

|                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|
| 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  
одноконтактного точкового зварювання корпусу світильника**

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

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

|          |                        |
|----------|------------------------|
| _____    | Лексюк В.І.            |
| (підпис) | (прізвище та ініціали) |

|               |          |                        |
|---------------|----------|------------------------|
| Керівник      | _____    | Барановський В. М.     |
|               | (підпис) | (прізвище та ініціали) |
| Нормоконтроль | _____    | Барановський В. М.     |
|               | (підпис) | (прізвище та ініціали) |

|           |          |                        |
|-----------|----------|------------------------|
| Рецензент | _____    | Паньків М. Р.          |
|           | (підпис) | (прізвище та ініціали) |

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра на тему „Обґрунтування технологічного процесу одно контактного точкового зварювання корпусу світильника” складається з вступу, 8 розділів, висновків і переліку посилань із 22 джерел.

Дипломну роботу викладений на 116 сторінках, містить 18 рисунків і 14 таблиць.

Мета роботи - підвищення продуктивності праці та якості продукції.

Запропоновано: технологію виготовлення корпусу світильника; вибрано раціональний спосіб зварювання, зварювальне устаткування та пристосування; розраховано параметри режиму зварювання; досліджено вплив термодформаційного циклу зварювання на структуру і властивості зварного з'єднання; проведено розрахунки з організаційно-економічних питань; розроблено заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності, цивільної оборони та екології.

Ключові слова: контактне зварювання, параметри, режими, пристосування складальне, виріб.

## ЗМІСТ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                       | 4  |
| 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....                                                                       | 5  |
| 1.1. Аналіз режимів контактного точкового зварювання .....                                        | 5  |
| 1.2. Загальна характеристика та технічні умови до виробу .....                                    | 14 |
| 1.3. Аналіз існуючого технологічного процесу і постановлення завдання на розроблення нового ..... | 18 |
| 1.4. Висновки до розділу .....                                                                    |    |
| 2. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ .....                                                             | 20 |
| 2.1. Дослідження формування точкового зварного з'єднання .....                                    | 20 |
| 2.2. Вибір і обґрунтування розрахункової схеми розподілу температур .....                         | 22 |
| 2.3. Розрахунок і дослідження температурного поля .....                                           | 29 |
| 2.4. Дослідження зварювальних напружень і деформацій, і їх вплив на механічні властивості.....    | 38 |
| 2.5. Висновки до розділу.....                                                                     |    |
| 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....                                                                     | 44 |
| 3.1. Загальна характеристика зварного виробу .....                                                | 44 |
| 3.2. Аналіз існуючого та удосконаленого технологічного процесу виготовлення вибору .....          | 47 |
| 3.3. Розрахунок та підбір параметрів режиму контактного точкового зварювання .....                | 54 |
| 3.4. Складання технологічного процесу виготовлення виробу .....                                   | 63 |
| 4. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....                                                                  | 70 |
| 4.1. Перевірочний розрахунок міцності конструкції .....                                           | 70 |
| 4.2. Вибір типу пристосувань .....                                                                | 71 |
| 4.3. Вибір баз, упорів та захисних елементів пристосувань .....                                   | 72 |
| 4.4. Розрахунок та підбір зусиль затискання чи притискання .....                                  | 74 |
| 4.5. Розрахунок елементів пристосувань .....                                                      | 74 |
| 5. ОБґРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....                                                   | 77 |

|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Розрахунок капіталовкладень на розробку та впровадження технології одноконтактного точкового зварювання світильника ..... |     |
| 5.2. Розрахунок економічного ефекту .....                                                                                      | 77  |
| 6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ .....                                                                                                    | 82  |
| 6.1. Опис алгоритму розрахунку зубчатого колеса з рейкою .....                                                                 | 85  |
| 6.2 Розрахунок допустимих і діючих напружень зубчастої передачі .....                                                          | 85  |
| 6.3. Перевірочний розрахунок зубчастої передачі .....                                                                          | 92  |
| 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....                                                                     | 94  |
| 7.1. Охорона праці і техніка безпеки на виробництві .....                                                                      | 96  |
| 7.2. Гігієна праці та виробнича санітарія .....                                                                                | 96  |
| 7.3. Стійкість роботи об'єктів господарської діяльності та основні шляхи її підвищення .....                                   | 98  |
| 8. ЕКОЛОГІЯ .....                                                                                                              | 101 |
| 8.1. Актуальність охорони навколишнього середовища .....                                                                       | 105 |
| 8.2. Забруднення довкілля, що виникають при виготовлені світильника .....                                                      | 105 |
| 8.3. Заходи із зменшення забруднення довкілля .....                                                                            | 104 |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                                                 | 108 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....                                                                                                         | 110 |
| ДОДАТКИ .....                                                                                                                  | 111 |
|                                                                                                                                | 113 |

## ВСТУП

Одним із основних технологічних процесів, який широко застосовується в машинобудуванні, будівництві, атомній енергетиці, ракетобудуванні та інших галузях народного господарства є зварювання.

Зварювання - це технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань виробів шляхом встановлення міжатомних зв'язків між з'єднуваними частинами при їх нагріванні, пластичному деформуванні, або нагріванні і пластичному деформуванні. Всі існуючі різновидності зварювання, яких нараховується біля 70, можна поділити на три основні групи: зварювання тиском (ультразвукове, холодне, тертям), зварювання плавленням (дугове, електрошлакове, газове, електронно-променеве, лазерне) і зварювання плавленням з тиском (контактне, дифузійне, різноманітні пресові види).

Зварні конструкції застосовуються в багатьох галузях машинобудування завдяки своїй універсальності. Оскільки застосовуючи різні способи зварювання отримують нероз'ємні з'єднання деталей із металів та інших конструкційних матеріалів різноманітної форми і розмірів, товщиною від долей міліметра до декількох метрів і масою від долей грама до декількох сотень тон. Також заміна клепаних, литих і кованих конструкцій зварними дає можливість значно зменшити витрату матеріалу на виготовлення конструкції, зменшити час і трудомісткість її виготовлення, покращити якість конструкції.

Висока ефективність зварювання сприяє широкому впровадженню його в виробництво для більш раціонального вирішення технологічних задач, які виникають при конструюванні складних виробів.

Зварне з'єднання за міцністю, як правило, не поступається міцності того матеріалу, із якого виготовлені зварювані деталі. Тому, зварні з'єднання застосовують і при виробництві виробів, які працюють при знакозмінних і динамічних навантаженнях, при високих температурах і тисках.

## 1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1. Аналіз режимів контактного точкового зварювання

Для контактного точкового зварювання (КТЗ) застосовуються машини: одноточкові стаціонарні, одноточкові підвісні й пересувні машини, багатоточкові машини, рис. 1.1.

Режими контактного точкового зварювання конкретного з'єднання (марка металу і поєднання товщини деталей) визначаються сукупністю параметрів, з яких основними є: сила  $I_{зв}$  імпульсу зварювального струму; тривалість  $t_{зв}$  імпульсу зварювального струму (час зварювання); зусилля стиснення електродів  $F_{cm}$ ; форма і розміри робочих поверхонь електродів ( $d_e$  - при плоскій і  $R_e$  - при сферичній формі електродів, рис. 1.2).



Рисунок 1.1. – загальний вигляд машин для контактного точкового зварювання

Режими КТЗ прийнято поділяти на два типи: «жорсткі» режими, що характеризуються малим  $t_{зв}$  і великим  $I_{зв}$ , і «м'які» режими з відносно великим  $t_{зв}$  і малим  $I_{зв}$  [1]. Відомі пропозиції, за якими можна кількісно оцінювати жорсткість режимів, наприклад, по відношенню окремих параметрів режиму КТС:, за показниками, які представляють собою різні інтерпретації критерію Фур'є [2], серед яких найбільш поширений критерій А.С. Гельмана [3], а також за критерієм технологічної подібності [4], який характеризується: енергією, що

виділилася в обсязі ядра; тепловими втратами в масу деталей, що зварюються; питомим електричним опором металу при температурі плавлення; діаметром і висотою ядра розплавленого металу; межею плинності, що зварюється в холодному стані; зусиллям стиснення електродів, коефіцієнтом теплопровідності; щільністю; питомою масовою теплоємністю.

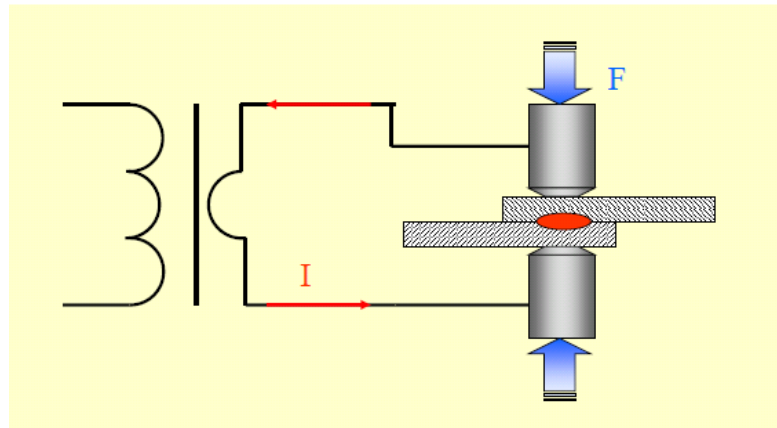


Рисунок 1.2. – Схема контактного точкового зварювання

При збільшенні жорсткості режимів збільшується потужність джерел теплоти і зменшується роль тепловідведення у формуванні температурного поля, внаслідок чого збільшується проплавлення деталей. Разом з цим зростає і схильність процесу КТЗ до утворення виплеск. Тому при зварюванні на жорстких режимах застосовують великі зусилля стиснення електродів, ніж при зварюванні на м'яких режимах. [5]

Енергетичний і силовий вплив на метал зони формування з'єднання при КТЗ забезпечується конкретним поєднанням параметрів режиму. При цьому зміна кожного з них призводить до інтенсифікації або, навпаки, пониження окремих термодформаційних процесів, що протікають на окремих або всіх етапах процесу зварювання. В кінцевому підсумку, це позначається на стійкості процесу формування з'єднання і розмірах ядра.

У теорії і практиці КТЗ під терміном «час зварювання» розуміється тривалість  $t_{зв}$  імпульсу зварювального струму  $I_{зв}$ . При незмінній силі зварювального струму  $I_{зв}$  час зварювання  $t_{зв}$  визначає кількість теплоти  $Q_E$ , яке в цьому випадку виділяється в зоні формування з'єднання пропорційно тривалості імпульсу струму. Тому зі збільшенням часу зварювання зростає

проплавлення деталей А і, в більшій мірі, діаметр  $d_{\text{Я}}$  ядра розплавленого металу. Разом з цим при збільшенні  $t_{36}$  зростає і вплив тепловідведення на характер розподілу температури в зоні зварювання, яке супроводжується великим розігрівом деталей і збільшенням деформацій. Крім того, при збільшенні  $t_{36}$  все більша частина  $Q_E$  відводиться в навколишню зону зварювання метал  $Q_2$  і в електроди  $Q_3$ , що призводить до зменшення енергетичного ККД процесу КТЗ.

При деякому  $t_{36}$  може наступити стан теплової рівноваги, при якому вся виділилася теплота відводиться із зони зварювання, тобто, а кількість теплоти в зоні зварювання  $Q_1$  не змінюється. Це призводить до того, що ядро (А і  $d_{\text{Я}}$ ) розплавленого металу перестає рости. Отже, збільшення  $t_{36}$  далі моменту теплового рівноваги і енергетично, і технологічно недоцільно тому, що ні до чого крім збільшення розігріву деталей не призводить (рис. 1.3).

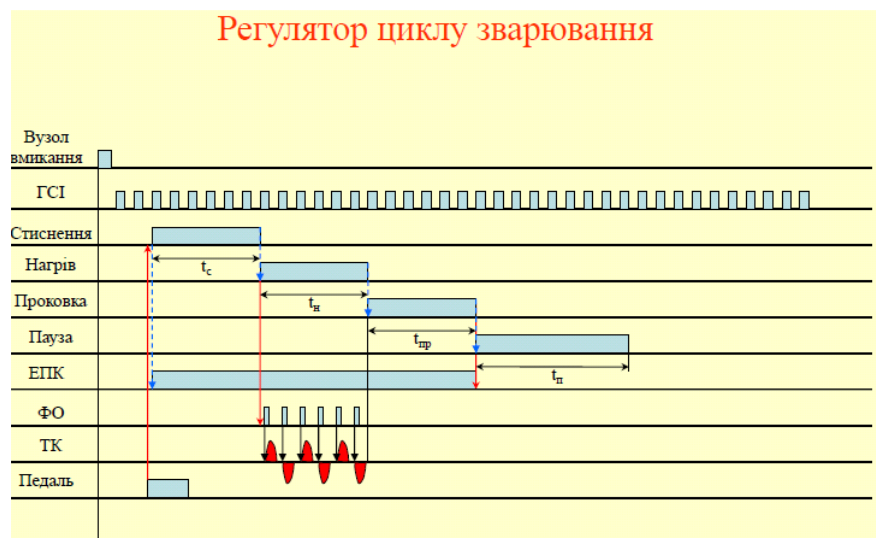


Рисунок 1.3. – Схема регулювання часу зварювання

Сила зварювального струму  $I_{36}$  є одним з основних параметрів режиму КТЗ, оскільки при незмінній тривалості його імпульсу  $t_{36}$  визначає не тільки кількість енергії, що виділяється в зоні зварювання, а й, що найбільш важливо для процесу формування з'єднання, градієнт її збільшення за часом. Внаслідок цього саме сила зварювального струму визначає швидкість нагріву металу в зоні формування з'єднання, рис. 1.4.



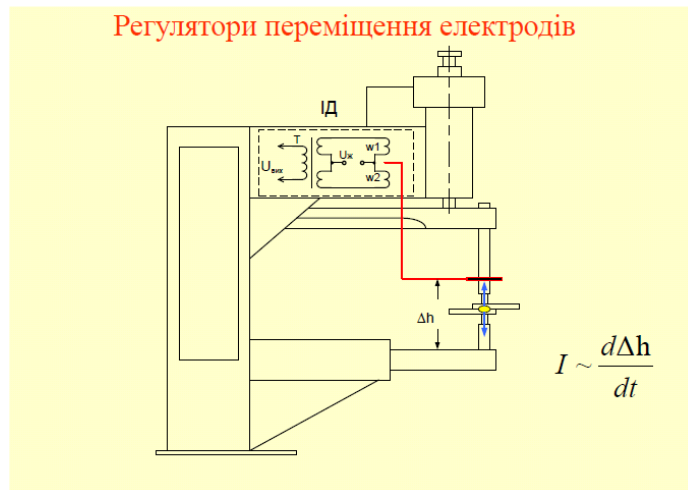


Рисунок 1.4. – Загальна схема процесу контактного зварювання

У ряді випадків зварювання, особливо при малій відстані (кроці) між зварними точками, сила зварювального струму  $I_{зв}$ , тобто струму який протікає через зону формування з'єднання і визначає тепловиділення в ній, і сила струму, який протікає у вторинному контурі зварювальної машини, можуть різнитися між собою. Причиною цього може бути струм шунтування, який протікає поза зоною зварювання, зокрема, через раніше зварені точки (рис. 1.4) або контакти деталь-деталь, розташовані поза зоною формування з'єднання, наприклад, при точковому зварюванні з обтисненням периферійної зони з'єднання. Таким чином, значення вторинного струму зварювальної машини залежить від зварювального струму  $I_{зв}$  і струму шунтування.

**Зварювальний струм.** Від сили зварювального струму розміри ядра розплавленого металу залежать найбільшою мірою. Зі збільшенням  $I_{зв}$  проплавлення деталей  $A$  і діаметр ядра  $d_я$  ростуть майже прямо пропорційно зміні  $I_{зв}$ . Силу зварювального струму  $I_{зв}$  в, з тієї ж причини, що і  $t_{св}$ , поки визначають тільки орієнтовно за технологічними рекомендаціями або по емпіричних залежностях [6]. На відміну від  $t_{зв}$ , для визначення якого розрахункові методики взагалі відсутні, для визначення  $I_{зв}$  в теорії КТЗ запропоновано багато найрізноманітніших залежностей, на жаль, не вирізняються високою точністю і універсальністю.

Розрізняють два види КТЗ – контактне точкове зварювання оплавленням і контактне точкове зварювання опором, рис. 1.5.

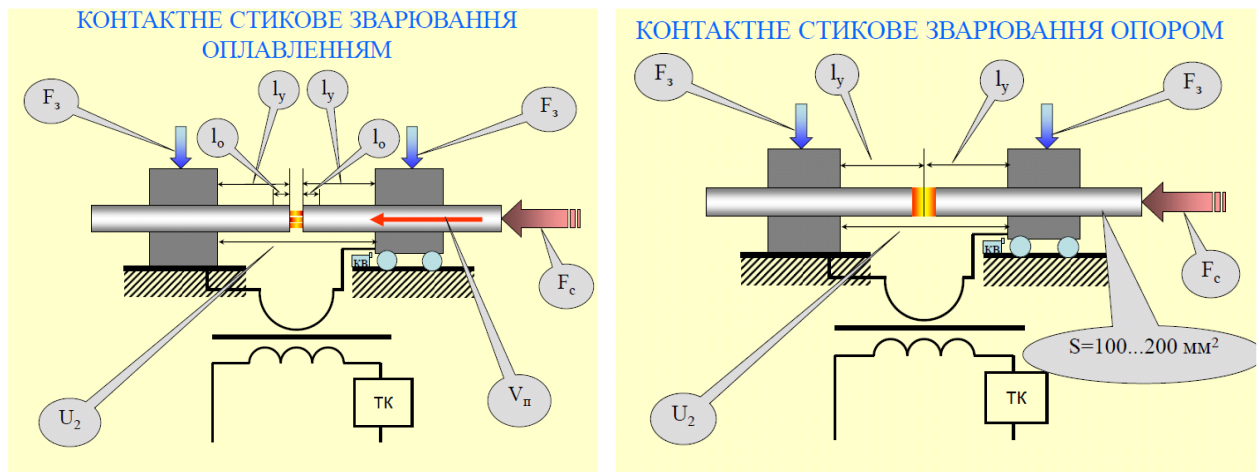


Рисунок 1.5. – Загальна схема процесу контактного зварювання  
оплавленням і опором

У практиці традиційних способів КТЗ для зварювального імпульсу, тривалістю  $t_{зв}$ , усереднену силу зварювального струму  $I_{зв}$  найчастіше наближено розраховують за т залежністю, яка отримана з загальновідомого закону Джоуля - Ленца [7], яка характеризується кількістю теплоти, що виділяється в зоні зварювання, яка потрібна для утворення зварного з'єднання заданих розмірів і визначається за рівнянням теплового балансу, коефіцієнтом, який враховує зміну опору зони зварювання в процесі формування з'єднання, електричним опором деталей в кінці.

Для вирішення технологічних задач точкового зварювання в більшості випадків потрібно визначити кількість теплоти, що виділилася в зоні зварювання, і розподіл в ній температури. Характер температурного поля в зоні формування з'єднання визначають в основному два процеси, які одночасно протікають і протилежно спрямовані: тепловиділення зварювання і теплопередача з неї в навколишній холодний метал і електроди [7].

Найбільш точні значення параметрів тепловиділення і розподілу температури отримують шляхом вирішення диференціальних рівнянь розподілу потенціалів і теплопровідності. Разом з тим, при проектуванні технологій КТЗ в основному застосовують наближені інженерні методики розрахунків цих параметрів, оскільки вони більш наочно відображають теплові процеси, які протікають в зоні формування точкового зварного з'єднання, і, в ряді випадків, цілком задовольняють за точністю розрахунків.

При КТЗ в зоні зварювання діє кілька джерел теплоти. Нагрівання металу в зоні зварювання відбувається в основному за рахунок генерування теплоти в зварюються деталях, а також на електричних опорах ділянки електрод-електрод, при проходженні через них електричного струму (рис. 1.6).

