text{ грн.}$$

$$P_{\text{е.нов.}}^{\text{н}} = 3296,39 + 9712,23 = 13008,62 \text{ грн.}$$

Результати всіх попередніх розрахунків зводимо в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

Розрахунок річних експлуатаційних витрат при впровадженні технології зварювання по різних варіантах, грн.

Показники	Варіанти технології	
	базова	нова
Витрати на основну заробітну плату персоналу	229292,8	207275,2
Додаткова зарплата	45858,56	41455,04
Відрахування на соціальне страхування	105933,27	95761,14
Амортизаційні відрахування	25659,29	32963,9
Витрати на електроенергію	7031,57	4576,1
Витрати на ремонт	12723,15	13008,62
Загальноцехові витрати	126111,04	114001,36
Разом	552609,68	509041,36

Отже, як видно з проведених обчислень, впровадження нової технології зварювання дає можливість отримати річну економію на експлуатаційних витратах, рівну

$$E = B_{\text{е.баз.}} - B_{\text{е.нов.}} \quad (5.15)$$

$$E = 552609,68 - 509041,36 = 105568,32 \text{ грн.}$$

Впровадження нової технології зварювання дає можливість зменшити час ремонтних робіт, які проводяться в ході технологічного процесу, тобто дає змогу зменшити час простою обладнання. Удосконалена технологія зварювання дає можливість зменшити трудомісткість робіт з обслуговування основних засобів, покращити якість і точність регулювання основних параметрів, які впливають на технологічний процес зварювання.

Всі ці змінні обумовлюють вплив на економічні показники та виробничо-комерційну діяльність підприємства в цілому.

Це пояснюється тим, що нова технологія зварювання має декілька переваг перед базовою з точки зору як експлуатаційних витрат, так і інших зв'язаних показників.

Більш високий технологічний рівень забезпечується новим обладнанням, яке дозволяє підвищити швидкодію керування процесом зварювання, а також зменшити кількість основних засобів, що раніше використовувались, автоматизувати та контролювати деякі операції, зв'язані зі зварюванням. При цьому також зростає надійність технології зварювання, оперативність, що дає змогу зменшити чисельність персоналу і всі пов'язані з цим витрати.

Отже, на основі проаналізованих вище факторів, можна зробити висновок, що використання нової технології зварювання економічно ефективно і дає змогу зекономити експлуатаційні витрати.

Підтвердимо все вище викладене деякими розрахунками. Визначимо вивільнення робочої сили за допомогою наступної формули

$$E_p = \frac{Q_n}{e_0} - \varphi_n, \quad (5.16)$$

де  $Q_n$  – річний об'єм продукції (робіт), виготовлений за допомогою нової технології зварювання;

$e_0$  - виробіток на одного робітника, що працює в умовах базової технології;

$\varphi_n$  - чисельність робітників після впровадження нової технології.

Експлуатаційні витрати технології зварювання включають в себе заробітну плату персоналу, амортизацію, витрати на ремонт, витрати на електроенергію.

Експлуатаційні витрати по базовому і новому варіантах технології зварювання (табл. 5.8):

$$C_{\text{поч}}^{\text{баз}} = 229292,8 + 45858,56 + 105933,27 + 25659,29 + 7031,57 + 12723,15 + 126111,04 = 252609,68 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{поч}}^{\text{нов}} = 207275,2 + 41455,04 + 95761,14 + 32963,9 + 4576,1 + 13008,62 + 114001,36 = 309041,36 \text{ грн.}$$

Знайдемо невиробничі витрати по базовому і новому варіантах, які становлять 33% експлуатаційних витрат:

$$C_{зм}^{баз} = 552609,68 * 0,33 = 182361,19 \text{ грн.}$$

$$C_{зм}^{нов} = 509041,36 * 0,33 = 167983,65 \text{ грн.}$$

Обчислимо повну собівартість по базовому і новому варіантах технології зварювання:

$$C_{под}^{баз} = 552609,68 + 182361,19 = 185000,87 \text{ грн.}$$

$$C_{под}^{нов} = 509041,36 + 167983,65 = 148005,01 \text{ грн.}$$

Визначимо одиничну собівартість витрат на зварні роботи по базовому і новому варіантах технології згідно формули

$$C_{од} = \frac{C_{под}}{Q_p} \quad (5.17)$$

$$C_{од}^{баз} = 734970,87 / 1500 = 489,98 \text{ грн.}$$

$$C_{од}^{нов} = 677025,01 / 1500 = 451,35 \text{ грн.}$$

Обчислимо виробіток на одного робітника по двох варіантах

$$e_p = \frac{Q_p}{U} \quad (5.18)$$

$$e_p^{баз} = 1500 / 8 = 187,5 \text{ шт.}$$

$$e_p^{нов} = 1500 / 7 = 214,29 \text{ шт.}$$

Таким чином отримаємо відносну економію витрат робочої сили:

$$E_p = 1500 / 187,5 - 7 = 1 \text{ чол.}$$

Визначимо ріст продуктивності праці робітників після нововведення

$$\Delta p = \frac{E_p \cdot 100}{U_n} = 1 * 100 / 7 = 14,29\% \quad (6.19)$$

З приведених розрахунків видно, що вдосконалена технологія зварювання дозволяє зменшити виробничу і повну собівартість, отримати відносну економію витрат робочої сили, а також підвищити продуктивність праці робітників.

Рівень механізації та автоматизації розраховуємо за формулою



$$Y_m = \frac{P_m}{P_m + P_g} \cdot 100\%, \quad (5.20)$$

де  $P_m$  - кількість робітників, які виконують роботу механізованим способом, чол;

$P_g$  - кількість робітників, які виконують роботу вручну, чол.

- за заводськими даними:

$$Y_m = \frac{6}{10 + 6} \cdot 100\% = 37\%,$$

- за проектними даними:

$$Y_m = \frac{8}{10 + 4} \cdot 100\% = 75\%.$$

Річний економічний ефект від впровадження нової технології зварювання розраховуємо по величині зменшення капіталовкладень і собівартості на розробку та впровадження технології

$$E_p = \Delta\Pi - E_n \cdot K_n, \quad (5.21)$$

де  $E_p$  – річний економічний ефект, грн.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень  $E_n=0,15$ ;

$K_n$  – капіталовкладення на вдосконалення технології зварювання, грн.

$\Delta\Pi$  – економія на експлуатаційних витратах від нововведення.

Отже,

$$E_p = 43568,32 - 0,15 \cdot 219759,32 = 780604,42 \text{ грн.}$$

Обчислимо термін окупності капіталовкладень за такою формулою

$$T_0 = \frac{K_n}{\Delta\Pi} = 219759,32 / 43568,32 = 0,9 \text{ року.} \quad (5.22)$$

Визначимо коефіцієнт ефективності капіталовкладень

$$K_{ef} = \frac{1}{T_0} = 1 / 0,9 = 1,111 = 1,111 \quad (5.23)$$

## 6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 6.1. Опис алгоритму розрахунку зубчатого колеса з рейкою

Необхідно розрахувати параметри прямозубої рейки, яка приводить в рух пневмоциліндр і перевірити надійність зубчастої передачі при попередньо заданому ділильному діаметру  $d_1$  зубчатого колеса.

Конструктивне виконання: рейка базовою поверхнею врізається в шток круглого перерізу, який переміщається в бронзових втулках по направляючих. Матеріали зубчатого колеса і рейки: сталь 40Х за І ОС1Т 4543-71 (легована конструкційна сталь); термообробка – поліпшення з мінімальною твердістю НВ = 230; границя текучості  $\sigma_t = 600$  МПа.

Вихідні дані для розрахунку: НВ = Н = 230; максимальний хід рейки,  $L = 0,12$  м; зусилля на штоку пневмоциліндра,  $F = 1,5$  кН; передаточне число зубчастої передачі  $u = 2$ ; ділильний діаметр колеса  $d_1 = 132$  мм.

Перевірочний розрахунок зубчастої передачі необхідно провести на стійкість зубців проти втомного викривування їх активних поверхонь, тобто на контактну втому і при дії максимального навантаження - на контактну міцність.

Перевірочний розрахунок на контактну втому здійснюємо за нерівністю:

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H, \quad (6.1)$$

де  $\sigma_H$  - розрахункове контактне напруження, МПа;  $[\sigma]_H$  - допустиме контактне напруження МПа.

Перевірочний розрахунок на контактну міцність здійснюється за нерівністю [13, с.301]:

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max}, \quad (6.2)$$

де  $\sigma_{H \max}$  - максимальне розрахункове контактне напруження, МПа;

$[\sigma]_{H \max}$  - допустиме граничне контактне напруження МПа.

Всі розрахунки зубчастої передачі проведемо за допомогою ПК з застосуванням пакету MathCAD, тому для зручності запису приймаємо:

$$[\sigma]_H = \sigma_{H \text{ доп}}; \quad [\sigma]_{H \text{ max}} = \sigma_{H \text{ max доп}}. \quad (6.3)$$

## 6.2 Розрахунок допустимих і діючих напружень зубчастої передачі

Допустимі контактні напруження  $H = 230$ .