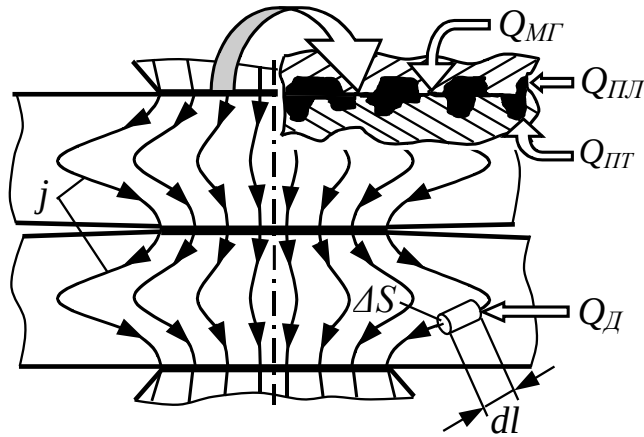


Рисунок 1.6. – Схема джерел виділення теплоти у зоні зварювання

Основна кількість теплоти, що виділяється при проходженні зварювального струму, в процесі точкового зварювання ( $> 90\%$  від загального його кількості  $Q_{MG}$ , що виділяється за цикл зварювання в зоні формування з'єднання на ділянці електрод-електрод [8]) відбувається в зварюються деталях, де діє її джерело, розподілена в обсязі металу деталей, який проводить електричний струм.

Лінії електричного струму  $I$  в зварюються деталях зазнають помітні викривлення, внаслідок чого площа елементарної сили трубки струму  $\Delta S$  змінюється в залежності від її довжини  $dl$ . З огляду на це сумарна кількість теплоти  $Q_{Д}$ , яке виділяється в деталях на власний їх опори, може бути визначено за законом Джоуля - Ленца з врахуванням щільності струму, питомого електричного опору металу деталей, що зварюються, по якому протікають лінії струму, площі перетину, за яким розтікаються лінії струму, координати температури і часу зварювання.

Крім того, деяка кількість теплоти ( $< 10\%$  від  $Q_{MG}$  [8]) генерується в контактах деталь-деталь і електрод-деталь і в областях прилеглих до них, де, хоча і у відносно короткий період ( $\sim 0,1t_{зв}$ ), діють її плоскі джерела. У них

генерується теплота  $Q_{MG}$  за рахунок електричного опору мікровиступів, які безпосередньо утворюють контакт, яке в процесі зварювання відносно швидко зменшується аж до нульових значень через деформування (зминання) мікровиступів внаслідок їх знеміцнення при збільшенні температури, а також теплота  $q_{nl}$ , яка генерується за рахунок електричного опору природних оксидних плівок або (в деяких випадках практики КТЗ) в штучних покриттях. Для умов КТЗ, які характеризуються безперервним зміною сили зварювального струму і температури металу в зоні формування з'єднання, кількість теплоти  $Q_{MG}$  і  $q_{nl}$  можна визначити відповідно за залежностями [9].

При точних розрахунках, як додаткові джерела теплоти слід враховувати теплоту  $Q_{PT}$ , що виділяється в контактах електрод-деталь внаслідок прояву ефекту Пельтьє [10] або ж внаслідок прояву напівпровідникових властивостей окисної плівки. Теплота Пельтьє генерується по межах плівок з металом або по межах рідкого металу з твердим, або ж по межах різнорідних металів.

При наближених рішеннях задач технології КТЗ, наприклад при визначенні для конкретних умов зварювання орієнтовних значень зварювального струму, теплоту, що виділяється в контактах, не розраховують. І взагалі її, як правило, в розрахунках не враховують, або ж враховують усереднено через різні поправочні коефіцієнти [10].

Розподіл температури в зоні формування з'єднання виміряти безпосередньо при КТЗ поки не вдалося, не дивлячись на численні загальновідомі спроби це зробити. Аналіз відомих аналітичних методик розрахунків температури в зоні зварювання [11-13], які враховують виділення і перерозподілу теплоти в ній, показує, що намагатися задовольнити вимогам сучасної технології КТЗ по точності визначення температури в зоні зварювання цим шляхом дуже проблематично. Тому і роботи в цьому напрямку, очевидно, безперспективні.

А. С. Гельман для дослідження температурних полів в зоні зварювання, мабуть, першим застосував рішення диференціальних рівнянь розподілу потенціалів і теплопровідності, які здійснив чисельним методом, а точніше -

методом кінцевих різниць [14]. Це дозволило йому при вирішенні поставлених завдань врахувати зміну в процесі КТЗ теплофізичних характеристик металу, геометричних параметрів з'єднань, а також вплив енергетичного і силового впливу на зону зварювання і приховану теплоту плавлення металу в ядрі. Відомості про температуру металу в зоні зварювання, отримані розрахунком за даними методиками, мабуть, є найбільш близькими до істинних її значенням при конкретних умовах зварювання. Так, розрахункові ізотерми температури плавлення по конфігурації і геометричному положенню вельми близькі до кордонів ядра розплавленого металу, експериментально визначеним на різних стадіях його формування [15].

Теплоту  $Q_{EE}$ , яка повинна виділитися в зоні формування з'єднання для отримання ядра заданих розмірів, можна розрахувати через тепловміст металу в ній до кінця процесу зварювання і кількість теплоти, відведений із зони зварювання в процесі формування з'єднання.

Для цього використовують умовні схеми теплопередачі в зоні зварювання і розподілу в ній температури (рис. 1.7).

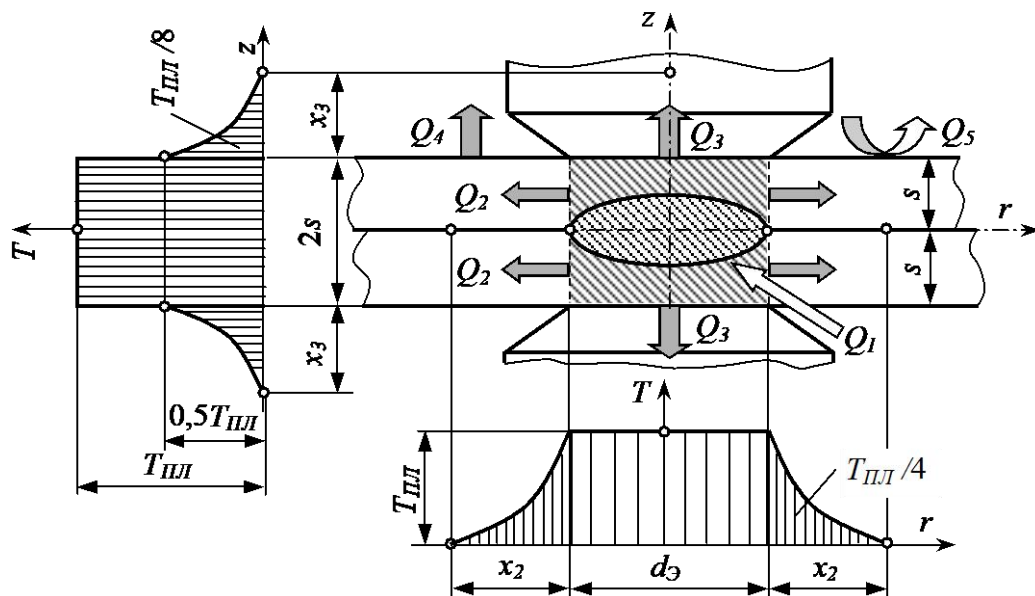


Рисунок 1.7 – Схеми теплопередачі у зоні зварювання

У даній методиці розрахунку допускають, що вся теплота  $Q_{EE}$  виділяється в циліндрі, діаметр якого дорівнює діаметру  $d_e$  контакту електрод-деталь. Теплоту, що виділилася  $Q_{EE}$  умовно поділяють на теплоту  $Q_1$ , яка витрачається

на нагрівання і плавлення металу у виділеному циліндрі ( $Q_1 \approx 20 \dots 30\%$  від  $Q_{EE}$  [15]), а також на теплоту  $Q_2$ , яка відводиться в навколишній метал деталей ( $Q_2 \approx 20\%$  від  $Q_{EE}$ ), і теплоту  $Q_3$ , яка відводиться в електроди ( $Q_3 > 50\%$  від  $Q_{EE}$ ). Щодо дуже невелика частина теплоти  $Q_{EE}$  відводиться з поверхонь деталей радіаційної  $Q_4$  і конвективної  $Q_5$  тепловіддачею.

Такий розподіл теплоти  $Q_{EE}$  описується так званим «рівнянням теплового балансу», яке було запропоновано ще в 30-х роках минулого століття і використовується до теперішнього часу в інженерних методиках розрахункового визначення сили зварювального струму

За минулий період методики розрахунку його складових неодноразово змінювалися й уточнювалися. Мабуть, найбільш точні, з урахуванням результатів досліджень теплових процесів із застосуванням ЕОМ, методики розрахунку складових рівняння теплового балансу наведені в роботі [16].

Для розрахунку теплоти в зоні зварювання роблять ряд припущень. Так, приймають, що середня температура в циліндрі, діаметром  $d_e$ , який наближено дорівнює діаметру ядра, і висотою, що дорівнює сумарній товщині двох деталей  $2s$ , приймається рівною температурі плавлення  $T_{пл}$ .

Вважається, що помітне підвищення температури металу в деталях через відведення в них теплоти  $Q_2$  спостерігається на відстані  $x_2$  від кордону циліндра, яке визначається часом зварювання  $t_{зв}$  і коефіцієнтом температуропровідності металу.

Визначення втрат тепла в електроди проводиться аналогічним чином. При цьому приймається, що за рахунок тепла  $Q_3$  нагрівається до середньої температури. Зі збільшенням часу точкового зварювання частка теплоти, що відводиться в навколишній метал і електроди, завжди збільшується, тобто зі збільшенням часу зварювання завжди зменшується ККД процесу нагріву.

Кількість теплоти  $Q_{EE}$ , яке потрібно для утворення точкового зварного з'єднання заданих розмірів, використовують в основному для наближеного визначення сили зварювального струму  $I_{зв}$ , що забезпечує виділення цієї теплоти.

## 1.2. Загальна характеристика та технічні умови до виробу

*Призначення виробу.* Виробом є відбивач – це деталь світильника типу РСП-20, яка призначена для відбивання променів світла і захисту електричної лампочки від пошкодження. Також відбивач світильника утворює захисний кут світильника для захисту очей від осліплення. Відбивач за допомогою гвинтів кріпиться до корпусу світильника. Із відбивача і інших комплектуючих на складальних дільницях складають світильники.

Світильник типу РСП-20 призначений для освітлення вологих і запилених виробничих приміщень і розрахований для роботи в мережі змінного струму з номінальною напругою 230В номінальної частоти 50Гц з номінальною напругою 220В номінальної частоти 50 і 60Гц при поставках на експорт в країни з помірним і тропічним кліматом.

Основними технічними умовами на виготовлення відбивача типу РСП-20 – є дотримання розмірів в межах допусків вказаних на кресленнях, дотримання правильності форми конструкції згідно креслень, дотримання всіх розрахункових і підібраних параметрів режиму зварювання, що вказані в технологічних картах на виготовлення виробу та дотримання правил техніки безпеки.

В місцях зварювання допускаються сліди від електродів. Грунтування, фарбування виробу повинні проводитись тільки після того, як даний виріб буде прийнято контролером.

*Характеристика матеріалу виробу.* Відбивач світильника РСП-20 виготовляється з маловуглицевої конструкційної якісної сталі марки Сталь 08кп у вигляді стрічки холоднокатаної товщиною 0,5мм і шириною 210мм.

В залежності 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, с.41].

*Вимоги до матеріалів і напівфабрикатів.* Для забезпечення високої якості зварних з'єднань необхідно використовувати якісні матеріали. Якість матеріалів та напівфабрикатів встановлюють на основі сертифікатів. При наявності зовнішніх дефектів, а також при відсутності на матеріали і напівфабрикати сертифікатів, матеріали допускаються до виробництва тільки після проведення хімічного аналізу, механічних випробувань і випробувань на зварюваність.

Матеріал з якого виготовляється виріб перевіряють на наявність дефектів. Оскільки відбивач світильника виготовляється з стрічки, то стрічку перевіряють на чистоту поверхні, наявність пор і усадочних раковин та тріщин, вм'ятин, відсутність покриття небажаного для даного технологічного процесу зварювання.

Оскільки для виготовлення виробу використовується вуглецева сталь, то в кресленнях необхідно вказувати:

- а) групу та категорію для сталей за ГОСТ 380-71 та ГОСТ 16523-70;
- б) вимоги за степені розкислення для сталей за ГОСТ 380-71.

Напівфабрикати та деталі необхідно зберігати в закритих приміщеннях на дерев'яних стелажах в бухтах. Наявність дефектів на поверхні сприяють затриманню та накопичення вологи та забруднень. Це прискорює утворення іржі і знижує стійкість металу проти корозії. З метою підвищення корозійної стійкості металу необхідно добиватись високої чистоти поверхні і повного згладжування дрібних нерівностей. Для захисту від надмірної вологості необхідно використовувати обезводнювальний засіб - силікагель. При



упакуванні 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 по- верхонь 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.* Складанням називається процес послідовного з'єднання деталей між собою в порядку вказаному в технологічних картах і закріплення їх між собою.

Складання має забезпечувати точне встановлення зварюваних деталей в відповідності з кресленнями, а також найкращі умови для зварювання.

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 отворами.

При складанні по попередній розмітці положення кожного елемента визначається за місцем нанесення на з'єднувальні елементи розмічувальних ліній.

При складанні по контрольним отворами, 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:

- а) не допустити перекосів і згинання кільця в маніпуляторі;
- б) не допускається грубе складання деталей з утворенням великих зазорів;
- в) небажане попадання забруднень в зону складання і зварювання виробу;
- г) 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.

### **1.3. Аналіз існуючого технологічного процесу і постановлення завдання на розроблення нового**

Даний зварний виріб складається із шести однакових деталей – штампованих фацет кінці яких зварені в напустку.

Для даного виробу існує технологічний процес виготовлення що складається із таких операцій:

- а) заготівельної;
- б) очищення;
- в) вирубування;
- г) складання;
- д) зварювання;
- е) зачищення;
- є) контроль якості;
- ж) фарбування;
- з) 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.

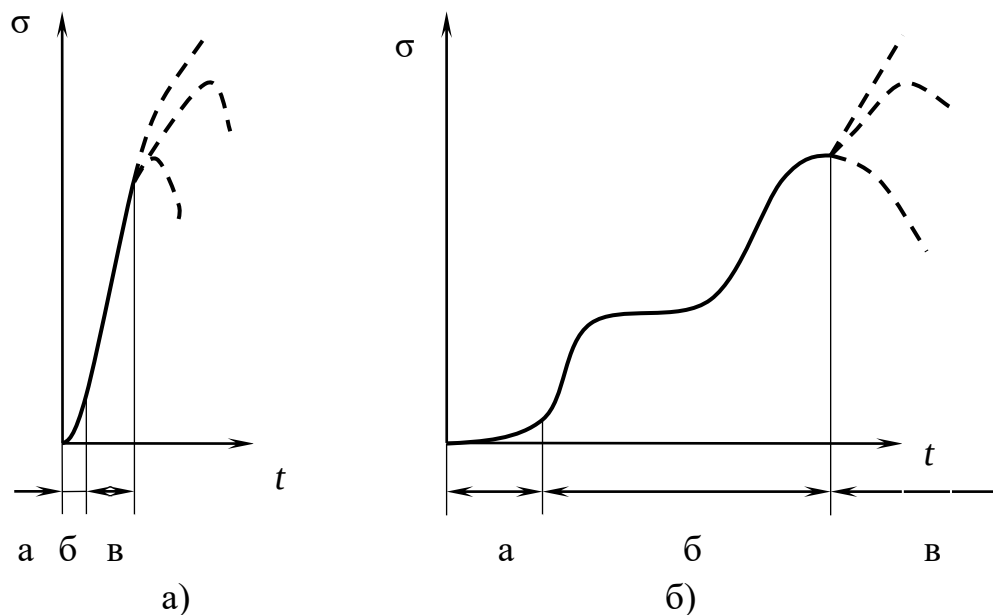
## 2. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1. Дослідження формування точкового зварного з'єднання

В процесі утворення точкового зварного з'єднання виділяють три основних стадії:

- а) формування фізичного контакту;
- б) утворення хімічних (металічних) зв'язків;
- в) розвиток різних релаксаційних процесів на границі отриманого з'єднання і в об'ємі деталей.

На рисунку 2.1 зображено графік кінетики зміни міцності з'єднання в рідкій і твердій фазі.



- а) зміна міцності в рідкій фазі;
  - б) зміна міцності в твердій фазі.
- а, б і в – стадії утворення з'єднання.

Рисунок 2.1 – Графік кінетики зміни міцності з'єднання в рідкій і твердій фазах

В кожній елементарній зоні тіла, ці процеси йдуть послідовно, а по відношенню до всіх з'єднаних поверхонь можуть розвиватися одночасно.

На першій стадії (а) починається зближення атомів. Усуваються нерівності і поверхневі плівки. Стадія закінчується формуванням фізичного контакту, тобто такого контакту тіл, в якому атоми знаходяться на відстані  $l_2$ , яка необхідна для початку міжатомної взаємодії (переборює електростатичні відштовхування електронів зовнішніх орбіт).

На другій стадії (б) проходить активація атомів, які переборюють енергетичний бар'єр схоплення, розвиваються квантові процеси електронної взаємодії, проходить об'єднання електронних оболонок, і створюється хімічні (металічні) зв'язки і утворюються зварне з'єднання. Ці процеси супроводжуються нагріванням і деформації деталей. Для контактного зварювання характерні високі температури з'єднуваних поверхонь і порівняно невеликі степені деформації.

Тривалість стадії (а) і (б) залежить від прийнятої форми активації тіл, від фізико-хімічних і механічних властивостей металів, режимів зварювання, стану поверхонь, склад зовнішнього середовища і інших факторів.

При термічній активації (точкове і шовне зварювання) фізичний контакт виникає практично одночасно з розплавленням і перемішуванням рідкого металу.

Перехід від стадії (а) до стадії (б) проходить не миттєво, а із деякою затримкою (період ретардації). Величина цього періоду також залежить від способу активації, властивостей металу, режимів зварювання.

При механічній активації він звичайно значно довший, чим при термічній. Практично при зварюванні з розплавленням хімічних зв'язків утворюється одночасно з утворенням фізичного контакту.

На третій стадії В через границю з'єднання починається взаємодія дифузії атомів, розвиваються супутні зварювальні процеси (зв'язані з нагріванням і деформацією металу), проходить кристалізація і охолодження з'єднання.

В ряді випадків на цій стадії проходить кристалізація і охолодження з'єднання (термооброблення та інше).

Кристалізація і охолодження з'єднання різко підвищують міцність

металевих зв'язків ( дивись рисунок 4.1 ). Однак різні супутні процеси міняють будову і властивості зони зварювання і в тій чи іншій мірі зменшують приріст міцності. В деяких випадках вони приводять до руйнування з'єднання (штрихові лінії на рисунку 2.1) [5].

## **2.2. Вибір і обґрунтування розрахункової схеми розподілу температур**

Більшість існуючих способів зварювання, основані на нагріванні матеріалу до пластичного стану або плавлення. Необхідну, для цього теплоту, отримують від джерела енергії, які відрізняються між собою по характеру виділення теплоти, потужності, тривалості дії, швидкості руху і іншим ознакам. Зварні вироби розрізняють між собою по властивостям матеріалу, формі і розмірам. Якщо прийняти до уваги умови при яких проходить зварювання, – підігрівання, штучне охолодження, тепловіддача, то кількість незалежних параметрів, які потребують розрахунку теплових процесів при зварюванні, виявляється доволі значними.

Одне із основних питань, які необхідні для розгляду тепловий процесів при зварюванні, – визначити умови, при яких досягається необхідне нагрівання виробу і його зварювання. Нагрівання і охолодження викликають різноманітні фізичні і хімічні процеси в матеріалі виробу – плавлення, кристалізацію, структурні перетворення, об'ємні зміни, появу напружень і пластичної деформації. Ці процеси приводять до глибоких змін властивостей і стану матеріалу і впливають на працездатність і якість всієї конструкції. Щоб визначити характер протікання вказаних процесів, необхідно знати розподіл температур в тілі і зміни його в часі в кожному окремому випадку [16].