Границі контактної витривалості зубців колеса і рейки визначаємо за формулою:

$$\sigma_{H \text{ limd}} := 2 * H + 70; \quad (5.4)$$

$$\sigma_{H \text{ limd}} = 530 \text{ МПа.}$$

Допустимі контактні напруження для зубців колеса та рейки при коефіцієнті  $Z_r = 1$  (шорсткість поверхонь зубців  $R_a = 1,25 \dots 0,63$ ), коефіцієнті довговічності зубів рейки і колеса  $K_{\Sigma} = 1$  та коефіцієнті запасу  $S_H = 1,1$  знаходимо за формулою:

$$S_H = 1,1 \quad K_{H1} = 1 \quad Z_R; \quad (6.5)$$

Допустиме граничне контактне напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma_{H \text{ доп}} := \sigma_{H \text{ limd}} * Z_R * \frac{K_{H1}}{S_H} \sigma_{H \text{ доп}} = 482 \text{ МПа}; \quad (6.6)$$

$$\sigma_T := 600 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{H \text{ max доп}} := 2,8 * \sigma_T; \quad \sigma_{H \text{ max доп}} = 1680 \text{ МПа.} \quad (6.7)$$

Розрахункові контактні напруження. Визначаємо колове зусилля з врахуванням тертя в опорах штоку за формулою:

$$\alpha := 20 \quad f := 0,1 \quad F := 1,5 \text{ Н}; \quad (6.8)$$

$$F_t = \frac{1000 * F}{1 - f * \tan(\alpha)}; \quad F_t = 1932,3 \text{ Н.} \quad (6.9)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя ковзання бронзи по сталі в умовах безперервного змащування,  $f := 0,1$ ;

$\alpha$  - кут зачеплення, приймаємо  $\alpha = 20$  град [14, с.301].

Приймаємо число зубів колеса  $Z_1 = 20$ , тоді визначаємо модуль зачеплення зубчатого колеса з рейкою:

$$\begin{aligned} Z_1 &:= 20; & d_1 &:= 132 \text{ мм}; \\ m &:= \frac{d_1}{Z_1}; & m &= 6.6 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (6.10)$$

Відповідно за ГОСТ 9563 - 80 вибираємо найближчий більший з стандартного ряду  $m = 8$  мм.

Для розрахунку контактних напружень попередньо визначимо такі коефіцієнти:  $Z_M = 275$  МПа - коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів зубчастого колеса і рейки;  $Z_H = 1,77 * \cos\beta$  - коефіцієнт, що враховує форму спряжених поверхонь зубців, де  $\beta$  - кут нахилу лінії зубців,  $\beta = 0$ .

Тоді  $Z_H = 1,77 - 1 = 0,77$ ;

-  $\Psi_m = 2-4$  — коефіцієнт робочої ширини зачеплення для даної конструкції рейки, вибираємо  $\Psi_m = 4$ .

Визначаємо робочу ширину зачеплення:

$$\begin{aligned} m &= 8; & \Psi_m &:= 4; \\ b &= m * \Psi_m = 32 \text{ мм}. \end{aligned} \quad (5.11)$$

Нерівномірність розподілу навантаження по ширині поверхні зубів тим вища, чим більша ширина зубчатого вінця, яка характеризується наступним коефіцієнтом

$$\Psi_{bd} = b/d_1; \quad (6.12)$$

$$\Psi_{bd} = \frac{b}{d_1} \Psi_{bd} = 0.242. \quad (6.13)$$

З врахуванням коефіцієнта  $\Psi_{bd}$  за графіком [13, с. 298] визначаємо значення коефіцієнта  $K_{H\beta} = 1,12$  (коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині зубчастих вінців).

Визначаємо розрахункове контактне напруження за формулою:

$$Z_M := 275; \quad Z_H = 1.764; \quad K_{H\beta} = 1.12;$$

$$\sigma_H := Z_M * Z_H * \sqrt{\frac{F_t * K_{H\beta}}{b * d_1}} \quad \sigma_H = 347 \text{ МПа.} \quad (6.14)$$

Визначаємо діючий крутний момент на валу зубчатого колеса з врахуванням коефіцієнта корисної дії підшипників кочення  $\eta_{пк} = 0,98$ :

$$T_{1H} := \frac{F_t * d_1}{2 * 1000 * \eta_{пк}} \quad T_{1H} = 130 \text{ Н*м.} \quad (6.15)$$

Визначаємо максимальний крутний момент на валу зубчатого колеса при короткочасному перевантаженні до 200% за формулою:

$$T_{1max} := 2 * T_{1H} \quad T_{1max} = 260 \text{ Н*м.} \quad (6.16)$$

Визначаємо максимальне контактне напруження за формулою:

$$\sigma_{Hmax} := \sigma_H * \sqrt{\frac{T_{1max}}{T_{1H}}} \quad \sigma_{Hmax} = 491 \text{ МПа.} \quad (6.17)$$

### 6.3. Перевірочний розрахунок зубчатої передачі

Аналіз перевірки: якщо  $\sigma_H < \sigma_{Hдоп}$ , то передача задовольняє критерію перевірки на контактну втому, її розміри не вимагають корекції, розрахунок продовжується. Якщо передача не задовольняє цій вимозі, то для корекції її розмірів необхідно розрахувати новий ділительний діаметр зубчатого колеса з умови границі контактної витривалості по контактних напруженнях від номінальних навантажень. Тому новий ділительний діаметр зубчатого колеса буде рівний:

$$d_{1n} = \frac{(Z_M * Z_N)}{\sigma_{доп}} * \sqrt{\frac{F_t * K_{H\beta}}{\Psi_{bd}}}, \quad (6.18)$$

при умові:

$$d_1 := \text{if } (\sigma_H \leq \sigma_{H\text{доп}}, d_1, d_{1N}) \quad (6.19)$$

і відповідно

$$z_1 := \text{if } (d_1 \neq d_{1N}, z_1, \frac{d_{1N}}{m}). \quad (6.20)$$

Оскільки нерівність  $\sigma_H = 347 \text{ МПа} \leq \sigma_{H\text{доп}} = 482 \text{ МПа}$  справджується, тоді  $d_1 = 132 \text{ мм}$ .

Аналогічно проводимо аналіз перевірки на контактну міцність: якщо  $\sigma_{H\text{max}} \leq \sigma_{H\text{max доп}}$ , то передача задовольняє критерію перевірки на контактну міцність, її розміри не вимагають корекції, розрахунок продовжується. Якщо передача не задовольняє цій вимозі, то для корекції її розмірів необхідно розрахувати новий ділительний діаметр зубчатого колеса.

Оскільки нерівність  $\sigma_{H\text{max}} = 491 \text{ МПа} \leq \sigma_{H\text{max доп}} = 1680 \text{ МПа}$  справджується, то передача задовольняє критерію перевірки на контактну міцність і розрахунок можна продовжувати.

Визначаємо діаметр виступів і впадин відповідно за формулами:

$$d_{a1} = m * (z_1 + 2) \quad d_{a1} = 176 \text{ мм};$$

$$d_{f1} = m * (z_1 - 2.5) \quad d_{f1} = 140 \text{ мм}.$$

Визначаємо ширину рейки і колеса відповідно за формулами:

$$b_2 = b; \quad b_2 = 32 \text{ мм};$$

$$b_1 = b_2 + 5; \quad b_1 = 37 \text{ мм}.$$

Визначаємо висоту зубів за формулою:

$$h = 2.25 * m \quad h = 18.$$

Визначаємо повну і базову висоту рейки відповідно за формулами:

$$h_2 \geq h + b \quad h_2 := h + b \quad h_2 = 50;$$

$$h_1 = h_2 - m \quad h_1 = 42.$$

## **7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1. Основні заходи охорони праці під час зварювання**

Людина проводить на виробництві значну частину свого часу існування. Для нормальної життєдіяльності в умовах виробництва необхідно забезпечити санітарні умови, які б відповідали санітарним нормам охорони її здоров'я.

Для цього треба, щоб енергетичні витрати при праці компенсувалися відпочинком та умовами оточуючого середовища: зручного робочого місця і чистого повітря; захисту від дії шкідливих речовин та випромінювань, що можуть потрапити в робочу зону; нормованої освітленості, захисту від шуму і вібрацій; засобами безпеки при роботі з травмонебезпечним обладнанням; побутовими приміщеннями та спеціальними службами, що призначені створювати безпечні та нормальні санітарні умови праці.

Для забезпечення безпечної роботи працюючих необхідне дотримання правил техніки безпеки, яке можна означити як систему організаційних та технічних засобів, що запобігають вилу на працівників небезпечних виробничих факторів. Стан умов праці, за якого виключена дія на людей небезпечних і шкідливих виробничих чинників, називається безпекою праці.

Отже, важливу роль у дотриманні техніки безпеки відіграє сама людина або надійність людського фактора, тобто людина повинна навчитися постійно оцінювати кожний свій крок, кожну дію з погляду безпеки для себе та інших.

Загальні принципи охорони праці регламентовані наступними положеннями: безпечними принципами дії конструктивних схем, елементів конструкції; застосуванням засобів комплексної механізації, автоматизації та дистанційного управління в тих випадках, коли вплив небезпечних і шкідливих факторів неможливо усунути; використанням засобів захисту; дотриманням ергономічних вимог; обов'язковим включенням вимог безпеки до технічної документації з питань монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання; оснащенням виробничих процесів устаткуванням, що

забезпечує отримання своєчасної інформації про виникнення небезпечних і шкідливих факторів; застосуванням у конструкції відповідних матеріалів.

Експлуатація електроустановок повинна здійснюватись з дотриманням “Правил побудови електроустановок та обладнання”. Електротравматизм людини можливий, коли при експлуатації обладнання не виконуються необхідні технічні умови, коли обладнання експлуатується на низькому технічному рівні, коли не виконуються умови ПУЕ і ПТБ (Правила улаштування електроустановок і Правила техніки безпеки). Електротравматизм – це результат порушення вимог правил техніки безпеки та інструктажів, відсутності технагляду та аварійного режиму роботи електроустановок. Причиною електротравматизму в багатьох випадках є непередумані помилкові дії оперативного обслуговуючого персоналу.