Форми тіл, які нагріваються, дуже різноманітні. Розподіл теплоти суттєво залежить від форми і розмірів тіла. Точне врахування конфігурації тіла може привести до таких ускладнення розрахунку, що його використання буде утруднене. Тому в усіх випадках, коли другорядні особливості форми тіла не приводить до великих похибок розрахунку, доцільно спрощувати форми

розглядаючих тіл, зводять їх до простіших. Розуміється, грамотне використання такої схематизації повинно ґрунтуватися на чіткому розумінню фізичної суті процесів. Звичайно вибирають одну із основних схем.

Для корпусу екрану пуско-регулюючої апаратури світильників приймаємо схему напівбезкінечної пластини, яке представляє собою тіло, обмежене двома паралельними площинами  $z = 0$ ,  $z = \delta$  і площиною  $y = 0$ . При використанні цієї схеми завжди припускають, що температура по товщині листа рівномірна, а теплота може розповсюджуватися тільки в площинах з координатними осями  $x$  і  $y$ . На рисунку 2.2 показано розрахункову схему напівбезкінечної пластини.

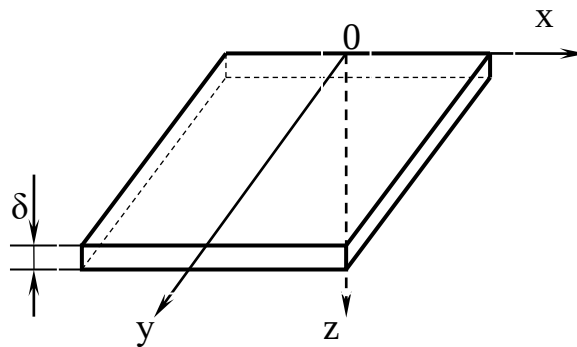


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема напівбезкінечної пластини

Нагрівання тіла може здійснюватися різноманітними джерелами теплоти, які відрізняються між собою по розподіленні, часу дії і руху їх відносно тіла. При визначених умовах всі різноманітні джерела теплоти можна отримати, користуючись миттєвим точковим джерелом теплоти.

Миттєве точкове джерело теплоти – поняття абстрактне. Фізичну схему, яка є прикладом миттєвого джерела теплоти, можна вважати такою, при якій в дуже малий об'єм за малий проміжок часу вводиться деяка кількість теплоти  $Q$ . Формально таке введення теплоти можна розглядати, як граничну умову при якій  $t=0$ , коли разом задається розподілення теплоти в тілі. Дійсно, якщо прийняти, що у всіх точках тіла, крім однієї, тепловміст рівний нулю, а в точці з координатами  $x_0$ ,  $y_0$ ,  $z_0$  при  $t=0$  міститься кількість теплоти  $Q$ , то буде мати



випадок миттєвого джерела теплоти. В наступні моменти часу теплота буде розповсюджуватися по тілу, по закону теплопровідності.

Головна особливість джерел теплоти – характер розподілу і інтенсивність теплових потоків, які направлені до зварювального або нагрітого тіла. Відмітимо, що теплота може або передаватися тілу через поверхню металу, або виділяється на поверхні металу і в тонких приповерхневих шарах, або генерується в глибину металу.

Для корпусу екрану пуско-регулюючої апаратури світильників приймаємо миттєве плоске кругле джерело теплоти, яке представляє собою сукупність миттєвих точкових джерел теплоти, які діють одночасно і розміщені в одній площині. Розподіл теплоти  $Q$  при  $t=0$  може мати різний характер. Під миттєвим плоским джерелом звичайно розуміють рівномірне розподілення  $Q$  по перерізу. В випадку нормального розподілу  $Q$  по колу мають миттєве нормальне кругове плоске джерело.

В випадку кругового джерела теплоти розподілення теплового потоку описується криво Гауса ( нормальним законом)

$$q_2 = q_{2m} e^{-kr^2}, \quad (2.1)$$

де,  $q_{2m}$  – найбільший тепловий потік в центрі п'ятна нагрівання;

$k$  – коефіцієнт з концентрованого теплового потоку джерела;

$r$  – радіальна відстань від розглядаючої точки до осі.

Якщо коефіцієнт з сконцентрованості  $k$  великий, то в ряді випадків джерело теплоти рахують лінійним, зневажаючи його розподілення по площинах  $xu$ . Числові значення  $q_{2m}$  і  $k$  підбираються так, щоб розподілення теплового потоку по рівнянні ( 2.1 ) найбільш близько відповідало фактичному розподілу, який визначає величину дослідним шляхом.

Метал при контактному зварюванні піддається термомеханічному впливу, який викликає вплив на властивості металу ядра і розташованого навколо нього металу біляшовної зони. При точковому і шовному зварюванні супутні по відношенню до основних процесів рахуються наступні [16]:

- виникнення залишкових напружень і деформацій при охолодженні металу;
- зміна об'єму металу при нагріванні і охолодженні;
- дія теплоти і пластичної деформації на метал біляшовної зони;
- взаємодія металів в контакті електрод–деталь.

Протікання супутніх процесів може викликати появу різних тяжко виправних дефектів з'єднань – тріщини, рихлість, виплески. Чутливість до виникнення цих дефектів може в визначеній степені регулюватися через технологічні фактори і в частково, вибором програми нагрівання і деформації металу [16].

При зварюванні розрізняють електричне і температурне поле.

Електричне поле в умовах контактного зварювання симетричне відносно осі  $z$ . Змінні потенціали  $\phi$  і густина струму  $j$  залежать лише від координат  $z$  і  $r$  і електричне поле визначається розподілом потенціалів або густини струму в перерізі, який проходить через вісь  $z$ .

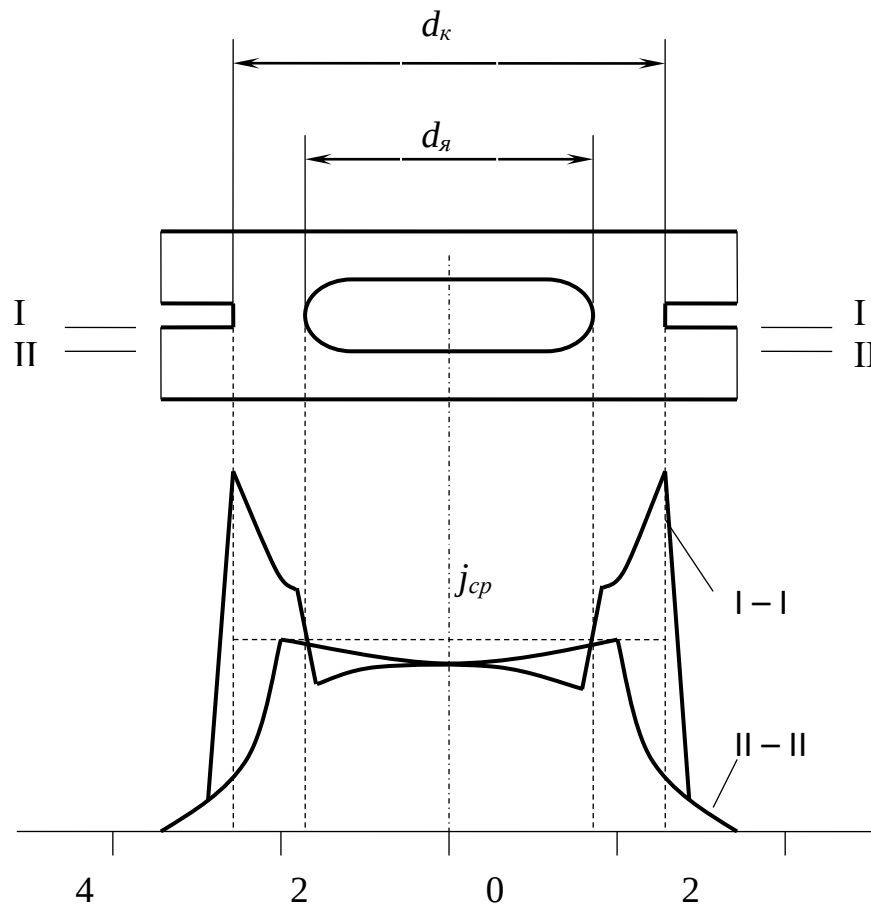
Для описання електричного поля використовують еквіпотенціальний і еквіструмові лінії, а також звичайні графіки залежності змінних від координат точок.

Еквіпотенціальні лінії являють собою геометричне місце точок, які мають один і той же потенціал. Еквіструмові лінії (або просто лінії струму) обмежують об'єми тіла, через які протікають визначені долі струму. Очевидно чим густіше лінії струму в даному перерізі, тим вища густина струму.

Суттєве нерівномірне електричне поле в деталях визначаються двома факторами:

- геометричним фактором, який зв'язаний з своєрідною геометрією з'єднання, яке характеризується обмеженістю контактів деталей–деталь і електрод–деталь по порівнянні з розмірами деталей і електродів;
- температурним фактором, який зв'язаний з присутністю нерівномірного температурного поля із проявленням ефекту обтікання струму більш нагрітих ділянок, які відрізняються підвищеним опором [16].

Розглянемо, як впливає нерівномірне розподілення температур на електричне поле. При нагріванні металу і підвищенні його опору струм прагне обтікати ці області і густина струму в них падає. На рисунку 2.3 зображено графік залежності густини струму  $j$  від  $r$  при наявності розплавленого ядра.



$d_я$  – діаметр ядра;

$j_{cp}$  – середня густина струму.

Рисунок 2.3 – Графік розподілу густини струму по осі  $r$  при присутності розплавленого ядра; опір  $R_{ед}$  і  $R_{лд}$  рівні нулю

При цій умові прийнято, що питомий електричний опір металу ядра в 2 рази перевищує опір навколо твердого металу. Найменша густина струму спостерігається в ядрі – в перерізі I – I; зразу за його границею густина струму різко підвищується. Крім вказаних факторів на розподіл густини струму може мати вплив поверхневий ефект (при зварюванні змінним струмом промислової і підвищеної частоти) і ефект стиску ліній струму власним магнітним полем [16].

Температурне поле визначає протікання основних і супутніх процесів зварювання. Знаючи характер температурного поля, можна кількісно описати розвиток процесів нагрівання і деформацій, стадію охолодження металу і тим самим прогнозувати зміну структури, величину залишкових напружень і також властивості з'єднання. Температурне поле – сукупність температур в різних точках деталі в різні моменти часу – визначаються з однієї сторони, процесами тепловиділення, з іншої – тепловідведенням в сусідні ділянки основного металу і електроди або ролики [ 17].

Температурне поле – це розподіл температур в тілі в конкретний момент часу; воно виражається, як абсолютні температурі (  $T$  ), так і в прирості температур (  $\Delta T$  ) по відношенню до початкової температури тіла  $T_{\text{поч.}}$ . В загальному випадку температурне поле може бути функцією не тільки координат  $x, y, z$  окремих точок, але і часу  $t$  [ 17 ]:

$$T = T(x, y, z, t). \quad (2.2)$$

Формула (2.2) описує об'ємне температурне поле. Воно може бути плоским  $T = T(x, y, t)$ , або лінійним  $T = T(x, t)$ , для зручності температурне поле представляють графічно у вигляді ізотерм. Ізотермічна поверхня або ізотермічні лінії називаються геометричне місце точок тіла, які мають однакову температуру. Від точки до точки температура може змінюватися.

Температурне поле при точковому і шовному зварюванні відрізняється надзвичайно швидкою зміною температури в часі і досить значною нерівномірністю. Як і електричне поле, температурне поле при точковому зварюванні симетричне відносно осі  $z$  і температура залежить лише від двох координат:  $z$  і  $r$ . Для описання поля температур звичайно використовують ізотерми, які розміщенні в проходячи через вісь  $z$  перерізу.

В силу вказаної симетрії ізотерми в перерізах, паралельні поверхням деталі, і мають форму кіл. При зварюванні деталей однакової товщини плавлення проходить в області, яка прилягає до контакту деталей (в найбільш гарячій зоні) і відрізняється підвищеною густиною струму, порівняно малим

градієнтом температур і відносно невеликим теплообміном з електродами.

В залежності від часу нагрівання (тривалості імпульсу струму) умовно розрізняють жорсткі і м'які режими зварювання. Жорсткі режими характеризуються потужним імпульсом струму і малою тривалістю (звичайно менше 0,1 с для товщини 0,8 – 4 мм). Нагрівання при цьому супроводжується досить високими градієнтами температур і визначається в основному розподілом густини струму. Зона максимальних температур (наприклад,  $T_{nl}$ ) в цьому випадку зміщується до границі контактів (дивись рисунок 4.3) [17].

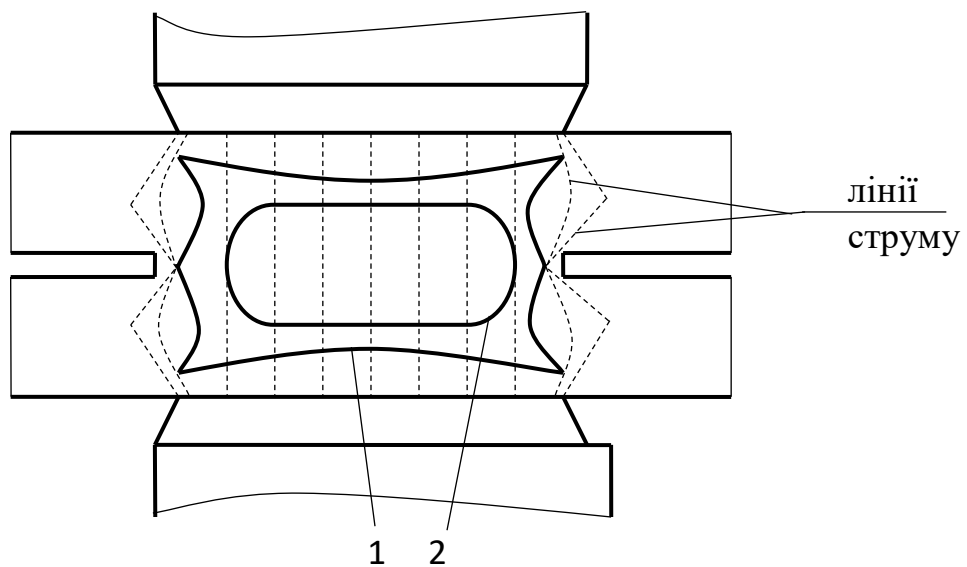


Рисунок 2.3 – Процес формування ядра при зварюванні на жорстких (1) і м'яких (2) режимах зварювання

М'які режими характеризуються значною тривалістю протікання струму, при значній ролі теплообміну в самих деталях і електродах. Ізотерми високих температур представляються у вигляді еліпсів. Тривалість нагрівання металу при м'яких режимах суттєво міняє початкове електричне поле. Області, відрізняються підвищеною густиною струму, нагріваються, їх опір підвищується, що приводить до перерозподілу струму, вирівнювання нерівномірності електричного і теплового полів і зміщення зони максимальних температур від периферії до центру контакту. Нерівномірність нагрівання зменшується також в результаті пластичної деформації металу і зв'язаної з нею

ефекту саморегулювання температурного поля. Наприклад: підвищення густини струму і температури на границі контакту приводить до зменшення опору пластичної деформації. Витікаючий в зазор метал збільшує площу контакту, і інтенсивність нагрівання в цій зоні знижується.

Розплавлене ядро утворюється лише через деякий час з моменту ввімкнення струму, який складає в середньому  $(0,3 \dots 0,5)t_{зв}$ . Затим ядро починає рости, досягаючи визначених режимом розмірів. При цьому з збільшенням крутизни фронту наростання струму швидкість росту ядра збільшується. Звичайно температурне поле розглядається в момент виключення струму, так як в цей час температури, як правило досягають максимальних значень [5].

Температурне поле і розміри ядра можна регулювати за рахунок зміни величини енергетичних параметрів – струму, тривалості його протікання і зусилля стиску електродів. Збільшення струму приводить до росту ядра. Однак при даних довготривалих імпульсах і зусиль діаметр ядра має межу ( критичне ) значення, так як подальше підвищення струму приводить до викиду рідкого металу або виплесків. З ростом зусилля ядро зменшується за рахунок розвитку пластичної деформації, зменшення площі контактів і зниження густини струму.

### 2.3. Розрахунок і дослідження температурного поля

Джерело контактного точкового зварювання володіє високою концентрацією теплоти, тому його розглядають як з концентроване.

При точковому зварюванні теплота, яка виділяється в зоні між електродами, розходить на нагрівання зварюваного металу, і на нагрівання ділянки електродів, які прилягають до зони зварювання.

Теплота, яка йде на нагрівання зварюваного металу, складається із: введена теплота в метал після закінчення зварювання і розведення електродів розповсюджується в пластинах і віддається в навколишнє середовище, розраховується за формулою [18]:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2.3)$$

де  $Q_1$  – теплота, яка затрачається на розплавлення стовпа металу зварювальних листів товщиною  $2\delta$ , який знаходиться між електродами діаметром  $d_s$ , яка розраховується за формулою (2.7) і рівна:  $Q_1 = 116,6 \text{ Дж}$ .

$Q_2$  – теплота, яка затрачається на нагрівання кільця металу шириною  $x$ , який оточує центральний стовп. Умовно приймають, що об'єм цього кільця  $\pi \cdot x_2 \cdot (d_s + x_2) \cdot 2\delta$ , а середня температура нагрівання металу  $\frac{T_{nл}}{4}$ , яка розраховується за формулою (2.9) і рівна:  $Q_2 = 70,5 \text{ Дж}$ .

$$Q = 116,5 + 70,5 = 187 \text{ Дж}.$$

Температурне поле на цій стадії описується схемою миттєвого нормального круглого джерела теплоти в пластині з тепловідачою визначається за формулою:

$$\Delta T = \frac{Q/(2\delta)}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (t_0 + t)} \cdot e^{-r^2 / ([4 \cdot a \cdot (t_0 + t)] - \alpha \cdot t / (c \cdot \rho \cdot \delta))}, \quad (2.4)$$

де,  $\delta$  – товщина зварюваних пластин, мм;

$\lambda$  – температуропровідність, Вт/(м·К). Приймаємо для сталі  $\lambda = 63 \text{ Вт/(м·К)}$ .

$t$  – час, який пройшов після виключення струму і розведенні електродів, с;

$t_0$  – постійна часу, яка характеризує розподіл теплоти в пластині по радіусу в момент виключення струму, с;

$r$  – радіальна відстань від розглядаючої точки до осі, м;

$a$  – температуропровідність,  $\text{см}^2/\text{с}$ . Приймаємо для сталей  $a = 0,08 \text{ см}^2/\text{с}$ , [9];

$c$  – теплоємність зварюваного металу, Дж/(кг·К). Приймаємо  $c = 482 \text{ Дж/(кг·К)}$ ;

$\rho$  – густина зварюваного матеріалу,  $\text{кг/м}^3$ . Приймаємо  $\rho = 7871 \text{ кг/м}^3$ .

$\alpha$  – температурний коефіцієнт зміни опору. Для сталей приймають  $\alpha_p = 0,004 \text{ } \frac{1}{\text{град}}$  [5, с.26].

З врахуванням температури середовища:

$$T = \frac{Q/(2\delta)}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (t_0 + t)} \cdot e^{-r^2 / ([4 \cdot a \cdot (t_0 + t)] - \alpha \cdot t / (c \cdot \rho \cdot \delta))} + T_c, \quad (2.5)$$

де  $T_c$  – температура навколишнього середовища, К. Приймаємо  $T_c = 293$  К.

Розрахунок по формулі ( 2.5 ) проводимо в програмі пакету MathCAD 2001 Rus, отримані значення заносимо в таблицю 2.1. За цими даними будемо графік приросту температур по радіусу  $r$  в різні моменти часу  $t$  в процесі розповсюдження теплоти від миттєвого нормального кругового джерела теплоти в пластині, який показаний на рисунку 2.4.