В електроустановках утворюється, перетворюється та використовується електрострум (силові трансформатори, електродвигуни, батареї статичних конденсаторів, повітряні і кабельні лінії, апаратура провідного зв'язку та ін.).

В електроустановках (до 1000 В) в техніці способи захисту від уражень електрострумом згідно ПУЕ і ПТБ ділять на дві групи: захист при дотику до струмопровідних частин; захист при дотику до неструмопровідних частин на які перейшла напруга.

Захист від дотику до струмопровідних частин досягається надійною електроізоляцією за допомогою блокування, і пристроїв захисного включення. Доступ людей до струмопровідних частин обмежують влаштуванням захисних огорожень, розташуванням струмопровідних частин на недоступній висоті та в недоступному місці, попереджувальною сигналізацією.

При роботі в електроустановках під напругою застосовують захисні засоби, що ізолюють і відгороджують людину від струмопровідних частин та наступні заходи: контроль і профілактика пошкоджень ізоляції; використання малих напруг; електричне і механічне блокування, сигналізація і маркування; захист від випадкового дотику; захисні засоби і запобіжні пристрої (ізолюючі захисні засоби, переносні прилади та пристосування); захист від переходу



високої напруги на сторону низької.

В якості пристроїв для світлової, звукової, приладної сигналізації застосовуються: контрольно-вимірювальна апаратура, реле, сигнальні зумери, дзвінки, сирени, різнокольорові лампочки, датчики та приймачі температури, тиску та інших параметрів. Малі напруги істотно зменшують небезпеку ураження струмом, особливо при переході напруги на корпус. В момент переходу високої напруги в мережу низької в пробивному запобіжнику викликає потенціал 300-500 В, при якому відбувається пробивання повітряного зазору між дисками через отвір слюдяної пластинки. Мережа стає заземленою і автоматично вимикається.

Основною небезпекою при проведенні зварювальних робіт є пожежі, або вибухи пов'язані з експлуатацією електрообладнання.

В електроустановках, споживачах електроенергії причина пожежі чи вибуху може бути електричного і не електричного характеру.

Основними причинами пожеж і вибухів електричного характеру є: іскріння в електричних установках, а також іскріння в результаті електричних розрядів і ударів блискавок; струми коротких замикань і перевантажень провідників, які викликають їх перегрів до високих температур; погані контакти в місцях з'єднань провідників, коли внаслідок значних перехідних опорів виділяється значна кількість тепла і різко зростає температура; перевантаження і несправність обмоток електричних машин і трансформаторів при відсутності надійного захисту; явища пробоя при підвищенні напруги мережі. До причин неелектричного характеру в електроустановках відносять можливі спалахи від перегріву мастил, які використовуються в електродвигунах. Для передбачення і усунення причин пожеж і вибухів проводяться технічні, технологічні експлуатаційні і організаційні заходи. До технічних і технологічних заходів відносяться дотримання правил і протипожежних норм при спорудженні будівель, при підборі обладнання для опалювання і вентиляції, виборі і монтажі електрообладнання, а також обладнання для захисту проти блискавок.

## **7.2. Захист населення в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру**

Цивільний захист України є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний час та у воєнний з метою захисту населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійних лих і сучасних засобів ураження. Цивільний захист організовується за територіально-виробничим принципом на всій її території і являє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться на всій території держави, як правило заздалегідь з розрахуванням особливостей кожного району.

Основним завдання цивільної оборони є: запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного характеру, проведення заходів щодо зменшення збитків та втрат під час аварій, катастроф, вибухів, великих пожеж та стихійного лиха; оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний час та воєнний, та постійне інформування його про наявні обставини; захист населення від наслідків аварій, катастроф, великих пожеж, стихійного лиха та застосування засобів ураження; заходи і засоби підвищення стійкості роботи промислових підприємств; нагромадження фондів захисних споруд і засобів індивідуального захисту; розширення шляхів сполучення і розвиток всіх видів транспорту; підсилення і дублювання енергетичних потужностей; утворення матеріально-технічних ресурсів; підтримування сил цивільної оборони в постійній готовності.

Обсяг та характер захисних заходів визначається особливостями окремих районів та промислових підприємств (об'єктів), обставини яка може скластися в разі аварій на атомній станції, хімічно небезпечному об'єкті, а також в разі застосування противником ядерної зброї, хімічної або біологічної зброї та звичайних військових засобів ураження.