Таблиця 2.1 – Результат розрахунку приросту температури по радіусу  $r$  в різні моменти часу  $t$ , в процесі розповсюдження теплоти від миттєвого нормального кругового джерела теплоти в пластині

|       | 0,05 | 0,10 | 0,125 | 0,15 | 0,175 | 0,20 | 0,25 | 0,3  | 0,4 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 1,5 | 2   | 3   |
|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| -2,0  | 293  | 293  | 293   | 293  | 293   | 293  | 293  | 293  | 293 | 293  | 293  | 293 | 293 | 294 | 295 |
| -1,5  | 293  | 293  | 293   | 293  | 293   | 293  | 293  | 293  | 293 | 293  | 293  | 294 | 296 | 300 | 306 |
| -1,0  | 293  | 293  | 293   | 293  | 293   | 293  | 293  | 294  | 296 | 298  | 307  | 315 | 328 | 334 | 338 |
| -0,95 | 293  | 293  | 293   | 293  | 293   | 293  | 294  | 295  | 298 | 301  | 312  | 322 | 335 | 341 | 342 |
| -0,9  | 293  | 293  | 293   | 293  | 294   | 294  | 295  | 297  | 301 | 306  | 319  | 330 | 343 | 347 | 347 |
| -0,85 | 293  | 293  | 294   | 294  | 294   | 295  | 297  | 299  | 305 | 312  | 328  | 340 | 352 | 355 | 352 |
| -0,8  | 293  | 294  | 294   | 295  | 296   | 297  | 300  | 304  | 313 | 321  | 340  | 352 | 362 | 363 | 357 |
| -0,75 | 294  | 295  | 296   | 298  | 299   | 302  | 306  | 312  | 323 | 334  | 354  | 365 | 372 | 371 | 362 |
| -0,7  | 294  | 298  | 300   | 302  | 305   | 309  | 316  | 323  | 338 | 350  | 371  | 381 | 384 | 379 | 367 |
| -0,65 | 297  | 303  | 307   | 311  | 316   | 321  | 331  | 341  | 358 | 371  | 391  | 398 | 396 | 388 | 372 |
| -0,6  | 303  | 314  | 320   | 327  | 334   | 341  | 354  | 366  | 385 | 398  | 414  | 417 | 409 | 397 | 377 |
| -0,55 | 315  | 334  | 344   | 353  | 363   | 371  | 387  | 400  | 419 | 431  | 441  | 438 | 422 | 406 | 382 |
| -0,5  | 340  | 369  | 383   | 394  | 406   | 416  | 432  | 445  | 462 | 469  | 470  | 459 | 435 | 415 | 387 |
| -0,45 | 387  | 425  | 441   | 455  | 467   | 477  | 492  | 502  | 512 | 513  | 501  | 482 | 449 | 424 | 391 |
| -0,4  | 467  | 511  | 527   | 540  | 550   | 557  | 567  | 571  | 570 | 562  | 533  | 505 | 462 | 432 | 395 |
| -0,35 | 592  | 631  | 643   | 651  | 655   | 657  | 656  | 651  | 634 | 614  | 566  | 527 | 474 | 440 | 399 |
| -0,3  | 771  | 788  | 789   | 786  | 781   | 774  | 757  | 738  | 701 | 666  | 598  | 549 | 485 | 447 | 403 |
| -0,25 | 1004 | 977  | 959   | 940  | 920   | 901  | 863  | 828  | 768 | 718  | 628  | 568 | 496 | 453 | 406 |
| -0,2  | 1278 | 1185 | 1141  | 1101 | 1064  | 1030 | 968  | 916  | 830 | 765  | 654  | 585 | 504 | 458 | 408 |
| -0,15 | 1561 | 1388 | 1317  | 1254 | 1198  | 1148 | 1063 | 993  | 885 | 806  | 677  | 599 | 511 | 463 | 410 |
| -0,1  | 1813 | 1561 | 1464  | 1381 | 1308  | 1245 | 1139 | 1054 | 927 | 837  | 693  | 610 | 516 | 466 | 412 |
| -0,05 | 1987 | 1678 | 1562  | 1464 | 1380  | 1308 | 1188 | 1094 | 954 | 856  | 704  | 616 | 520 | 468 | 413 |



|      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0    | 2049 | 1719 | 1597 | 1494 | 1406 | 1330 | 1205 | 1107 | 963 | 863 | 707 | 618 | 521 | 468 | 413 |
| 0,05 | 1987 | 1678 | 1562 | 1464 | 1380 | 1308 | 1188 | 1094 | 954 | 856 | 704 | 616 | 520 | 468 | 413 |
| 0,1  | 1813 | 1561 | 1464 | 1381 | 1308 | 1245 | 1139 | 1054 | 927 | 837 | 693 | 610 | 516 | 466 | 412 |
| 0,15 | 1561 | 1388 | 1317 | 1254 | 1198 | 1148 | 1063 | 993  | 885 | 806 | 677 | 599 | 511 | 463 | 410 |
| 0,2  | 1278 | 1185 | 1141 | 1101 | 1064 | 1030 | 968  | 916  | 830 | 765 | 654 | 585 | 504 | 458 | 408 |
| 0,25 | 1004 | 977  | 959  | 940  | 920  | 901  | 863  | 828  | 768 | 718 | 628 | 568 | 496 | 453 | 406 |
| 0,3  | 771  | 788  | 789  | 786  | 781  | 774  | 757  | 738  | 701 | 666 | 598 | 549 | 485 | 447 | 403 |
| 0,35 | 592  | 631  | 643  | 651  | 655  | 657  | 656  | 651  | 634 | 614 | 566 | 527 | 474 | 440 | 399 |
| 0,4  | 467  | 511  | 527  | 540  | 550  | 557  | 567  | 571  | 570 | 562 | 533 | 505 | 462 | 432 | 395 |
| 0,45 | 387  | 425  | 441  | 455  | 467  | 477  | 492  | 502  | 512 | 513 | 501 | 482 | 449 | 424 | 391 |
| 0,5  | 340  | 369  | 383  | 394  | 406  | 416  | 432  | 445  | 462 | 469 | 470 | 459 | 435 | 415 | 387 |
| 0,55 | 315  | 334  | 344  | 353  | 363  | 371  | 387  | 400  | 419 | 431 | 441 | 438 | 422 | 406 | 382 |
| 0,6  | 303  | 314  | 320  | 327  | 334  | 341  | 354  | 366  | 385 | 398 | 414 | 417 | 409 | 397 | 377 |
| 0,65 | 297  | 303  | 307  | 311  | 316  | 321  | 331  | 341  | 358 | 371 | 391 | 398 | 396 | 388 | 372 |
| 0,7  | 294  | 298  | 300  | 302  | 305  | 309  | 316  | 323  | 338 | 350 | 371 | 381 | 384 | 379 | 367 |
| 0,75 | 294  | 295  | 296  | 298  | 299  | 302  | 306  | 312  | 323 | 334 | 354 | 365 | 372 | 371 | 362 |
| 0,8  | 294  | 295  | 296  | 298  | 299  | 302  | 306  | 312  | 323 | 334 | 354 | 365 | 372 | 371 | 362 |
| 0,85 | 293  | 293  | 294  | 294  | 294  | 295  | 297  | 299  | 305 | 312 | 328 | 340 | 352 | 355 | 352 |
| 0,9  | 293  | 293  | 293  | 293  | 294  | 294  | 295  | 297  | 301 | 306 | 319 | 330 | 343 | 347 | 347 |
| 0,95 | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 294  | 295  | 298 | 301 | 312 | 322 | 335 | 341 | 342 |
| 1,0  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 294  | 296 | 298 | 307 | 315 | 328 | 334 | 338 |
| 1,5  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293 | 293 | 293 | 294 | 296 | 300 | 306 |
| 2,0  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293  | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | 294 | 295 |

При нагріванні пластини, нормальним круговим джерелом теплоти, розподілення температур по її товщині згідно з рівняння (2.5) буде рівномірним.

Слід відмітити, що в дійсності із-за тепловіддачі спостерігається нерівномірне розподілення температур по її товщині.

Визначимо, приріст температур, в граничному стані в тонкій пластині у момент введення теплоти миттєвим нормальним круговим джерелом теплоти, яке тривало протягом часу  $\delta t$ .

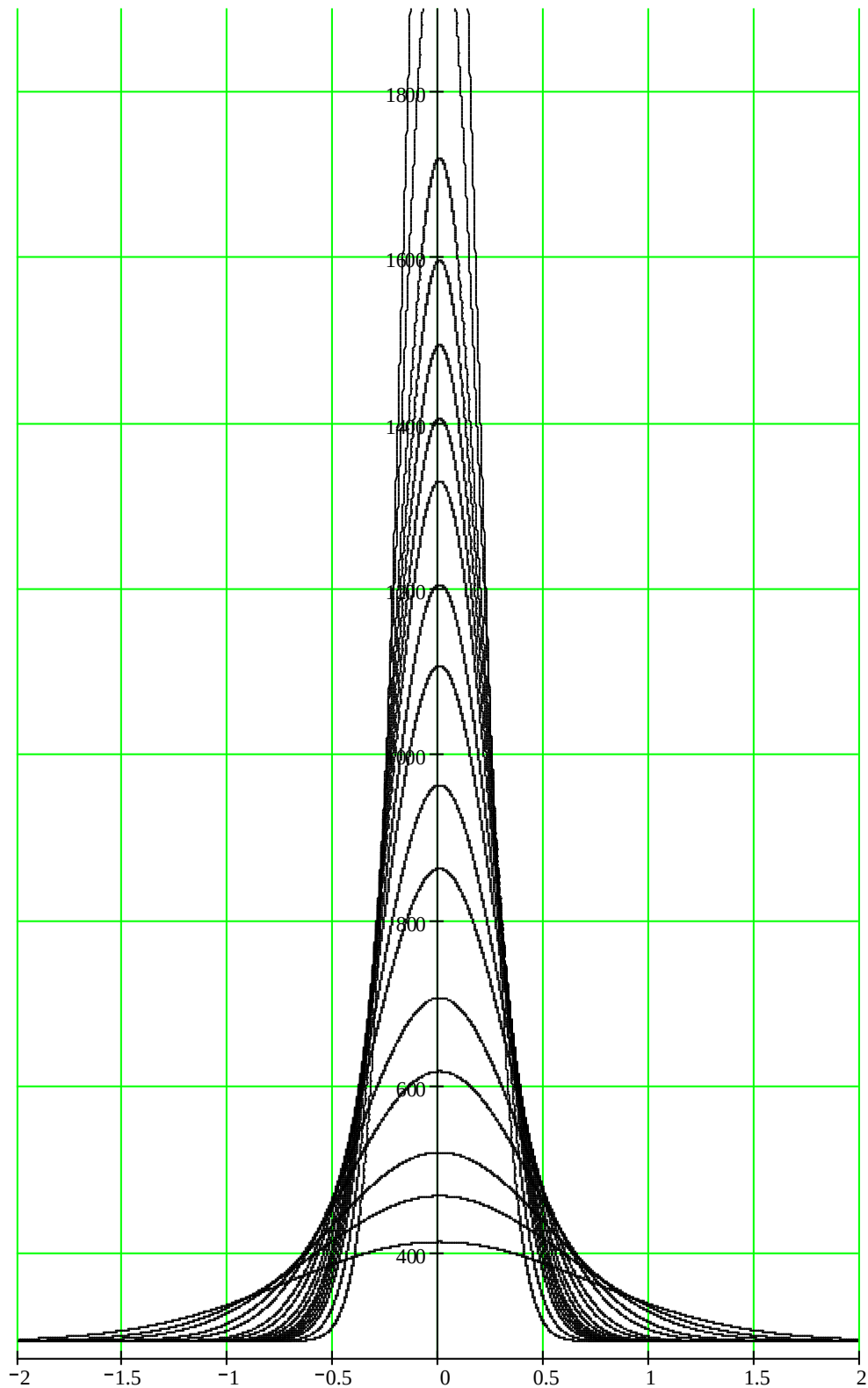


Рисунок 2.4 – Графік приросту температури по радіусу  $r$  в різні моменти часу  $t$ , в процесі розповсюдження теплоти від миттєвого нормального кругового джерела теплоти в пластині

$$\partial T = \frac{q_2 \cdot \partial t}{c\rho\delta}. \quad (2.6)$$

Підставивши значення  $q_2$  із рівняння (2.1), отримаємо

$$\partial T = \frac{q_{2m} \cdot \partial t}{c\rho\delta} \cdot e^{-kr^2}. \quad (2.7)$$

Виявляється, що розподіл температур в пластині стає таким же через деякий час  $t_0$  після введення теплоти миттєвим лінійним джерелом теплоти, тобто

$$\partial T = \frac{\partial Q / \delta}{c\rho(4\pi at_0)} \cdot e^{-r^2 / (4at_0)}, \quad (2.8)$$

Прирівнявши показники степенів в формулах ( 4.7 ) і ( 4.8 ) знаходимо, що

$$t_0 = \frac{1}{(4ak)}, \quad (2.9)$$

Прирівнявши перші співмножники формул (2.7) і (2.8), після перетворення отримуємо

$$\partial Q = q \partial t, \quad (2.10)$$

Тобто миттєва кількість теплоти  $\partial Q$  з концентрованого джерела рівно кількості теплоти, введеної нормальним круговим джерелом теплоти за час  $\partial t$ .

Таким чином миттєве розподілення джерелом теплоти можна замінити з концентрованим лінійним джерелом, теплота яка введена за час  $t_0$  раніше.

Згідно рівняння

$$\Delta T = \frac{Q / \delta}{c\rho(4\pi at_0)} \cdot e^{-r^2 / (4at) - bt}, \quad (2.11)$$

де  $b$  – коефіцієнт температуровіддачі пластини.

Процес розповсюдження теплоти від миттєвого розподіленого джерела з врахуванням  $t_0$  виражається рівнянням:

$$\partial T = \frac{q \partial t}{c \rho 4 \pi a (t_0 + t)} \cdot e^{-r^2 / [4a(t+t_0)]}, \quad (2.12)$$

де  $t$  – час, який пройшов з моменту введення теплоти нормального кругового джерела.

З врахуванням тепловіддачі, яка проходить протягом часу  $t$

$$\partial T = \frac{q \partial t}{c \rho 4 \pi a (t_0 + t)} \cdot e^{-r^2 / [4a(t+t_0)] - b(t+t_0)} e^{bt_0}. \quad (2.13)$$

Якщо теплота нормального кругового джерела теплоти введена на поверхню напівбезкінечного тіла, а затим розповсюджується по ньому, то цей процес формально можна представити, як процес розповсюдження теплоти від миттєвого точкового джерела теплоти на поверхні напівбезкінечного тіла з тим, при умові, що теплота протягом часу  $t_0$  розповсюдиться тільки на поверхні тіла, а затим продовжується розповсюджуватися і по поверхні і в глибину в напрямку осі  $OZ$ .

Такий процес виражається за формулою

$$\partial T = \frac{2q \cdot \partial t}{c \rho} \cdot \frac{e^{-r^2 / [4a(t+t_0)]}}{4\pi \cdot a(t+t_0)} \cdot \frac{e^{-z^2 / (4a \cdot t)}}{(4\pi \cdot a \cdot t)^{1/2}} \quad (2.14)$$

Проводимо інтегрування отримаємо:

$$\Delta T = \frac{2 \cdot Q}{c \rho} \cdot \frac{e^{-r^2 / [4a(t+t_0)]}}{4\pi \cdot a(t+t_0)} \cdot \frac{e^{-z^2 / (4a \cdot t)}}{(4\pi \cdot a \cdot t)^{1/2}}. \quad (2.15)$$

З врахуванням температури навколишнього середовища:

$$T = \frac{2 \cdot Q}{c \rho} \cdot \frac{e^{-r^2 / [4a(t+t_0)]}}{4\pi \cdot a(t+t_0)} \cdot \frac{e^{-z^2 / (4a \cdot t)}}{(4\pi \cdot a \cdot t)^{1/2}} + T_c. \quad (2.16)$$

Розрахунок по формулі ( 2.16 ) проводимо в програмі пакету MathCAD 2001 Rus, отримані значення заносимо в таблицю 2.2. За цими даними будуємо графік температурного поля в граничному стані від миттєвого нормального кругового джерела теплоти в пластині,  $t=0,066$  с, який показаний на рис. 2.5.

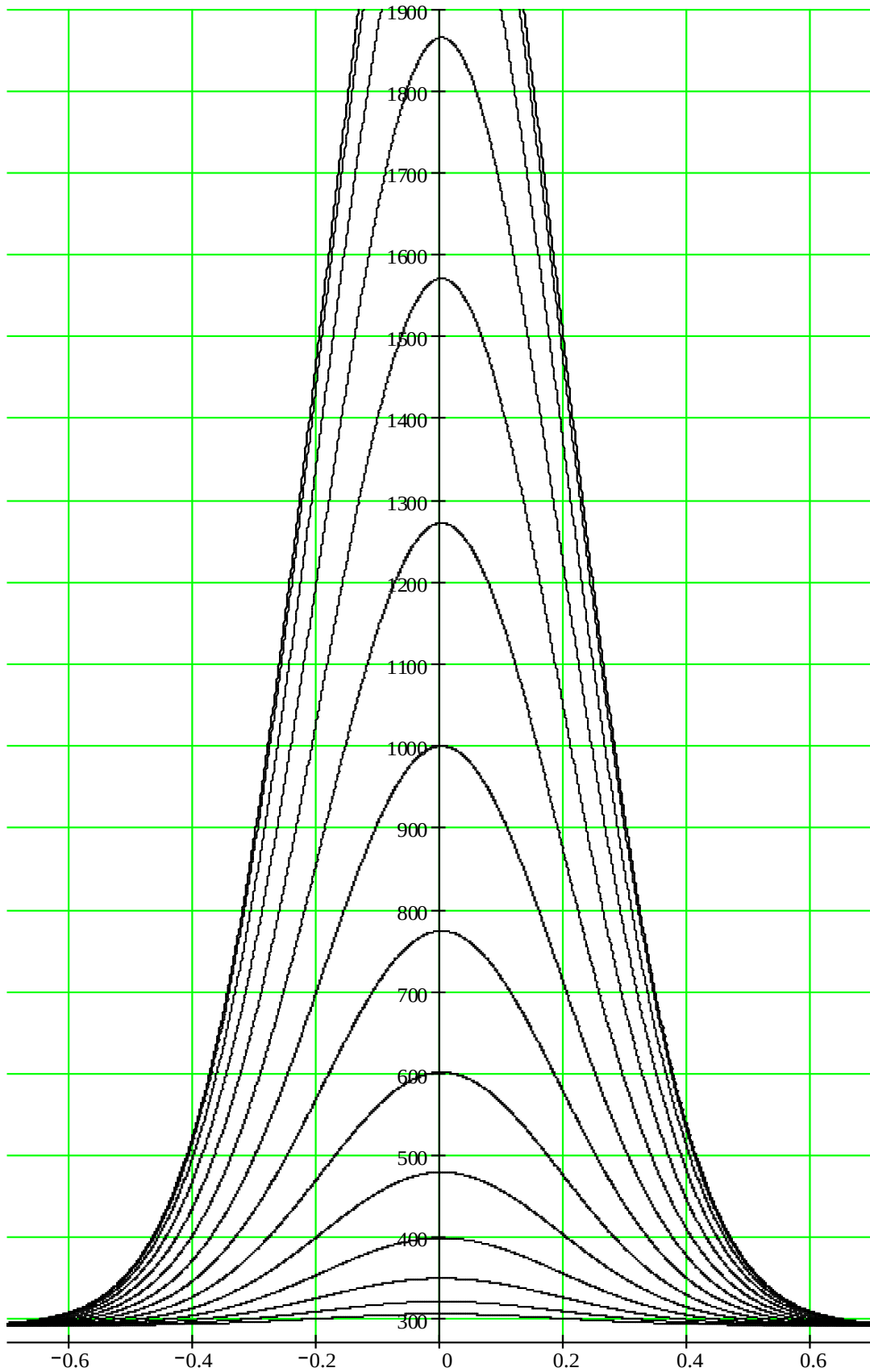


Рисунок 2.5 – Графік розрахованого температурного поля в граничному стані від миттєвого нормального кругового джерела теплоти в пластині,  $t=0,066$  с.

Таблиця 2.2 – Результат розрахунку температурного поля в граничному стані від миттєвого нормального кругового джерела теплоти в пластині,  $t = 0,066$  с.

|           | 0,01<br>0 | 0,02<br>5 | 0,05<br>0 | 0,07<br>5 | 0,100 | 0,125 | 0,15<br>0 | 0,175 | 0,20<br>0 | 0,225 | 0,25<br>0 | 0,275 | 0,30<br>0 | 0,325 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| -<br>0,70 | 296       | 296       | 295       | 295       | 295   | 294   | 294       | 294   | 293       | 293   | 293       | 293   | 293       | 293   |
| -<br>0,66 | 299       | 299       | 298       | 297       | 297   | 296   | 295       | 294   | 294       | 294   | 293       | 293   | 293       | 293   |
| -<br>0,62 | 305       | 304       | 303       | 302       | 300   | 299   | 297       | 296   | 295       | 294   | 294       | 293   | 293       | 293   |
| -<br>0,58 | 315       | 314       | 313       | 310       | 307   | 304   | 301       | 298   | 296       | 295   | 294       | 294   | 293       | 293   |
| -<br>0,54 | 333       | 332       | 329       | 324       | 318   | 312   | 307       | 302   | 299       | 297   | 295       | 294   | 294       | 293   |
| -<br>0,50 | 363       | 362       | 356       | 347       | 337   | 327   | 317       | 310   | 304       | 299   | 297       | 295   | 294       | 293   |
| -<br>0,46 | 411       | 408       | 398       | 384       | 367   | 350   | 334       | 321   | 311       | 304   | 299       | 296   | 295       | 294   |
| -<br>0,42 | 483       | 478       | 462       | 439       | 412   | 384   | 359       | 338   | 322       | 310   | 303       | 298   | 296       | 294   |
| -<br>0,38 | 585       | 578       | 554       | 518       | 476   | 433   | 394       | 362   | 337       | 320   | 308       | 301   | 297       | 295   |
| -<br>0,34 | 723       | 713       | 677       | 624       | 562   | 499   | 442       | 394   | 358       | 332   | 315       | 305   | 299       | 296   |
| -<br>0,30 | 901       | 886       | 835       | 761       | 673   | 584   | 503       | 436   | 385       | 349   | 325       | 310   | 302       | 297   |
| -<br>0,26 | 1115      | 1094      | 1026      | 925       | 807   | 687   | 577       | 487   | 417       | 368   | 336       | 316   | 305       | 299   |
| -<br>0,22 | 1357      | 1331      | 1243      | 1112      | 959   | 803   | 661       | 544   | 454       | 390   | 348       | 323   | 308       | 300   |
| -<br>0,18 | 1613      | 1581      | 1471      | 1309      | 1119  | 926   | 750       | 604   | 493       | 414   | 362       | 330   | 312       | 302   |
| -<br>0,14 | 1861      | 1823      | 1693      | 1500      | 1274  | 1045  | 836       | 663   | 530       | 436   | 375       | 337   | 315       | 304   |
| -<br>0,10 | 2078      | 2034      | 1880      | 1667      | 1410  | 1148  | 911       | 714   | 583       | 456   | 380       | 343   | 318       | 305   |
| -<br>0,08 | 2167      | 2121      | 1965      | 1735      | 1465  | 1191  | 942       | 735   | 576       | 464   | 391       | 345   | 320       | 306   |
| -<br>0,06 | 2239      | 2191      | 2030      | 1791      | 1511  | 1226  | 967       | 452   | 587       | 471   | 394       | 347   | 321       | 306   |
| -<br>0,04 | 2292      | 2243      | 2077      | 1832      | 1544  | 1251  | 985       | 764   | 595       | 476   | 397       | 349   | 321       | 307   |
| -<br>0,02 | 2324      | 2274      | 2106      | 1857      | 1564  | 1267  | 996       | 772   | 600       | 479   | 399       | 350   | 322       | 307   |
| 0         | 2335      | 2285      | 2116      | 1865      | 1571  | 1272  | 1000      | 774   | 602       | 480   | 399       | 350   | 322       | 307   |
| 0,02      | 2324      | 2274      | 2106      | 1857      | 1564  | 1267  | 996       | 772   | 600       | 479   | 399       | 350   | 322       | 307   |
| 0,04      | 2292      | 2243      | 2077      | 1832      | 1544  | 1251  | 985       | 764   | 595       | 476   | 397       | 349   | 321       | 307   |
| 0,06      | 2239      | 2191      | 2030      | 1791      | 1511  | 1226  | 967       | 452   | 587       | 471   | 394       | 347   | 321       | 306   |
| 0,08      | 2167      | 2121      | 1965      | 1735      | 1465  | 1191  | 942       | 735   | 576       | 464   | 391       | 345   | 320       | 306   |
| 0,10      | 2078      | 2034      | 1880      | 1667      | 1410  | 1148  | 911       | 714   | 583       | 456   | 380       | 343   | 318       | 305   |
| 0,14      | 1861      | 1823      | 1693      | 1500      | 1274  | 1045  | 836       | 663   | 530       | 436   | 375       | 337   | 315       | 304   |
| 0,18      | 1613      | 1581      | 1471      | 1309      | 1119  | 926   | 750       | 604   | 493       | 414   | 362       | 330   | 312       | 302   |

|      |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,22 | 1357 | 1331 | 1243 | 1112 | 959 | 803 | 661 | 544 | 454 | 390 | 348 | 323 | 308 | 300 |
| 0,26 | 1115 | 1094 | 1026 | 925  | 807 | 687 | 577 | 487 | 417 | 368 | 336 | 316 | 305 | 299 |
| 0,30 | 901  | 886  | 835  | 761  | 673 | 584 | 503 | 436 | 385 | 349 | 325 | 310 | 302 | 297 |
| 0,34 | 723  | 713  | 677  | 624  | 562 | 499 | 442 | 394 | 358 | 332 | 315 | 305 | 299 | 296 |
| 0,38 | 585  | 578  | 554  | 518  | 476 | 433 | 394 | 362 | 337 | 320 | 308 | 301 | 297 | 295 |
| 0,42 | 483  | 478  | 462  | 439  | 412 | 384 | 359 | 338 | 322 | 310 | 303 | 298 | 296 | 294 |
| 0,46 | 411  | 408  | 398  | 384  | 367 | 350 | 334 | 321 | 311 | 304 | 299 | 296 | 295 | 294 |
| 0,50 | 363  | 362  | 356  | 347  | 337 | 327 | 317 | 310 | 304 | 299 | 297 | 295 | 294 | 293 |
| 0,54 | 333  | 332  | 329  | 324  | 318 | 312 | 307 | 302 | 299 | 297 | 295 | 294 | 294 | 293 |
| 0,58 | 315  | 314  | 313  | 310  | 307 | 304 | 301 | 298 | 296 | 295 | 294 | 294 | 293 | 293 |
| 0,62 | 305  | 304  | 303  | 302  | 300 | 299 | 297 | 296 | 295 | 294 | 294 | 293 | 293 | 293 |
| 0,66 | 299  | 299  | 298  | 297  | 297 | 296 | 295 | 294 | 294 | 294 | 293 | 293 | 293 | 293 |
| 0,70 | 296  | 296  | 295  | 295  | 295 | 294 | 294 | 294 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 | 293 |

## 2.4. Дослідження зварювальних напружень і деформацій, і їх вплив на механічні властивості

Нагрівання металевих тіл супроводжується збільшенням їх лінійних розмірів і об'єму ( дилатометричний ефект ). Тобто:

$$l_T = l_0 (1 + \alpha_l T), \text{ і } V_T = V_0 (1 + \beta_v T), \quad (2.18)$$

де  $l_m$  і  $V_m$  – довжина і об'єм тіла при температурі  $T$ ;

$l_0$  і  $V_0$  – довжина і об'єм тіла при температурі  $T = 0$ ;

$\alpha_l$  – термічний коефіцієнт лінійного розширення;

$\beta_v$  – термічний коефіцієнт об'ємного розширення,  $\beta_v = 3\alpha_l$ .

При плавленні метала об'єм тіла збільшується стрибкоподібно. В умовах точкового і шовного зварювання спостерігається активне проявлення дилатометричного ефекту. Нерівномірне температурне поле в зоні зварювання приводить до того, що відносно свободне переміщення металу спостерігається в напрямку осі електродів. Збільшення об'єму по осі  $r$  стримується більш холодною масою сусідніх шарів металу деталей. В результаті сповільнення об'ємних змін виникають додаткові стискаючі зусилля по внутрішніх шарах металу і ядра точки.

Таким чином, збільшення об'єму при нагріванні металу супроводжується виникненням внутрішніх сил  $F_m$ . Ці сили прагнуть розвести електроди на величину  $\Delta_m$ . Звичайно рухомий верхній електрод, і для його переміщення

необхідно перебороти лише силу тертя в приводі стиску і силу інерції рухомих частин приводу, так як зусилля стиску в цих умовах в значній мірі зрівноважується реакцією нижнього електрода  $F_p$ . Як правило вказані сили невеликі і верхній електрод переміщується при зварюванні на величину  $\Delta u$ . Вимірювальна величина залежить не тільки від температури, але і від степені пластичної деформації  $\Delta \delta$  (глибини вминання під електродом).

Помітне переміщення електрода спостерігається з моменту розплавлення металу, коли зміна об'єму найбільша. Максимальне значення  $\Delta u$  пов'язано з розміром ядра. При цьому оптимальним для даної товщини діаметру ядра і проплавлення відповідає  $\Delta u \approx 7...10 \% \delta$ . Даний ефект використовується для контролю і автоматичного регулювання розмірів ядра [ 5, с.56 ].

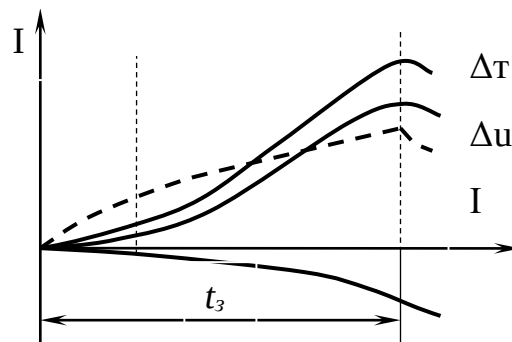


Рисунок 2.9 – Графік залежності характеру зміни розширення металу ( $\Delta m$ ), переміщення електрода ( $\Delta u$ ) і пластичної деформації (глибини вминання  $h$ )

Зварювання, як і інші процеси оброблення металів ( лиття, прокатування, штамповка, термічне оброблення ), викликає в виробах власні напруження. Власні напруження називають напруження, які існують в виробі без прикладання зовнішніх сил. Власні напруження розрізняють: по тривалості існування, характеру розподілу, об'єму виробу і напрямку в просторі.

По першій ознаці власні напруження виникають у виробах при нерівномірному нагріванні. Якщо при цьому напруження в будь-якому об'ємі виробу не перевищують границю пружності, то вони зникають після



оохолодження виробу. Залишкові напруження залишаються в виробі після зникнення викликаної їх причини. Ці напруження також виникають при зварюванні в наслідок нерівномірного нагрівання виробу. Однак на окремих ділянках виробу повинні бути термопластичні деформації або структурні перетворення. Ці незворотні пластичні деформації або структурні перетворення, супроводжуються зміною долі об'ємів, при зварюванні в більшості випадків бувають в біляшовні зоні і шві.

По другій ознаці власні зварювальні напруження класифікуються в залежності від величини об'єму, в якому вони зрівноважуються.

Власні напруження першого роду зрівноважуються в об'ємах, в порівнянні з цілим виробом. Величина напружень першого роду можуть бути визначенні розрахунковим шляхом ( частіше всього наближеним ) або експериментально, причому останній спосіб в практичних цілях являється переважаючим.

Власні напруження другого роду зрівноважуються в мікрооб'ємах тіла, в порівнянні з розміром одного або декількох зерен, не маючи визначеного орієнтування і не залежать від форми виробу. Величину цих напружень можна визначити рентгенографією.

Власні напруження третього роду пов'язані із викривлення кристалічних решіток і зрівноважуючих в крайніх малих об'ємах. Ці напруження не орієнтовані визначеним шляхом і не залежать від форми і розмірів виробу. Величину напружень третього роду також визначають рентгенографією.

Розрахунковими інженерними напруженнями являються напруження першого роду. Особливістю цих напружень, механізм їх появи і впливу на міцність зварних конструкцій вивченні достатньо. По направленню в просторі власні напруження класифікують на: одновісні, двовісні (плоскі), трьохосні (об'ємні). Власні зварювальні напруження, завжди є об'ємні. Однак в більшості випадків власні об'ємні напруження, діють по одній або двом осям, малі по величині і ними нехтують. В цих умовах рахують власні напруження плоскими (зварювання тонких листів) або одноосними (зварювання стержнів).

Механізм появи зварювальних напружень і деформацій у зварному виробі. Процес зварювання протікає в широкому інтервалі температур: від температури навколишнього середовища до 3000 – 4000 °С. При цьому інтенсивність нагрівання піддаються невеликі об'єми металу – шов і біля шовна зона. З віддаленням від осі шва температура нагрівання знижується, периферійні ділянки зварного виробу не піддаються нагрівання. Через визначений проміжок часу після початку зварювання в тілі настає граничний стан температурного стану, яке характеризується постійним розташуванням ізотерм в металі відносно джерела теплоти.

Рівномірне нагрівання і охолодження лежачого елемента не викликає в ньому залишкових напружень в процесі нагрівання, ні залишкових напружень після охолодження. Однак ці елементи закріпленні, то навіть рівномірне нагрівання викликає появу в елементі напружень. Якщо напруження не перевищують границю текучості, то до моменту повного охолодження елемента ( до вихідної температури ) то вони зникнуть. Якщо напруження в якому із об'ємів елемента перевищать границю пружності і досягнуть величини текучості, то в елементі появляться після охолодження залишкові напруження. Аналогічні напруження виникають, якщо елемент не має зовнішніх закріплень, але нагрівання нерівномірне, тобто при зварюванні. Роль закріплення в цьому випадку грають не нагріті частини елемента.

При розгляді механізму зварювальних напружень необхідно мати на увазі, що механічні властивості металів залежить від температури. Границя текучості маловуглицевої сталі при нагріванні поступово знижується. В інтервалі температур 500 – 600 °С величиною цієї характеристики різко зменшується. Практично можна приймати, що при нагріванні більше 600 °С маловуглицева сталь має границю текучості, близьку до нуля.

Структурні перетворення, як причина виникнення залишкових деформацій. Нагрівання металу при зварюванні викликає не тільки температурні об'ємні перетворення, але і структурні перетворення. Ці перетворення також приводять до об'ємним змінам і виникненню в ряді

випадків залишкових напружень.

Механізм утворення структурних напружень можна представити в наступному вигляді. Біляшовна зона нагрівається до температур, які перевищують  $A_{c1}$  і  $A_{c3}$ . В інтервалі температур має місце аустенітне перетворення, пов'язане з зменшенням долі об'єму ( дивись Рисунок 4.10, крива 1 ) маловуглецеві сталі при цих температурах пластичні, і зміни, які проходять не супроводжуються утворенням напружень в металі. При охолодженні розпад аустеніту у маловуглецевих сталях проходить приблизно в тому же інтервалі температур, в наслідок чого і його фазове перетворення не викликає внутрішніх напружень (крива 2).

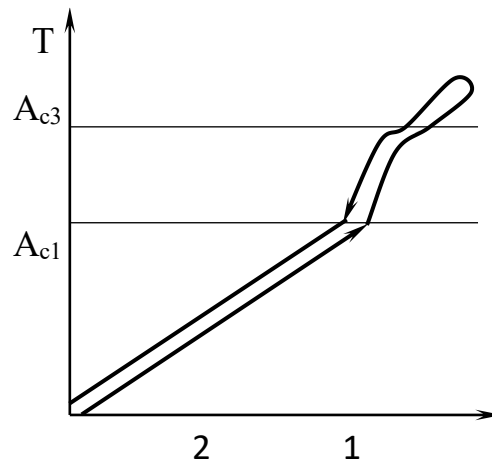


Рисунок 2.10 – Графік залежності змін від температури

Вплив залишкових зварювальних напружень на міцність зварного з'єднання і констукцій. Напруження, які виникають при зварюванні часто досягають в окремих ділянках зварного з'єднання величини межі текучості. В зварному виробі діють напруження, які перевищують допустимі, ще до прикладання корисного навантаження. Міцність зварного конструкції може бути вище розрахованої, тоді залишкові напруження і робочі напруження різного знаку взаємно компенсуються. При цьому залишкові напруження являються резервом підвищення міцності конструкції.

Крихке руйнування при присутності зварювальних напружень має наступні особливості: руйнування носить раптовий характер і не має слідів

пластичної деформації; крихка тріщина, яка виникла в місці концентрації напруження, що перетинає більшу частину або всі перерізи, руйнування проходить при незначних робочих напруженнях. В цьому випадку всі залишкові напруження грають роль джерела енергії для розвитку тріщини [17].

При статичних навантаженнях зварювальні напруження не впливають на міцність зварного з'єднання і конструкції, коли метал зберігає властивість пластичної пластично деформуватися. Якщо напруження від зовнішнього навантаження складається із залишкових напружень настає місцева пластична деформація, в результаті якої збільшення напруження вище межі текучості не проходить. Місцева текучість звичайно захоплює невелику ділянку зварного з'єднання і не зменшує пластичних властивостей металу. В результаті чого місцева текучість міцність, а також геометричні розміри з'єднання або конструкції не змінює або змінюється незначно, що є допустимо для корпусів екранів пуско-регулюючої апаратури.

### **3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ**

#### **3.1. Загальна характеристика зварного виробу**

*Призначення виробу.* Виробом є відбивач – це деталь світильника типу РСП-20, який призначений для відбивання променів світла і захисту електричної лампочки від пошкодження. Також відбивач світильника утворює захисний кут світильника для захисту очей від осліплення. Відбивач за допомогою гвинтів кріпиться до корпусу світильника. Із відбивача і інших комплектуючих на складальних ділянках складають світильники.

Світильник типу РСП-20 призначений для освітлення вологих і запилених виробничих приміщень і розрахований для роботи в мережі змінного струму з номінальною напругою 230 В номінальної частоти 50 Гц.

*Технічні вимоги до виробу.* Основними технічними умовами на виготовлення відбивача є дотримання розмірів в межах допусків вказаних на кресленнях, дотримання правильності форми конструкції згідно креслень, дотримання всіх розрахункових і підібраних параметрів режиму зварювання, що вказані в технологічних картах на виготовлення виробу та дотримання правил техніки безпеки.

У місцях зварювання допускаються сліди від електродів. Грунтування, фарбування виробу повинні проводитись тільки після того, як даний виріб буде прийнято контролером.

*Характеристика матеріалу виробу.* Відбивач світильника виготовляється з маловуглицевої конструкційної якісної сталі марки Сталь 08кп у вигляді стрічки холоднокатаної товщиною 0,5 мм і шириною 210 мм.

Залежно від умов розкислення і степені розкислення розрізняють наступні види сталей: спокійні, киплячі і напівспокойні. 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 напівспокойною сталлю – 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.* Для забезпечення високої якості зварних з'єднань необхідно використовувати якісні матеріали. Якість матеріалів та напівфабрикатів встановлюють на основі сертифікатів. При наявності зовнішніх дефектів, а також при відсутності на матеріали і напівфабрикати сертифікатів, матеріали допускаються до виробництва тільки після проведення хімічного аналізу, механічних випробувань і випробувань на зварюваність. Матеріал з якого виготовляється виріб перевіряють на наявність дефектів. Оскільки відбивач світильника виготовляється з стрічки, то стрічку перевіряють на чистоту поверхні, наявність пор і усадочних раковин та тріщин, вм'ятин, відсутність покриття небажаного для даного технологічного процесу зварювання.

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. Напівфабрикати та деталі необхідно зберігати в закритих приміщеннях на дерев'яних стелажах в бухтах. Наявність дефектів на поверхні сприяють затриманню та накопичення вологи та забруднень. Це прискорює утворення іржі і знижує стійкість металу проти корозії. З метою підвищення корозійної стійкості металу необхідно добиватись високої чистоти поверхні і повного згладжування дрібних нерівностей.

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.* Складанням називається процес послідовного з'єднання деталей між собою в порядку вказаному в технологічних картах і закріплення їх між собою. Складання має забезпечувати точне встановлення зварюваних деталей в відповідності з кресленнями, а також найкращі умови для зварювання.

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 отворах. При складанні по попередній розмітці положення кожного елемента визначається за місцем нанесення на з'єднувальні елементи розмічувальних ліній. При складанні по контрольним отворах, 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. Аналіз існуючого та удосконаленого технологічного процесу виготовлення вибору**

Даний зварний виріб складається із шести однакових деталей – штампованих фацет кінці яких зварені в напустку.