При цьому: плануються та проводяться у комплексі три основні заходи

захисту людей: укриття людей в захисних спорудах; розселення у замиській зоні робітників та службовців підприємства; використання працюючими засобів індивідуального захисту і медичних засобів; організується і проводиться обов'язкове навчання працюючих заходам захисту; передбачається оповіщення робітників про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час, а також постійне інформування їх про наявну обставину; проводиться радіаційна, хімічна та біологічна розвідка, встановлюється режим захисту працюючих та службовців, виробничої діяльності підприємства, а також дозиметричний і лабораторний контроль; плануються профілактичні, протипожежні, протиепідемічні заходи, рятувальні і інші невідкладні роботи в осередках ураження, санітарна обробка, знезаражування споруд, будівель, техніки, одягу, території.

Для проведення РіІНР в осередку хімічного ураження залучаються формування протирадіаційного і протихімічного захисту (ГТРДТХЗ), команди знезаражування, а також формування механізації робіт і загального призначення, медичні та формування охорони громадського порядку.

Особовий склад, який залучається до РіІНР в осередку хімічної небезпеки, повинен бути забезпечений захистом органів дихання та шкіри, індивідуальними протихімічними пакетами, аптечками А1-2. Для виявлення хімічної обстановки розвідувальні ланки (групи) використовують прилади хімічної розвідки (ВПХР, ПХР і інші). При визначенні хімічного забруднення командир ланки розвідки визначає тип ОР, напрямок її розповсюдження. Командир формування на основі інформації старшого начальника, даних розвідки та особистого спостереження приймає рішення про проведення РіІНР, в якому визначає ділянки (об'єкти) на яких необхідно зосередити основні зусилля формувань, ставить завдання підлеглим та наданим формуванням. Рятувальні команди (групи) та ланки сандружини на вказаній їм території оглядають виробничі приміщення і допоміжні споруди, захисні споруди, визначають кількість уражених, місце їх знаходження, можливість доступу до них. Допомогу ураженим надають на місці їх знаходження.

## 8. ЕКОЛОГІЯ

### 8.1. Актуальність охорони навколишнього середовища

Захист навколишнього середовища – це одне з найважливіших завдань сучасності, яке з кожним роком стає все більш актуальним. Викиди промислових підприємств, енергетичних систем і транспорту в навколишнє середовище на сучасному етапі розвитку цивілізації досягли таких розмірів, що в ряді районів земної кулі, особливо в великих промислових центрах, рівень забруднення суттєво перевищує допустимі санітарні норми.

У зв'язку з цим охорону навколишнього середовища розглядають як комплекс міжнародних, державних, регіональних, технологічних і громадських заходів, спрямованих на забезпечення раціонального природокористування, охорону, відновлення та примноження природних ресурсів для блага людського суспільства і підтримання біологічної та екологічної рівноваги біосфери.

Технологічний процес виготовлення зварних з'єднань з тонких листових деталей складається з таких основних операцій: заготівельні; складальні; зварювальні; опоряджувальні; приймального контролю якості. Заготівельними операціями при виготовленні даного виробу є: попереднє правлення, зачищення, розмічання, штампування, свердління і різання. В процесі правлення листового прокату виділяється багато пилу, в середньому 200 г на 1 тону прокату, що значно погіршує умови роботи працюючих і призводить до забруднення середовища. Пил утворюється, головним чином, в результаті подрібнення окалини валками, при цьому біля 20 % пилу має розмір часток менше 10 мкм. Механічна обробка металу на верстатах при зачищенні, штампуванні, свердлінні і різанні супроводжується виділенням пилу, стружки, а також туманів мастил і емульсій, що застосовуються для охолодження робочого інструменту. Кількість масляного туману, що виділяється за 1 годину при роботі металообробних верстатів у розрахунку на 1 кВт потужності електродвигунів рівна 200 мг.

Зварювання труби з фланцями виконують зварюванням в захисних газах плавким електродним дротом марки Св-08Г2С, при цьому виділяються токсичні гази і пил. Зварювання в захисних газах плавким електродом супроводжується виділенням дрібнодисперсного пилу, який на 99 % складається з часточок розміром від 0,3 до 1 мкм, біля 1 % розміром частинок 1...5 мкм і декількох десятих долів відсотка частинок розміром більше 5 мкм.

Хімічний склад забруднень, що виділяється при зварюванні, залежить в основному від складу зварювальних матеріалів (зварювального дроту і його покриття) і в меншій мірі - від хімічного складу зварюваного металу.

Кількість шкідливих речовин, які виділяються у повітря при зварюванні металів, залежить від видів і режимів технологічного процесу та властивостей зварювальних матеріалів.

Найбільш шкідливим є ручне електродугове зварювання. Так, при витраті 1 кг електродів у процесі ручного електродугового зварювання сталі утворюється до 40 г пилу, 2 г фтористого водню, 1,5 г оксидів вуглецю та азоту. Під час автоматичного електродугового зварювання металів в захисних газах, загальна маса шкідливих речовин, що виділяються у повітря, менша у 1,5...2 рази.