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. Вирубівання 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 властивість металу, чи сполучення металів утворювати при встановленій технології зварювання з'єднання, що відповідає вимогам, обумовленим конструкцією та експлуатацією 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 2.3 – Фізичні властивості сталі марки Сталь 08 кп [ 3, с.617 ]

| Густина  | Теплоємність | Питомий електричний опір | Температуро-провідність |
|----------|--------------|--------------------------|-------------------------|
| ρ, кг/м³ | C, Дж/(кг×K) | ρt, НОм×м                | λ, Вт×(м×°C)            |
| 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. Зварюваність різних металів і сплавів залежить від ступеня легування, структури та вмісту домішок. Найбільше впливає на зварюваність сталей вуглець. Із збільшенням вмісту вуглецю, а також ряду інших легуючих елементів зварюваність сталей погіршується.

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  $C_{\text{екв}}$ .

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

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

де вміст вуглецю та інших легуючих елементів подано в відсотках.

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

Еквівалентний вуглецю Сталі 08кп  $C_{\text{екв}} = 0,25\%$  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: дробоструминевими, 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.

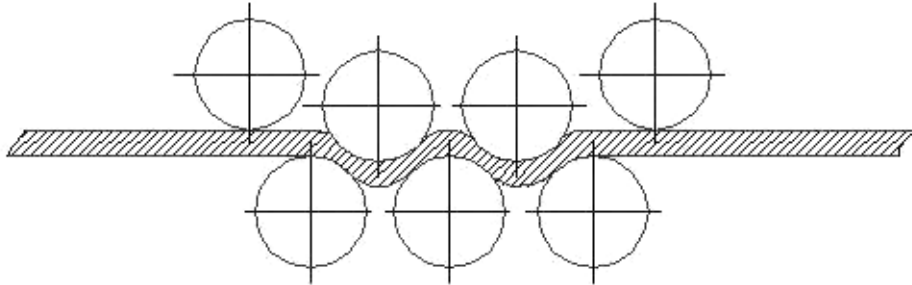


Рисунок 3.1 – Схема правлення стрічки в листоправильних семивалкових вальцях

Після правлення металеву стрічку розрізають на заготовки необхідного розміру на спеціальних пресових ножицях. Із вирізаних заготовок на спеціальному штампі вирубуються фацет із яких складається відбивач.

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



зварювання застосовують при виготовленні тонких сталевих листових конструкцій товщиною до 5 мм, зварювання кольорових металів і їх сплавів, виправлення дефектів в чавунних і бронзових відливках, а також різних ремонтних роботах.

Основними недоліками газового зварювання є низька продуктивність, складність механізації і автоматизації. Плазмове зварювання потребує дорогого обладнання і висококваліфікованих зварників.

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 відбивачів світильників типу РСР-20 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 відбивача світильника РСП-20 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.

Загальний вигляд електрода для контактного точкового зварювання показано на рисунку 3.3

### **3.3. Розрахунок та підбір параметрів режиму контактного точкового зварювання**

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 контактного точкового зварювання відносять: зварювальний струм, час імпульсу струму, зусилля стиску електродів.





Величина зусилля стискання  $P_{зв}$  при точковому зварюванні в момент проходження струму зварювання залежить від механічних властивостей матеріалів 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

$$P_{зв} = 500 + 2 \cdot 10^6 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} = 1500 \text{ Н}.$$

Одним із основних параметрів процесу точкового зварювання є час проходження зварювального струму, тобто час імпульсу  $t_i$ . Час імпульсу в основному залежить від марки зварюваного матеріалу і товщини деталей.

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

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

$$t_i = 0,04(1 + 0,05^2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6) = 0,15 \text{ с}$$

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

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

$$t_c = (2 \div 3) \times 0,15 = 0,45 \text{ с}.$$

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

$$t_{зв} = t_i + t_n; \quad (3.5)$$

$$t_{зв} = 0,15 + 17 = 17,15 \text{ с}.$$

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 тепла, що виділяється між електродами під час зварювання;  $Q_1$  - тепло, що затрачається на нагрів до  $T_{пл}$  циліндра металу висотою  $2\delta$  і діаметром  $d_я$ ;  $Q_2$  - тепло, що затрачається на нагрівання металу у вигляді кільця шириною  $x_2$ , яке окільцьовує лите ядро;  $Q_3$  - тепло, що затрачається на нагрівання електродів (нагрів умовного циліндра висотою  $X_3$  до середньої температури  $T_e$ ).

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

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

де  $\delta$  – товщина зварюваних деталей, м ( $\delta=0,0005$ м);  $d\gamma$  – діаметр ядра, м ( $d\gamma = 0,003$ 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  $T_{пл} = 1803 - 293 = 1510$ 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]

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

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]

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

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]

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

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];  $Ad$  – коефіцієнт, який залежить від співвідношення  $d_k/\delta$ , де  $d_k$  – діаметр площі контакту  $\frac{d_k}{\delta} = \frac{4}{0,5} = 8$ . За графіком [5, с.26] коефіцієнт  $Ad = 1$ .

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

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

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];  $\alpha_r$  – температурний коефіцієнт зміни опору. Для сталей  $\alpha_r = 0,004$  1/град [5, с.26];  $T$  – температура в кінці нагрівання деталей, град.

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

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

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

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

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

де  $k_3$  - коефіцієнт, який враховує зміну опору під час 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 відбивача світильника типу РСП-20 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. Контактори 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, тому що вони 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 [7, с.412]

| Тип Трансфор-матора |              | Ступені                                |               | ПВ, %         | Струм            |             |        |                              | Напруга, В |                             |          |
|---------------------|--------------|----------------------------------------|---------------|---------------|------------------|-------------|--------|------------------------------|------------|-----------------------------|----------|
|                     |              | Число                                  | Номі-нальна   |               | кА               |             | А      |                              | U1         | U20min.<br>–<br>U20max<br>. | U2ном.   |
|                     |              |                                        |               |               | I2ном.           | I2          | I1ном. | I1                           |            |                             |          |
| ТК-301У4            | w1=1<br>w2=2 | 4                                      | 4             | 50            | 8<br>4           | 5,6<br>2,8  | 111    | 78                           | 365        | 3 - 5<br>6 - 10             | 5<br>10  |
| ТК-401У4            | w1=1<br>w2=2 |                                        |               |               | 10<br>5          | 7,1<br>3,55 | 278    | 197                          |            | 7-10<br>14-20               | 10<br>20 |
| Потужність, кВт·А   |              | Опір обмоток<br>×10 <sup>−6</sup> , Ом |               |               | Магнітопровід    |             |        | Маса активних матеріалів, кг |            |                             |          |
| Sном.               | S            | гт                                     | хт            | zt            | Номер по додатку | h, мм       | Мідь   | Сталь                        | Зага-льна  |                             |          |
| 40                  | 28           | 31<br>124                              | 35<br>140     | 46,7<br>186,4 | –                | 224         | 14,2   | 42,5                         | 56,7       |                             |          |
| 100                 | 70           | 46,6<br>186,<br>4                      | 53,2<br>212,8 | 70,8<br>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 [8, с.24]

| Параметри                                                                                | Значення            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Номінальна напруга мережі, В                                                             | 220,240,380,415,440 |
| Частота струму мережі, Гц                                                                | 50-60               |
| Номінальний струм, А:<br>При тривалості імпульсу зварюваль-ного струму 0,5с. і ПВ рівне: |                     |
| 50%                                                                                      | 800                 |
| 20%                                                                                      | 1000                |
| 5%                                                                                       | 1300                |
| При тривалості імпульсу зварюваль-ного 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.

*Складальні операції.* Складальні операції можна здійснювати вручну оператором, при роботі напівавтомата в налагоджувальному режимі, або в автоматичному режимі – для роботи в лінії з автоматизованим завантаженням фацет. Складання деталей здійснюється на пристосуваннях – двох оправках, що



розміщені на корпусі турелі напівавтомата. Одна з оправок розташована в зоні завантаження фацет, друга в цей час знаходиться в зоні зварювання. В зоні завантаження фацети по чергово складаються на шестипозиційну оправку, базуються на фіксаторах, схоплюються електромагнітами і механічними прихватами.

*Зварювальні операції.* Поворотом турелі на  $180^\circ$  оправка зі складеними на ній фацетами подається в зону зварювання, а оправка із звареним відбивачем повертається в зону завантаження - розвантаження фацет.

В зоні зварювання здійснюється підведення трьох зварювальних головок з електродами до фацет, закріплених на оправці, виріб зварюється в десяти точках, після зварювання головки відводяться в вихідне положення. Одна із електродних головок (верхня) переміщається гідроприводом на крок здійснюється підвід електродів до оправки, зварювання фацет, відвід електродів і зворотній відвід зварювальної головки в вихідне положення.

Аналогічно здійснюється ще п'ять циклів зварювання і після чергового повного повороту турелі на  $180^\circ$  здійснюється подальше чергове завантаження всіх позицій оправки, тобто цикл повторюється.

Схема базування і зварювання відбивача показана на рисунку 3.4.

*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.

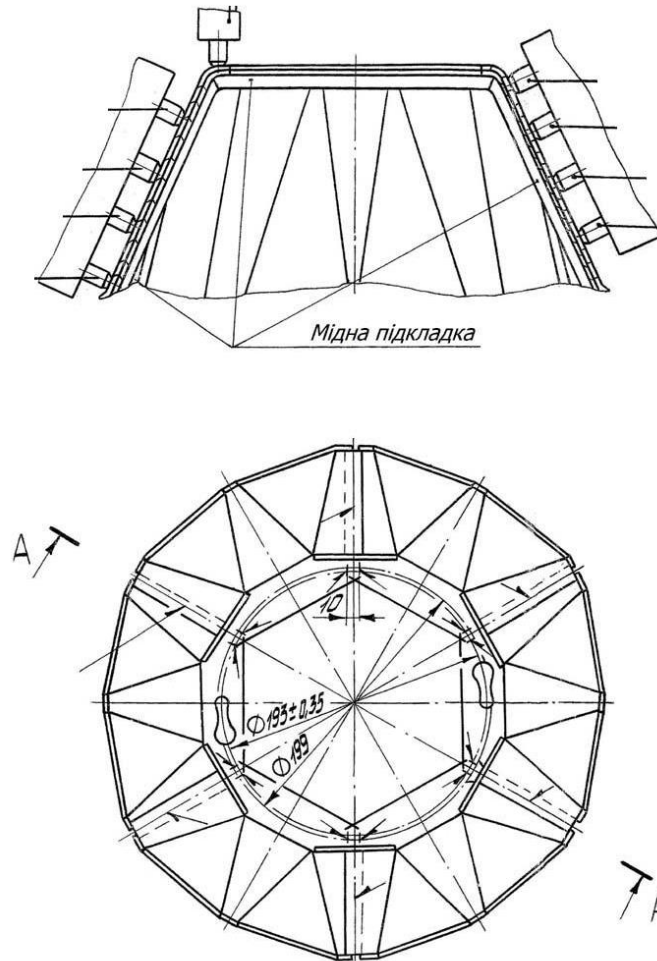


Рисунок 3.4 - Схема базування і зварювання відбивача

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:

- а) контроль вхідних зварювальних матеріалів;
- б) контроль якості заготівельних, складальних, опоряджувальних операцій та операцій зварювання.

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 ступінь 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 м³/год. Витрати електроенергії при формуванні одного з'єднання на точкових контактних машинах визначаються за формулою [8, с.171]:

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

де  $I_{звср}$  – діюче середнє значення зварювального струму за  $t_{зв}$ , А;  $R_{еср}$  – 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

$$Q_{заг} = Q * n, \quad (3.16)$$

де,  $n$  – кількість разів опускання електродів.

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

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

$$t_{шт} = t_m + t_{в} + t_{пр} + t_n, \quad (3.17)$$

де  $t_m$  – машинний або основний технологічний час, який залежить від режиму зварювання, степені механізації і її потужності, хв. Приймаємо  $t_m = 0,465$  хв;  $t_{в}$  – 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  $t_m = 0,20$  хв;  $t_{пр}$  – прибавочний час на технічне обслуговування обладнання (пуск і регулювання, заправку електродів,

прибирання і інше ) і складає 10 – 15 % (  $t_m + t_v$  ), хв. Приймаємо  $t_{pr} = 0,08$  хв;  
 $t_p$  – час на перерву в роботі і відпочинок, складає 10 – 20 % (  $t_m + t_v$  ), хв.  
 Приймаємо  $t_p = 0,1$  хв.

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

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. Зношування електродних матеріалів при точковому контактному зварюванні складає в середньому 10 – 30 г на 1000 точок. Стійкість металу притискних пристроїв із мідних сплавів до повного

зношування забезпечує зварювання 20000 – 100000 з'єднань. Витрата електродних матеріалів може бути знижена за рахунок використання раціональних режимів зварювання і охолодження електродів, хорошого підготовки поверхонь деталей і використання сплавів, які мають високу стійкість проти зношування [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 м³/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 ]:

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

де  $I_{зв.д.ср}$  – діюче середнє значення зварювального струму за час  $t_{зв}$ , А;  $R_{еe.ср}$  – 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.

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

Загальна витрата електроенергії для виготовлення одного корпусу розраховується за формулою:

$$Q_{заг} = Q \cdot n, \quad (3.19)$$

де  $n$  – кількість зварених точок, шт. Приймаємо  $n = 3$  шт.

$$Q = 2,3 \cdot 3 = 6,9 \text{Вт}.$$

Контактне зварювання має високі техніко-економічні показники по порівнянні з іншими методами отримання нероз'ємних з'єднань.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 4.1. Перевірочний розрахунок міцності конструкції

Перевірочний розрахунок міцності конструкції проведемо тільки за дотичними напруженнями в швах, які виникають при дії нормальної сили  $P$  відносно поперечного перерізу даного виробу, оскільки поперечне зусилля обмежується конструкцією виробу.

Визначаємо допустиме зусилля  $P$  для даного зварного з'єднання за формулою [10, с.55]:

$$P = [\tau'] * p * k * l, \quad (4.1)$$

де  $[\tau']$  - допустиме напруження в шві на зріз, МПа;  $\beta$  - коефіцієнт, який залежить від глибини проплавлення і від технологічного процесу зварювання, для однопрохідного автоматичного зварювання приймаємо  $\beta = 1,1$  [10, с.55];  $k$  - катет шва,  $k = 0,003m$ ;  $l$  - довжина шва, м.

Визначаємо довжину шва як довжину кола труби зварюваного виробу за формулою:

$$l = \pi * d, \quad (4.2)$$

де  $d$  - діаметр труби,  $d = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$ ;  $\pi = 3,14$ .

$$l = 3,14 * 0,02 = 0,0628 \text{ м}.$$

Визначаємо значення  $[\tau']$  за формулою [10, с.46]:

$$[\tau'] = 0,65 * [\sigma_p], \quad (4.3)$$

де  $[\sigma_p]$  - допустиме напруження на розтяг, МПа.

Визначаємо значення  $[\sigma_p]$  за формулою [10, с.44]:

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_t}{k_1}, \quad (4.4)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт,  $k_1 = 1,3-1,5$  [10, с.44], приймаємо  $k_1 = 1,4$ ;  $\sigma_t$  - границя текучості,  $\sigma_t = \sigma_{0,2}$  [10, с.13], для сталі ВСтЗсп приймаємо  $\sigma_t = \sigma_{0,2} = 245 \text{ МПа}$  (таблиця 1.2).

$$[\sigma_p] = \frac{245}{1,4} = 175 \text{ МПа.}$$

Тоді:

$$[\tau'] = 0,65 * 175 = 114 \text{ МПа;}$$

$$P = 114 * 10^6 * 1,1 * 0,003 * 0,0628 = 23625,4 \text{ Н.}$$

Отже, допустиме нормальне зусилля для даного зварного з'єднання рівне  $P = 23,6 \text{ кН}$ .

#### 4.2. Вибір типу пристосувань

В зварювальному виробництві пристосуваннями називають допоміжні пристрої, які використовуються для правильного просторового розташування зварюваних деталей і вузлів при виконанні операцій складання і зварювання.

Вибір типу пристосувань залежить від способу зварювання, конструкції виробу, матеріалу деталей, вимог до якості складання і зварювання, типу виробництва та інше. Застосування пристосувань дозволяє:

- збільшити точність складання виробу;
- збільшити продуктивність виробництва;
- знизити собівартість продукції;
- скоротити число працюючих;
- полегшити умови праці та підвищити її безпеку.

В зварювальному виробництві для виготовлення виробів використовують три типи пристосувань: складальні, зварювальні і складально-зварювальні.

Основним призначенням складального пристосування у зварювальному виробництві є фіксація і закріплення зварюваних деталей у правильному положенні для їх прихоплювання. На зварювальних пристосуваннях проводиться повне зварювання раніше прихоплених деталей виробів. А на складально-зварювальному пристосуванні крім складання проводиться повне, або часткове зварювання виробів. При виготовленні зварних конструкцій на складально-зварювальному обладнанні виріб не переноситься і не транспор-



тується. Завдяки цьому зберігається точність розмірів, а якість виробу вища ніж при зварюванні на прихопленнях.

Складально-зварювальне пристосування може бути універсальне, спеціальне чи спеціалізоване.

Універсальне пристосування призначене для широкої номенклатури виробів, спеціальне – для одного виду виробу, спеціалізоване – для одного чи двох конкретних виробів.

Вибір універсального, спеціалізованого або спеціального обладнання визначається перш за все типом і масштабом виробництва, а також конструкцією виробу, видом зварювання та іншими факторами. Спеціалізоване обладнання забезпечує більшу продуктивність і кращу якість виробництва. Його застосовують лише при крупносерійному і масовому виробництві через складність і високу вартість обладнання.

#### **4.3. Вибір баз, упорів та захисних елементів пристосувань**

Основною метою складальної операції є забезпечення правильного взаємного розташування і закріплення зварюваних деталей виробу. Розміщення деталей в пристосуванні (базування) здійснюють таким чином, щоб технологічні бази деталей спиралися на установчі поверхні пристосування. У загальному випадку для цього досить притиснути деталь до шести опорних точок, розташованих в трьох взаємно перпендикулярних площинах.

Основою пристосування для виготовлення труби з фланцями є жорсткий каркас, на якому розміщена стальна плита. Ця плита - станина - є базою для зварювання труби з фланцями. До станини кріпляться різноманітні установчі елементи: упори, фіксатори, затискачі і обертачі, за допомогою яких здійснюється правильне взаємне розташування зварюваних деталей.

Для правильного розташування при складанні і безперешкодного обертання труби з фланцями під час зварювання на станині розміщено спеціальні бази – призми.

Застосування призм дозволяє правильно і точно розмістити трубу з фланцями і, водночас, дає можливість їх обертати під час зварювання.

Також застосування призм дає можливість після закінчення зварювання без затримок перенести транспортним пристосуванням готовий виріб в спеціальний лоток і встановити наступну трубу в місце зварювання.

При виготовленні зварних конструкцій пристосування призначене не лише для правильного взаємного розташування зварювальних деталей, але і для їх закріплення і для переміщення зварювального виробу із швидкістю рівною швидкості зварювання.

Закріплення зварюваних деталей і переміщення зварюваного виробу із швидкістю зварювання забезпечується затискними пристосуваннями.

При виборі затискних пристроїв необхідно враховувати форму зварювальних деталей, необхідне зусилля затискання, тип виробництва і можливість кантування виробу чи можливість його переміщення в процесі зварювання із швидкістю зварювання.

Враховуючи невеликі розміри даного зварного виробу, його малу масу, що не потребує великих зусиль затискання, а також серійність виробництва - вибираємо пневматичні затискні пристрої – пневмоциліндри, які працюють від стиснутого повітря, яке надходить з заводської пневмомережі під тиском біля 0,4 МПа.

Пневматичні пристрої є швидкодіючими, дистанційно керованими і дозволяють затискати деталі одночасно в декількох точках.

Оскільки фланці є плоскими деталями, то для їх закріплення вибираємо відкидні затискні пристрої, що працюють від пневмоциліндрів. А для центрування фланців з трубою і обертання їх під час зварювання вибираємо центрові горизонтальні обертачі.

Центрові обертачі є пуансонами пневмоциліндрів, які затискають з двох боків трубу з фланцями, а електродвигун через редуктор забезпечує обертання їх під час зварювання.

#### 4.4. Розрахунок та підбір зусиль затискання чи притискання

В зварювальному виробництві найбільш поширеними складально-затискними пристроями є: пневматичні, гідравлічні, електромагнітні і приводи електродвигунів з редукторами.

В складально-зварювальному обладнанні для складання труби з фланцями будемо застосовувати поршневі пневмоциліндри. Для затискання фланців при передачі їх з завантажувального в складальне пристосування будемо використовувати пневмоциліндри двосторонньої дії.

Визначаємо зусилля на штоці, яке створює пневмоциліндр при виштовхуванні штоку за формулою [11, с. 103]:

$$P = q * \frac{\pi * D^2}{4} * \eta, \quad (4.5)$$

де  $q$  – тиск повітря в пневмоциліндрі, який рівний тиску в заводській пневмережі,  $q = 0,4$  МПа;  $D$  - діаметр поршня, приймаємо  $D = 60$  мм =  $60 * 10^{-3}$  м;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії приводу,  $\eta = 0,85$  [ 11, с. 104].

$$P = 0,4 * 10^6 * \frac{3,14 * (60 * 10^{-3})^2}{4} * 0,85 = 960 \text{ Н.}$$

Визначаємо зусилля при зворотному втягуючому рухові штока за формулою [11, с. 103]:

$$P_{\text{звo}} = q * \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} * \eta, \quad (4.6)$$

де  $d$  - діаметр штоку, приймаємо  $d = 15$  мм =  $15 * 10^{-3}$  м.

$$P_{\text{звo}} = 0,4 * 10^6 * \frac{3,14 * ((60 * 10^{-3})^2 - (15 * 10^{-3})^2)}{4} * 0,85 = 900 \text{ Н.}$$

#### 4.5. Розрахунок елементів пристосувань

Для затискання труби при складанні її з фланцями в складально-зварювальному обладнанні будемо застосовувати пуансони, які працюють від пневмоциліндрів. Для цього необхідно підібрати пневмоциліндри, які б

створювали зусилля затискання не менше 1,5 кН і мали довжину ходу поршня 120 мм.

Визначаємо необхідний діаметр поршня з формули [11, с. 103]:

$$P = q * \frac{\pi * D^2}{4} * \eta;$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * P}{\pi * q * \eta}}, \quad (4.7)$$

де  $P$  – необхідне зусилля на штоці,  $P = 1500$  Н;  $q$  – тиск повітря в заводській пневмомережі,  $q = 0,4$  МПа;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії приводу,  $\eta = 0,85$ .

$$D = \sqrt{\frac{4 * 1500}{3,14 * 0,4 * 10^6 * 0,85}} = 75 * 10^{-3} \text{ м.}$$

Оскільки зусилля на штоці повинно бути не менше 1,5 кН, то приймаємо діаметр поршня  $D = 80$  мм.

Визначаємо товщину циліндричної стінки пневмоциліндра за формулою [11, с.105]:

$$\delta \geq D * \sqrt{\frac{q}{2 * [\sigma]}}, \quad (4.8)$$

де  $[\sigma]$  – допустиме напруження на розтяг, приймаємо як для сталі ВСтЗсп  $[\sigma] = [\sigma_p] = 175$  МПа.

$$\delta \geq 80 * 10^{-3} * \sqrt{\frac{0,4 * 10^6}{2 * 175 * 10^6}} = 2,7 * 10^{-3} \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину стінки  $\delta = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм}$ .

Визначаємо товщину кришки пневмоциліндра за формулою [11, с.108]:

$$\delta_k = 0,56 * D_k * \sqrt{\frac{q}{[\sigma]}}, \quad (4.9)$$

де  $D_k$  – діаметр круга болтового з'єднання кришки з циліндром, приймаємо  $D_k = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$ .

$$\delta_k = 0,56 * 0,1 * \sqrt{\frac{0,4 * 10^6}{175 * 10^6}} = 0,0027 \text{ м.}$$

Приймаємо  $\delta_k = 0,003\text{м} = 3\text{мм}$ . Для забезпечення необхідної довжини ходу поршня приймаємо довжину циліндра рівною  $L_{\text{ц}} = 120\text{ мм}$ .

Схема пневмоциліндра для затискання труби при складанні її з фланцями зображена на рисунку 4.1.

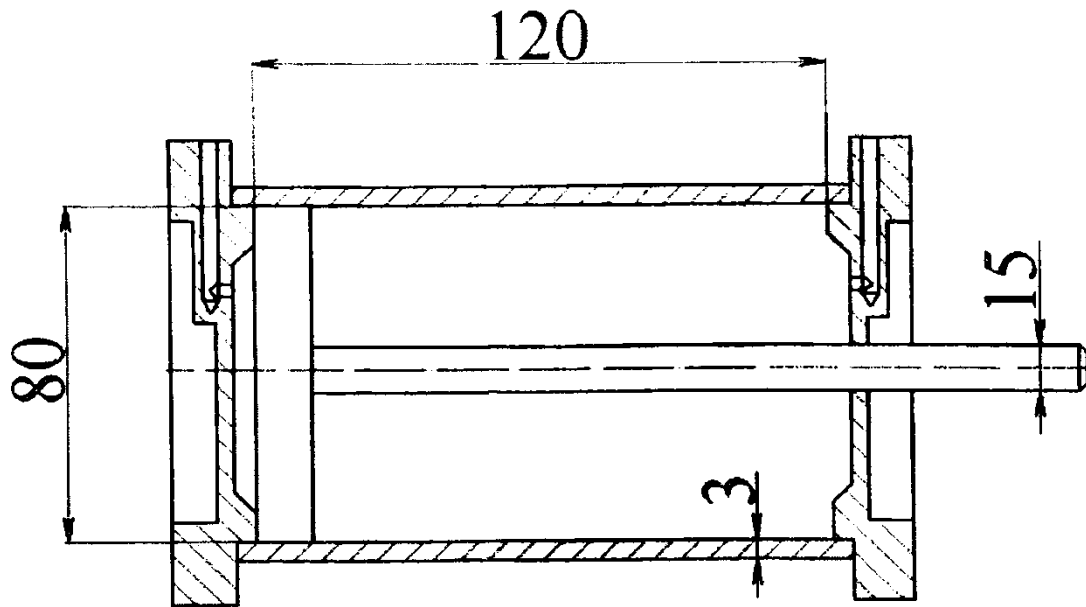


Рисунок 4.1 – Схема пневмоциліндра для затискання труби при складанні її з фланцями.

## 5. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 5.1. Розрахунок капіталовкладень на розробку та впровадження технології одноконтakтного точкового зварювання світильника

Впровадження нової технології контактного зварювання корпусу світильника неможливе без техніко-економічного обґрунтування. Нова технологія зварювання забезпечує підвищення вибору оптимальних режимів роботи обладнання. Впровадження модернізованої технології зварювання крім якісних змін, приведе до кількісних змін в регулюванні основних технологічних параметрів. Впровадження удосконаленої технології контактного зварювання корпусу світильника підвищує якість виконання зварних робіт, при цьому вироби будуть мати підвищені властивості та більший термін експлуатації.

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

Капіталовкладення, які потрібні для розробки технології зварювання визначаються за формулою

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

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

$$K_B = 971,3 + 169791,8 + 328,8 = 191361,9 \text{ грн.}$$

Проаналізувавши наведені дані можна стверджувати про необхідність впровадження модернізованої технології контактного зварювання.

Визначимо капіталовкладення на нову технологію контактного зварювання корпусу світильника.

Таблиця 5.1

## Показники оцінки технічного рівня технології зварювання

| Показники                                        | Варіанти технології |         | Коефіцієнт технічного рівня |
|--------------------------------------------------|---------------------|---------|-----------------------------|
|                                                  | Новий               | Базовий |                             |
| Частота виникнення дефектів зварного шва, 1/год. | 0,0024              | 0,0032  | 0,0026                      |
| Частота виникнення деформацій виробу, 1/год.     | 0,001               | 0,0019  | 0,0014                      |
| Витрати енергії на зварювальні роботи, кВт/год.  | 4,6                 | 6,1     | 6,3                         |
| Термін служби готового виробу, роки              | 15                  | 10      | 5                           |

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:

- затрати на придбання необхідного інвентаря, довідкової літератури, додаткових матеріалів - 6590 грн.),

- залучення потрібної кількості спеціалістів та їх заробітну плату.

Зведемо всі операції по оплаті праці в таблицю 5.2.

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

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

Затрати на виконання проектних робіт дорівнюють

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

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

$$B_{np} = \sum_{i=1}^p \Pi_{\eta} \cdot a_{\eta} + Z_{mp} + Z_{скл}, \quad (5.2)$$

де  $\Pi_{\eta}$  – відпускна ціна підприємства на обладнання  $\eta$  - ї групи;

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

$p$  - кількість груп обладнання;

$Z_{mp}$  - 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 стенду | 1         | 134000                     | 134000                  |
| Всього                            |           |                            | 679000                  |

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

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

Норма витрати палива і масла для транспортної роботи 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 30 грн., а машинного масла 40 грн. Перевезення здійснюються на відстань 100 км.

Отже, затрати на паливо і масло знаходимо за формулою

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



$$B_{\pi} = (25 \cdot 30 + 0,3 \cdot 40) \cdot 560 / 100 = 5376 \text{ грн.}$$

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

Заробітна плата наведена у 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     | 104,8          | 14                       | 1467,2                | 564,9                           |
| Вантажник | 2    | V      | 115            | 8                        | 1840                  | 708,4                           |
| Разом     | 3    |        |                |                          | 3307,2                | 1273,3                          |

Амортизацію використаного транспорту розраховуємо 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.

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

$$A_m = 320000 \cdot 14 / (10 \cdot 365 \cdot 24) = 51,2 \text{ грн.}$$

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

$$Z_{mp} = 14084 + 5376 + 1273 + 51,14 = 20784, 2 \text{ грн.}$$

Тепер розраховуємо 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

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

Таблиця 5.5

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

| Зміст операції                                              | Професія      | Розряд роботи | Тарифна ставка, грн./год. | Трудо місткі сть робіт нормо/ год | Сума зарплати по тарифу |
|-------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Демонтаж базового обладнання                                | Слюсар        | VI            | 125                       | 8                                 | 1000                    |
| Демонтаж вторинних приладів                                 | Слюсар        | V             | 115                       | 5                                 | 575                     |
| Демонтаж щита керування                                     | Слюсар КВПіА  | V             | 115                       | 2                                 | 230                     |
| Монтаж нового обладнання                                    | Слюсар        | VI            | 1251                      | 21                                | 2627                    |
| Прокладка зовнішніх електричних проводок                    | Електрик      | IV            | 104,8                     | 3                                 | 314,4                   |
| Прокладка зовнішніх трубних проводок                        | Слюсар КВПіА  | V             | 115                       | 2                                 | 230                     |
| Встановлення контрольно-вимірювальних приладів і автоматики | Інженер КВПіА | V             | 280                       | 2                                 | 560                     |
| Занулення і заземлення                                      | Електрик      | IV            | 104,8                     | 1                                 | 104,8                   |
| Налагоджувальні роботи                                      | Інженер       | V             | 280,6                     | 5                                 | 1403                    |
| Випробування основних засобів                               | Зварювальник  | V             | 115                       | 5                                 | 575                     |
| Всього                                                      |               |               |                           |                                   | 6620,2                  |

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 5.5.

$$B_{зп.+нарах} = B_{зп} * 1,385 = 6620,2 * 1,385 = 19169,4 \text{ грн.}$$

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 (5.1) 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  $B_{zn}^H$ , амортизаційних відрахувань по основних засобах  $A_M$ , витрат на електроенергію, яка витрачається на живлення встановленого обладнання  $E_e$ , витрат на ремонт  $P_e$ , тобто

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

де  $B_{звар}^H$  - 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

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

де  $n$  - чисельність персоналу;

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

Таблиця 5.7

Розрахунок річного фонду заробітної плати персоналу

| Професія         | Кваліфікація | Тариф на ставку | 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  $B_{zn.баз.} = 229292,8$  грн.

- по новому варіанту  $B_{zn.нов.} = 207275,2$  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  $B_{зп.відр.баз} = (229292,8 + 45858,56) \cdot 0,385 = 105933,27$  грн.

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

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

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

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

Амортизаційні відрахування на основні засоби визначаються за формулою

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

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

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

а для нової

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

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

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

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:

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

Для нової технології:

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

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

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

$$P_{пл}'' = K \cdot A_m'', \quad (5.12)$$

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

Отже для базової технології:

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

Для нової технології:

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

Суму позапланового ремонту визначаємо за такою формулою

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

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:

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

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

Таким чином витрати на ремонт основних засобів будуть становити:

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

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

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

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

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

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

$$E_p = \frac{Q_n}{\phi_0} - \phi_n, \quad (5.16)$$



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

$\phi_0$  - виробіток на одного робітника, що працює в умовах базової технології;

$\phi_n$  - 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):

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

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

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:

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

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

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

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

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

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

Обчислимо виробіток на одного робітника по двох варіантах

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

$$\epsilon_p^{baz} = 1500/8 = 187,5 \text{ шт.}$$

$$\epsilon_p^{nos} = 1500/7 = 214,29 \text{ шт.}$$

Таким чином отримаємо відносну економію витрат робочої сили:

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

Визначимо ріст продуктивності праці робітників після нововведення

$$\Delta p = \frac{E_p \cdot 100}{U_n} = 1 \cdot 100/7 = 14,29\% \quad (5.19)$$

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

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

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

$P_e$  - 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

$$E_H=0,15;$$

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

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

Отже,

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

Обчислимо термін окупності капіталовкладень за такою формулою

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

Визначимо коефіцієнт ефективності капіталовкладень

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

## 6. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

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

Необхідно розрахувати параметри прямозубої рейки, яка приводи пом в рух під пневмоциліндра і перевірити надійність зубчатої передачі при попередньо заданому ділильному діаметру  $d_1$  зубчатого колеса.

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

Вихідні дані для розрахунку:

HB = H = 230;

Максимальний хід рейки,  $L = 0,12$  м;

Зусилля на штоку пневмоциліндра,  $F = 1,5$  кН;

Передаточне число зубчатої передачі  $u = 2$ ;

Ділильний діаметр колеса  $d_1 = 132$  мм.

Перевірочний розрахунок зубчатої 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 здійснюється за нерівністю [13, с.300]

$$\sigma_n \leq [\sigma]_n, \quad (6.1)$$

де  $\sigma_n$  - розрахункове контактне напруження, МПа;  $[\sigma]_n$  - допустиме контактне напруження МПа.

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

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

де  $\sigma_{n \max}$  - максимальне розрахункове контактне напруження, МПа;  $[\sigma]_{n \max}$  -

допустиме граничне контактне напруження МПа.

Всі розрахунки зубчастої передачі проведемо за допомогою ПК з застосуванням пакету MathCAD, тому для зручності запису приймаємо:  $[\sigma]_H = \sigma_{H\text{доп}}$  і  $[\sigma]_{H\text{max}} = \sigma_{H\text{max доп}}$ .

## 6.2. Розрахунок допустимих і діючих напружень зубчастої передачі

а) допустимі контактні напруження. Границі контактної витривалості зубців колеса і рейки визначаємо за формулою:

$$H := 230$$

$$\sigma_{H\text{limd}} := 2 * H + 70 \quad \sigma_{H\text{limd}} = 530$$

Допустимі контактні напруження для зубців колеса та рейки при коефіцієнті  $Z_H = 1$  (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:

$$S_H := 1.1 \quad K_{Hl} := 1 \quad Z_R := 1$$

$$\sigma_{H\text{ доп}} := \sigma_{H\text{limd}} * Z_R * \frac{K_{Hl}}{S_H} \sigma_{H\text{ доп}} = 482 \text{ МПа}$$

Допустиме граничне контактне напруження визначаємо за формулою:

$$\sigma_T := 600 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{H\text{max доп}} := 2.8 * \sigma_T; \sigma_{H\text{max доп}} = 1680 \text{ МПа}$$

б) розрахункові контактні напруження. Визначаємо колове зусилля з врахуванням тертя в опорах штоку за формулою:

$$\alpha := 20 \text{ f} := 0.1 \text{ F} := 1.5 \text{ Н}$$

$$F_t = \frac{1000 * F}{1 - f * \tan(\alpha)} \quad F_t = 1932.3 \text{ Н}$$

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:

$$Z_1 := 20 \quad d_1 := 132 \text{ мм}$$

$$m := \frac{d_1}{z_1} \quad m = 6.6 \text{ мм}$$

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

Для розрахунку контактних напружень попередньо визначимо такі коефіцієнти:

$Z_M = 275 \text{ МПа}^{1/2}$  - коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалів зубчастого колеса і рейки;

$Z_H = 1,77 * \cos\beta$  - коефіцієнт, що враховує форму спряжених поверхонь зубців, де  $\rho$  - кут нахилу лінії зубців,  $\beta = 0$ , тоді  $Z_H = 1,77 - 1 = 1,77$ ;

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

Визначаємо робочу ширину зачеплення:

$$m := 8 \quad \Psi_m := 4$$

$$b := m * \Psi_m b = 32 \text{ мм}$$

Нерівномірність розподілу навантаження по ширині поверхні зубів тим вища, чим більша ширина зубчастого вінця, яка характеризується коефіцієнтом  $\Psi_{bd} = b/d_1$ :

$$\Psi_{bd} := \frac{b}{d_1} \Psi_{bd} = 0.242$$

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:

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

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

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

$$\eta_{пк} := 0.98$$

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

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

$$T_{1\max} := 2 * T_{1H} T_{1\max} = 260 \text{ Н*м}$$

Визначаємо максимальне контактне напруження за формулою:

$$\sigma_{H\max} := \sigma_H * \sqrt{\frac{T_{1\max}}{T_{1H}}} \sigma_{H\max} = 491 \text{ МПа}$$

### 6.3. Перевірочний розрахунок зубчатої передачі

Аналіз перевірки: якщо  $\sigma_H < \sigma_{H\text{доп}}$ , 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:

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

при умові:

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

і відповідно

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

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

Аналогічно проводимо аналіз перевірки на контактну міцність: якщо  $\sigma_{H\max} \leq \sigma_{H\max\text{доп}}$ , 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 дільний діаметр зубчатого колеса.

Оскільки нерівність  $\sigma_{H \max} = 491 \text{ МПа} \leq \sigma_{H \max \text{ доп}} = 1680 \text{ МПа}$  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. Охорона праці і техніка безпеки на виробництві**

Людина, що працює, проводить на виробництві значну частину свого життя. Тому для її нормальної життєдіяльності в умовах виробництва треба створити санітарні умови, які б дали змогу їй плідно працювати не перевтомлюючись та зберігаючи своє здоров'я. Для цього треба, щоб енергетичні витрати при праці компенсувалися відпочинком та умовами оточуючого середовища. Ці умови створюються забезпеченням для працюючого:

- 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 впливу 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.

Безпека виробничого обладнання, регламентується ГОСТ 12.2.061-81 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам» та забезпечується [15, с.86]: 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.

До посудин, що працюють під тиском, зокрема балонів з вуглекислим газом, що застосовуються при зварюванні труби з фланцями, ставляться такі вимоги: наявність паспорта (з характеристикою, відомостями про місцезнаходження, реєстраційний номер), забезпеченість приладами вимірювання тиску, підігрівачами газу та запобіжними пристроями.

Електробезпека - система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливої і небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електричного поля і статичної електрики, що регламентуються за ГОСТ 12.1.009-76 ССБТ «Электробезопасность. Термины и определения» [16, с.246].

Проходячи через організм людини, електричний струм викликає термічну, електролітичну, біологічну і механічну дії, наслідком чого є: місцеві (електротравми) електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічне пошкодження, електро-офтальмія; загальні (електроудари) ураження внутрішніх органів людини, головним чином серцевої та нервової систем.

Ураження струмом можливе в таких випадках: двофазний або однофазний дотик; контакт з неізольованими електропровідними частинами або електрообладнанням, яке опинилося під напругою; перебування в зоні дії атмосферної або статичної електрики, у зоні дії електромагнітного поля та попадання під крокову напругу в зоні розтікання електричного струму.

Заходи та засоби захисту працівників при експлуатації електричних установок:

- технічні: улаштування електроустановок, мереж відповідно до експлуатаційної напруги; недопущення випадкового доторкання до електропровідних частин; - облаштування захисних заземлень, занулення, відключення; - використання електричного струму з малими напругами, що не перевищують 42В; використання захисних засобів при обслуговуванні; використання запобіжників.