Шкідливі речовини, що виділяються при електродуговому зварюванні сталей у вуглекислому газі плавким електродом наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Виділення шкідливих речовин у повітря при електродуговому зварюванні сталей в середовищі вуглекислого газу плавким електродним дротом

Марка зварювального дроту	Зварювальний аерозоль, г/кг				Гази, г/кг
	середня кількість	в тому числі			СО
		Мn і його сполуки	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Св-08Г2С	9,70	0,50	0,02	7,48	14

Опоряджувальними операціями є знищення звареного виробу від окалини і виплесків та фарбування. Шкідливі речовини виділяються в основному при фарбуванні зокрема в таких випадках: при знежиренні поверхонь органічними

розчинниками перед фарбуванням; при підготовці лакофарбових матеріалів; при нанесенні лакофарбових матеріалів на поверхні виробів; при сушінні фарбованих і лакованих поверхонь.

Основними джерелами загазованості повітря робочих зон та атмосфери є змішувачі лакофарбових матеріалів, фарбувальні камери, сушарки, ванни з розчинами для знежирення. Концентрація шкідливих речовин, що виділяються з фарбувальних камер, залежить від характеристики лакофарбових матеріалів, витрати й способу їх нанесення. При виробництві даного виробу виникають такі види енергетичного забруднення як шум і вібрації, теплове і світлове випромінювання.

Зокрема при механічному обробленні металу виникають значні шум і вібрації, а також значний рівень шуму спричиняє робота пневматичної та електричної апаратури складально-зварювального обладнання, яке застосовується під час зварювання. Теплове і світлове випромінювання виникає при зварюванні виробу. Вода при виробництві даного виробу використовується для допоміжних цілей: охолодження деталей і вузлів технологічного обладнання, промиванням і очищенням вихідних матеріалів або продукції, обробки приміщень і господарсько-побутового обслуговування робітників підприємства, що призводить до забруднення води розчинними і нерозчинними домішками. Зокрема при правленні листового прокату вода застосовується для охолодження обладнання і гідрозмиву металевої окалини, а при механічній обробці металів вода застосовується для охолодження інструменту і промивання деталей. При цих та інших операціях технологічного процесу стічні води забруднюються пилом, металевими і абразивними частинками, мастилами, розчинниками, фарбами та іншими речовинами.

Таким чином в стічних водах підприємства можуть бути наступні види домішок: механічні суміші органічного і мінерального походження, в тому числі гідроксиди металів; стійкі і летючі нафтопродукти; емульсії, стабілізовані різними домішками; розчинені токсичні з'єднання органічного і неорганічного походження (іони металів, феноли, ціаніди, сульфати, сульфіди та інші).

## 8.2. Заходи із зменшення забруднення довкілля

Основними засобами захисту атмосфери від забруднень промисловим пилом і туманами є використання пиловловлюючих і тумановловлюючих апаратів і систем.

Пилоочисне устаткування можна розділити на чотири групи: сухі пиловловлювачі, мокрі пиловловлювачі, електрофільтри і фільтри.

Пиловловлювачі різних типів, у тому числі і електрофільтри застосовують при підвищених концентраціях домішок в повітрі. Фільтри застосовуються для тонкого очищення повітря з концентрацією домішок менше  $100 \text{ мг/м}^3$ .

Якщо необхідне тонке очищення повітря при високих початкових концентраціях домішок, то очищення ведуть в системі послідовно сполучених пиловловлювачів і фільтрів.

Очищення повітря від пилу може бути грубим, середнім і тонким. При грубому очищенні повітря, затримується крупний пил (розміром частинок  $>50 \text{ мкм}$ ). Таке очищення можна використовувати, наприклад, як попередню для сильно запиленого повітря при багатоступінчатому очищенні. При середньому очищенні затримується пил з розміром частинок до  $50 \text{ мкм}$ , а при тонкій пил з розміром частинок менше  $10 \text{ мкм}$ .

Для грубого і середнього очищення застосовують пиловловлювачі, дія яких заснована на використанні для осадження частинок пилу сил тяжіння або інерційних сил, що відокремлюють частинки домішок від повітря при зміні швидкості (пилоосаджувальні камери) і напряму його руху (циклони, інерційні, жалюзійні і ротаційні пиловловлювачі). Найбільше застосування для очищення повітря від пилу з розміром частинок більше  $10 \text{ мкм}$  отримали циклони. Циклони застосовують для очищення повітря від сухого неволокнистого пилу, що не злипається. Пиловідділення в них здійснюється під дією відцентрових сил, що відкидають частинки пилу до стінок циклону і пил опускаються в нижню частину циклону, а звідти в пилозбірник.

Для тонкого очищення повітря в промисловості широко застосовуються фільтри. Повітряними фільтрами називають установки, призначені для відокремлення пилу з повітря та газів. Процес фільтрації проходить за рахунок затримання частинок пилу на волокнистих або пористих перегородках при проходженні забрудненого повітря через них.

Для очищення повітря від туманів кислот, лугів, мастил та інших рідин використовують тумановловлювачі, принцип дії яких ґрунтується на осадженні крапель на поверхні пор волокнистого фільтру з наступним стіканням рідини під дією сили тяжіння.



## ВИСНОВКИ

1. У дипломній роботі магістра вирішено завдання підвищення ефективності зварювання арматури вентиляційних систем за рахунок застосування способу двоконтактного точкового зварювання та обтискних втулок.

2. Зусилля стиснення арматури становить  $F_{1Д} = 0,1...3,4$  кН, а збільшенням відстані між точками зварювання від 60 до 140 мм призводить до зменшення  $F_{1Д}$ , причому суттєве зменшення  $F_{1Д}$  відбувається за значення  $t \geq 100$  мм та становить від 1,5 до 0,1 кН.

3. Річний економічний ефект від застосування технології зварювання арматури становить 780604,42 грн.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Николаев Г.А. Сварочные конструкции расчёт и проектирование: учебн. / Г.А. Николаев, В.А. Винокуров. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.
2. Фролов В.В. Теория сварочных процессов : учеб. / под. общей редакцией В.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.
3. Кривов Г.О. Виробництво зварних конструкцій : підручник для студентів вищих навчальних закладів / Г.О. Кривов, К.О Зворикін. – К.: КВІЦ, 2012. – 896 с.
4. Кучук-Яценко С.И. Контактная стыковая сварка оплавлением / Под ред. С.И. Кучук-Яценко. – К.: Наукова думка, 1992. – 236 с.
5. Орлов Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки : посібник / Б.Д. Орлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 596 с.
6. Биковский О.Г. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання [Текст]: Довідник посібник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - Запоріжжя: РПВ Видавець, 1997. – 228 с.
7. Машина подвесная К584М типа МСО – 5001 – 1У1 для контактной сварки труб : паспорт К584М. 00. 00000-01ПС.
8. Риморов С.В. Новое сварочное приспособление [Текст]: учеб. / С.В. Риморов. – Л.: Стройиздат, 1998. – 286 с.
9. Глебов Л.В. Устройство и эксплуатация машин [Текст]: учеб. / Л.В. Глебов, Ю.И. Филипов, П.Л. Чолушников. - Л.: Енегоиздат, 1987 – 312с.
10. Заплатинський В.М. Безпека життєдіяльності [Текст]: посібник / В.М. Заплатинський. - К.: КДТЕУ, 1989. – 208 с.
11. Українсько-російський словник зварювальної термінології : словник. / укладачі: В.М. Бернацький, О.С. Осика, Л.О. Симоненко, Л.С. Філоненко. – К.: Екотехнологія, 2001. – 224 с.
12. Николаев Г.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование/ Николаев Г.А., Винокуров В.А. – М. : Высшая школа, 1990 – 560 с.

13. Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие. Под ред. В.В.Смирнова, СПб: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2000. - 848с.
14. [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Точечная\\_контактная\\_сварка](https://ru.wikipedia.org/wiki/Точечная_контактная_сварка)
15. Технология и оборудование контактной сварки / Под. ред. Б.Д. Орлова. - М: Машиностроение, 1986. - 352 с.
16. Кочергин К. А. Контактная сварка. Справочник. Л.:Машиностроение, 240с., 1987г.
17. Основы теории и технологии контактной точечной сварки: монография / С. Н. Козловский. СибГАУ. - Красноярск:, 2003. - 273 с.
18. Гуляев А.И. Технология и оборудование контактной сварки. - М.: Машиностроение, 1985г.
19. Орлов Б.Д. Технология и оборудование контактной сварки. - М.: Машиностроение, 1986г.
20. Гуляев А.И. Технология точечной и рельефной сварки стали. - М.: Машиностроение, 1978г.
21. Пути повышения эффективности контактной сварки: Тез. докл. На всесоюз. науч. - техн. конф. (Окт. 1980) / [Науч. Редакторы В.И. Снежко, Г.А. Липович] 82 с. ил. 20 см., Таганрог Б. и. 1980
22. Банов М.Д., Казаков Ю.В., Козулин М.Г. Сварка и резка материалов. - М.
23. Кабанов Н.Г., Слепак Э.Ш. Технология стыковой контактной сварки. М., «Машиностроение», 1969.
24. М. Д. Банов, Ю. В. Казаков, М. Г. Козулин и др.; под ред. Ю. В. Казакова. Сварка и резка материалов: Учебное пособие. Издание 2-ое, стереотипное. Издательский центр «Академия», 2002. — 400 с.
25. Гуляев А.И. Технология точечной и рельефной сварки сталей. М., «Машиностроение», 1969.

**ДОДАТКИ**