- організаційні: щоденний і періодичні огляди електроустановок; призначення осіб, відповідальних за організацію та проведення робіт; допуск до проведення робіт та обслуговування устаткування; нагляд за працівниками під час роботи.

Для запобігання виникненню пожеж на виробництві необхідне дотримання правил пожежної безпеки.

Основі поняття пожежної безпеки подаються у Законі України «Про пожежну безпеку» і регламентуються за ГОСТ 12.1.004-91 «Пожежна безпека. Загальні вимоги», постановами Кабінету Міністрів України, рішеннями органів виконавчої влади та місцевого самоврядування [15, с.97].

Пожежа спричиняє: руйнування будівельних конструкцій внаслідок втрати ними несучої здатності під впливом високих температур; паніку, яка викликана швидкими змінами психічного стану людини в екстремальних ситуаціях; ураження органів дихання та слизової оболонки димом і навіть смерть, оскільки полум'я досягає температури 1200...1400°C, а для людини температура 60°C є життєво небезпечною. Тому на виробництві необхідне суворе дотримання правил протипожежної безпеки.

## **7.2. Гігієна праці та виробнича санітарія**

Стан повітря робочої зони в виробничому приміщенні називають мікрокліматом. Мікроклімату виробничих приміщеннях повинні відповідати санітарним нормам та ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны ». Згідно з цим документом умови

нормуються як допустимі та оптимальні [15, с.76]. Допустимими називаються такі параметри мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину можуть викликати перехідні і такі, що швидко нормалізуються, зміни теплового стану організму, які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції.

Оптимальними називаються такі параметри мікроклімату, які при тривалій і систематичній дії на людину забезпечують збереження нормального теплового стану організму без напруження механізмів терморегуляції. Мікроклімат виробничих приміщень визначаються за такими параметрами: температурою повітря в приміщенні,  $^{\circ}\text{C}$ ; відносною вологістю повітря, %; швидкістю повітря, м/с; тепловим випромінюванням,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Оптимальними параметрами, встановленими ГОСТ 12.1.005 - 88, є наступні: температура повітря робочої зони, може коливатися залежно від сезону року і важкості виконуваної роботи від  $16^{\circ}\text{C}$  до  $25^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість 40...60%, швидкість руху повітря може коливатися від 0,2 до 0,5 м/с, а в приміщеннях з надлишком тепла до 1 м/с. Допустимими параметрами за цим стандартом є: температура повітря робочої зони може бути від 12 до  $30^{\circ}\text{C}$ , а відносна вологість до 75% [ 15, с.77].

Теплове опромінення працюючих, що виходить від нагрітого обладнання чи освітлювальних приладів на постійних і непостійних робочих місцях не повинно перевищувати 35  $\text{Вт}/\text{м}^2$  при опроміненні 50% і більше поверхні тіла, 70  $\text{Вт}/\text{м}^2$  при опроміненні від 25 до 50% поверхні тіла і 100  $\text{Вт}/\text{м}^2$  при опроміненні до 25% поверхні тіла людини [ 16, с. 142].

З метою забезпечення нормальних метеорологічних умов на виробництві з надлишком тепла застосовують: природну або механічну вентиляцію; теплоізоляцію нагрітого обладнання; екранування джерел теплового випромінювання, засоби індивідуального захисту та інше.

Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 та СН 245-71 нормуються граничнодопустимі концентрації різного пилу в робочій зоні виробничого приміщення.

Пил - це тонкодисперсні частинки у вигляді аерозолі або аерогелю, утворені при виробничих процесах. Пил розрізняють: органічний

(дерево, шкіра, бавовна), неорганічний (цемент, кварц) і змішаний (органічний та неорганічний).

Колективними засобами захисту від пилу є: вентиляція, герметизація, зволоження пиловидних матеріалів, брекетування і гранулювання пиловидних матеріалів. Індивідуальні засоби індивідуального захисту — респіратори, протигази, комбінезони, захисні окуляри.

Вентиляція - це організований і регульований обмін повітря для покращання метеорологічних умов у приміщеннях. Вентиляцію поділяють на: природну, механічну, змішану, загальнообмінну, місцеву та аварійну.

На виробництві різні технологічні операції спричиняють значний рівень шуму. Шум нормується ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Загальні вимоги безпеки» та «Санітарними нормами допустимих рівнів шуму на робочих місцях». Основою нормування є обмеження звукової енергії, яка діє на людину протягом робочої зміни значеннями, безпечними для її здоров'я і працездатності. Шум характеризується: інтенсивністю, звуковим тиском і частотою коливань. Основними шляхами зменшення шуму в джерелі виникнення є: звукоізоляція, звукопоглинання, архітектурно-планувальні заходи, засоби індивідуального захисту.

Вібрація - механічні коливання, при яких відбувається почергово зростання та спадання в часі значень, щонайменше однієї координати. Вібрація передається людині ручним інструментом, верстатами й механізмами. Гігієнічна характеристика вібрації здійснюється за ГОСТ 12.1.012-90 «Вібрація, Загальні вимоги безпеки». Вібрацію розрізняють: загальну (передається на тіло людини, що стоїть або сидить через опорні поверхні (сидіння, підлога) і локальну (передається на руки робітника при контакті з вібруючим інструментом). Засобами захисту від вібрації є: конструктивні зміни джерел вібрації для її усунення або віброізоляція [15, с.81].

Для освітлення виробничих приміщень використовують природне освітлення (створюється світлом неба прямим і відбитим); штучне, яке здійснюється електричними лампами; комбіноване, при якому природне освітлення

доповнюється штучним. Згідно з СНиП 11-4-79 «Природне і штучне освітлення» значення коефіцієнт природної освітленості при природному і комбінованому освітленні нормується залежно від характеристики зорової роботи. Нижче приведений розрахунок необхідного природного і штучного освітлення.

При звалюванні корпусу світильника необхідно забезпечити достатній рівень освітленості на складально-зварювальній дільниці, тому проведемо розрахунок необхідного природного і штучного освітлення дільниці.

Нормований рівень природної освітленості визначається площею світлових отворів у зовнішніх огороженнях на основі розрахунків при проектуванні. Визначаємо нормований рівень природної освітленості при боковому освітленні за формулою [16, с. 172]:

$$S_B = e_H * h_B * S_n * K_{зб} / t_0 * r_1 * 100, \quad (7.1)$$

де  $e_H$  - нормований коефіцієнт природної освітленості (КПО), для зорових робіт високої точності  $e_H = 2\%$  [16, с. 180];  $h_B$  - світлова характеристика вікна, орієнтовно приймається 8-15, приймаємо  $h_B = 11$ ;  $S_n$  - площа підлоги, орієнтовно приймаємо  $S_n = 50 \text{ м}^2$ ;  $K_{зб}$  враховує затінення вікон напроти стоячими будівлями, приймається в межах 1... 1,5, приймаємо  $K_{зб} = 1,2$ ;  $r_1$  - коефіцієнт, який враховує підвищення КПО від відбитого світла  $r_1 = 1,5 - 3,0$ , приймаємо  $r_1 = 2,5$ ;  $t_0$  - коефіцієнт світлопроникнення, приймаємо  $t_0 = 0,65$  [16, с. 180].

$S_B = 2 * 11 * 50 * 1,2 / 0,65 * 2,5 * 100 = 8,1 \text{ м}^2$ . Отже, для складально-зварювальної дільниці виготовлення труби з фланцями, необхідні вікна загальною площею понад 8,1 м<sup>2</sup>.

### **7.3. Стійкість роботи об'єктів господарської діяльності та основні шляхи її підвищення**

Під стійкістю роботи об'єкта господарської діяльності (ОГД) розуміють його спроможність в умовах надзвичайної ситуації випускати продукцію в запланованому обсязі та номенклатурі, а при отриманні середніх руйнувань або порушенні зв'язків з кооперації та поставок відновлювати виробництво.

Підвищення стійкості роботи ОГД досягається завчасним проведенням комплексу інженерно-технічних, технологічних та організаційних заходів, які спрямовані на максимальне зниження дії уражаючих факторів і створення умов для ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (НС).

Інженерно-технічні заходи - це комплекс робіт, що забезпечують підвищення стійкості виробничих будинків і споруд, обладнання, комунально-енергетичних систем.

Технологічні заходи забезпечують підвищення стійкості роботи об'єкта шляхом зміни технологічного процесу, що сприяє спрощенню виробництва продукції та усуває можливість виникнення вторинних уражаючих факторів [18, с.210]. Організаційні заходи передбачають розробку і планування дій керівного та командно-начальницького складу штабу, служб і формувань цивільної оборони при захисті робітників і службовців, проведенні рятувальних та інших невідкладних робіт, відновленні виробництва.

На стійкість роботи ОГД в умовах НС впливають наступні фактори: надійність захисту робітників та службовців; спроможність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти у визначеному ступеню уражаючих факторів стихійного лиха, аварій, катастроф та сучасних видів зброї; захищеність об'єкта від вторинних уражаючих факторів (пожеж, вибухів, зараження отруйними та сильнодіючими отруйними речовинами); надійність системи забезпечення об'єкта всім необхідним для виробництва (сировиною, паливом, комплектуючими вузлами і деталями, електроенергією, водою, газом та іншим); стійкість та безперервність управління виробництвом та цивільною обороною; підготовленість об'єкта до ведення рятувальних та інших невідкладних робіт і робіт щодо порушеного виробництва.

Надійно захистити виробничий персонал об'єкта можливо лише при комплексному використанні усіх основних способів, захисту.

Захист робітників та службовців досягається чотирма основними способами: укриття людей в захисних спорудах; проведення евакуаційних заходів; радіаційно-хімічний захист; медичний і біологічний захист.

Захист виробничих фондів полягає у підвищенні протидії будинків, споруд і конструкції об'єкта до уражаючих факторів та захисті технологічного обладнання, верстатів, систем і комунікацій та інших засобів, що формують основу виробничого процесу [18, с.209].

При проектуванні і будівництві нових цехів підвищення стійкості може бути досягнуто застосуванням для несучих конструкцій високоміцних і легких матеріалів (легованих сталей, алюмінієвих сплавів). Великий ефект досягається застосуванням для каркасних будинків полегшених конструкцій стінового заповнення і збільшенням світлових прорізів шляхом використання скла, панелей з пластиків й інших матеріалів, що легко руйнуються; їх руйнування при впливі ударної хвилі зменшує тиск на каркас споруди, а уламки таких матеріалів спричиняють набагато менші збитки устаткуванню. Також ефективний спосіб застосування панелей, що повертаються: легкі панелі на шарнірах кріпляться до каркасів колон споруд, від впливу динамічних навантажень вони розвертаються, що значно знижує дію ударної хвилі на несучі конструкції.

При будівництві і реконструкції промислових будівель і споруд необхідно застосовувати легкі та вогнестійкі покрівельні матеріали, полегшені міжповерхові перекриття і сходові марші, підсилюючи їх кріплення до балок. Обвалення цих матеріалів і конструкцій принесе меншу шкоду устаткуванню, ніж важких залізобетонних [19, с.269].

Заходи щодо підвищення стійкості технологічного і верстатного устаткування повинні бути спрямовані на забезпечення його збереження для випуску продукції після надзвичайної ситуації. Таке устаткування, а також вимірювальні та випробувальні прилади, як правило, розміщуються у виробничих будинках і тому отримують пошкодження не тільки від впливу ударної хвилі, а й від уламків елементів будівельних конструкцій, що обрушуються, і вторинних вражаючих факторів; надійно захистити їх практично неможливо. Однак підвищити стійкість устаткування можна, підсилюючи його найбільш слабкі елементи і створюючи запаси цих елементів, окремих вузлів і деталей,



матеріалів та інструментів для ремонту і відновлення пошкоджень.

Машини й агрегати великої цінності бажано встановлювати в будівлях, що мають полегшені конструкції і конструкції, що повільно загоряються, обвалення яких не призведе до руйнування цих пристроїв. Важке устаткування розміщують, по можливості, на нижніх поверхах виробничих будівель. Деякі види технологічного устаткування доцільно розмістити поза будинками, на відкритому майданчику під навісами; це виключить руйнування його уламками загороджувальних конструкцій.

Основні шляхи створення надійних систем і комунікацій об'єктів господарської діяльності [18, с.209]: підвищення стійкості електрозабезпечення:

- розподіл схеми електромереж на незалежно працюючі частини; закілювання електромереж та підключення їх до декількох джерел енергозабезпечення; створення резерву дизельних електростанцій; підвищення стійкості систем водопостачання; водопостачання від двох незалежних джерел, одне з яких підземне; захист вододжерел та резервуарів чистої води; створення обвідних (байпасних) ліній навколо водонапірних веж; підвищення стійкості систем газу, тепло- та паливо- забезпечення; розподільні газопроводи робити підземними та передбачати їх кільцювання; газорозподільні станції та опорні пункти обвідних газопроводів передбачати в підземному варіанті; встановлювати в основних вузлових точках систем газозабезпечення автоматичні вимикаючі пристрої, які спрацьовують при аваріях.

Підвищення протилежної стійкості ОГД здійснюють наступними заходами: максимальним скороченням запасів паливо та вибухонебезпечних речовин; проведенням профілактичних протипожежних заходів; підготовкою сил і засобів пожежогасіння.

## **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.

Згідно з законами України «Про охорону навколишнього і природного середовища» [20, с.7] та «Про екологічну експертизу» [20, с.323] даний дипломний проект необхідно проаналізувати з точки зору негативного впливу на довкілля і віднайти шляхи зменшення цього впливу.

### **8.2. Забруднення довкілля, що виникають при виготовленні світильника**

Технологічний процес виготовлення світильника складається з таких основних операцій: заготівельні, складальні, зварювальні, опоряджувальні і 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 гону прокату. Пил утворюється, головним чином, в

результаті подрібнення окалини валками, при цьому біля 20 % пилу має розмір часток менше 10 мкм [21, с.29].

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 [22, с.48].

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 [22, с.50].

Шкідливі речовини, що виділяються при електродуговому зварюванні сталей у вуглекислому газі плавким електродом наведені в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 - Виділення шкідливих речовин у повітря при електродуговому зварюванні сталей в середовищі вуглекислого газу плавким електродним дротом [22, с.52]

| 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 бризг 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 [22, с.53].

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 пенвмоапаратури складально-зварювального обладнання. Теплове і світлове випромінювання виникають при зварювати 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, милами, 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, сульфіді та інші) [21, с.47].

### 8.3. 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 [21, с.72].

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 опускається в нижню частину циклону, а звідти в пилозбірник [21, с.73]. Для тонкого очищення повітря в промисловості широко застосовуються фільтри. Повітряними фільтрами

називають установки, призначені для відокремлення пилю з повітря та газів. Процес фільтрації проходить за рахунок затримання частинок пилю 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 [22, с.156].

Таким чином для очищення повітря при виготовленні даного виробу від пилю при заготівельних операціях доцільно застосовувати систему послідовно сполучених циклонів і волокнистих фільтрів. А для очищення повітря від масляного туману необхідно застосовувати тумановловлювачі.

Засоби захисту від енергетичного забруднення (шуму, вібрацій, теплового і світлового випромінювання) можуть бути колективними і індивідуальними. Зокрема при механічній обробці зварюваних деталей виникають значний шум і вібрація, тому необхідно застосовувати індивідуальні засоби захисту - спецодяг, протишуми, гумові настили та інші. При зварюванні даного виробу виникають теплове і світлове випромінювання, тому необхідно застосовувати такі колективні засоби захисту як захисні щитки і огорожувальні щити.

Механічне очищення застосовують для вилучення із стічних вод нерозчинених мінеральних та органічних домішок з метою підготовки до біологічного, фізико-хімічного або іншого методу очищення. Механічне очищення є попереднім, етапом очищення стічних вод. Проціджування через решітки як різновид механічного очищення призначене в основному для вилучення зі стічних вод крупних твердих нерозчинених частинок розміром до 25 мм, а також дрібних волокнистих частинок, які при подальшій обробці стоків є перешкодою для нормальної роботи очисного обладнання. Після проціджування стічні води проходять процес відстоювання, тобто осідання твердих частинок, і фільтрування [22, с.240]. А для очищення стічних вод від органічних забруднень застосовують фізико-хімічне очищення.

## ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі магістра розроблено питання щодо вдосконалення технологічного процесу та вибору раціонального зварювального устаткування і пристосувань для виготовлення корпусу світильника. У порівнянні з базовим варіантом у проектному варіанті запропоновано удосконалену технологію складання і зварювання корпусу світильника одноконтakтним точковим зварюванням;

Проведено дослідження впливу термодформаційного циклу зварювання на структуру і властивості зварного з'єднання. При проектуванні складально-зварювальних пристосувань застосовувалася САПР-система, що містить технічні засоби, математичне, програмне та інформаційне забезпечення.

Запропоновано ряд заходів з охорони праці і техніки безпеки, безпеки життєдіяльності і цивільної оборони. Для зменшення впливу на навколишнє середовище при виробництві даного виробу рекомендується проведення ряд заходів по очищенню стічних вод і повітря.

Внаслідок впровадження у виробництво запропонованого вдосконаленого технологічного процесу та зварювального устаткування і пристосувань для виготовлення світильника досягнуто: рівень механізації і автоматизації зріс на 66,7 %; зростання продуктивності праці на 79,7 %; підвищення якості продукції за рахунок застосування автоматичних складально-зварювальних пристосувань.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Думов С.И. Технология электрической сварки плавлением. –Л.: Машиностроение, 1987. - 461 с.
2. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. В'яткин и др.; Под общ. ред. В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
3. Теория сварочных процессов / Под ред. В.В. Фролова. - М.: Высшая школа, 1988. - 559 с.
4. Технология и оборудование сварки плавлением / Г.Д. Никифоров, Г.В. Бобров, В.М. Никитин, В.В. Дьяченко; Под общ. ред. Г.Д. Никифорова. - М.: Машиностроение, 1986. - 320 с.
5. Акулов А.И., Бельчук Г.А. и Демянчев В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. - М.: Машиностроение, 1977. - 432 с.
6. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника. - К.: Техніка, 2002. - 336 с.
7. Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация и контроль качества в сварочном производстве. - М.: Высшая школа, 1991. - 398 с.
8. Контроль качества сварки / Под ред. В.Н. Волченко. - М.: Машиностроение, 1975. - 328 с.
9. Юрьев В.П. Справочное пособие по нормированию материалов и электроэнергии для сварочной техники. - М.: Машиностроение, 1972. - 152 с.
10. Сварные конструкции. Расчет и проектирование / Под общ. ред. Г.А. Николаева. - М.: Высшая школа, 1990. - 446 с.
11. Конструирование и расчет механического сварочного оборудования / Севбо П.И. - К.: Наукова думка, 1978. - 400 с.
12. Методичні вказівки до виконання організаційно-економічної частини дипломних проектів та курсової роботи по дисципліні «Організація, планування і управління машинобудівним виробництвом (ОП і УВ)» для студентів



спеціальності «Обладнання і технологія зварювального виробництва». - Тернопіль: Тернопільський приладобудівний інститут, 1993. – 40 с.

13. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. - К.: Вища школа, 1993. - 556 с.

14. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х томах, Т. 2. - М.: Машиностроение, 1978. - 559 с.

15. Грищук М.В. Основи охорони праці. - К.: Кондор, 2005. - 240 с.

16. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці. - К.: Каравела, 2004. - 408 с.

17. Джигирей В.С., Жидецький В.Ц. Безпека життєдіяльності. - Львів: Афіша, 2001. -256 с.

18. Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. Цивільна оборона / За ред. В.С.Франчука. - Львів: Афіша, 2000. - 336 с.

19. Шоботв В.М. Цивільна оборона. - К.: Центр навчальної літератури, 2006. - 438 с.

20. Екологічне законодавство України: збірник нормативних актів / Під ред. І.О.Зайця. - К.: Юрінком Інтер, 2001. -416 с.

21. Охрана окружающей среды / Под ред. Белова С.В. - М.: Высшая школа. 1983. -264 с.

22. Промислова екологія / С.О. Апостолук, В.С. Джигирей, А.С. Апостолук та ін. - К.: Знання, 2005. - 474 с.

## **ДОДАТКИ**