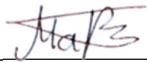


Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
Херсонський навчально-науковий інститут

Кафедра зварювання

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 к.т.н., доцент Матвієнко М.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Розробка технології складання і зварювання  
важеля мостового крану.

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

 Керівник  
 Рецензент

 Колбасін Микола Миколайович  
(прізвище та ініціали)

Спіхтаренко Володимир Володимирович  
(прізвище та ініціали)

Ярос Ю.О.  
(прізвище та ініціали)

Херсон 2025 р.

Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова  
Херсонський навчально-науковий інститут

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

 **Гарант освітньої програми**  
**доц. В.В. Спіхтаренко**  
“ 15 ” червня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
**на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»**

студенту Колбасін Микола Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розробка технології складання і зварювання важелю мостового крану.**

керівник роботи Спіхтаренко Володимир Володимирович, доцент, кафедри зварювання ХННІ

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

затверджені розпорядженням ХННІ від “12” березня 2025 року № 7

2. Строк подання студентом роботи 12.06.2025

3. Вихідні дані до проекту Креслення виробу, матеріал сталь 12ХН2, річна програма 5000 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Загальна характеристика конструкції, характеристика основного металу, типові характеристики складання і зварювання машинобудівних деталей; обґрунтування вибору способів зварювання, розрахунок режимів зварювання, розрахунок термічного циклу, аналіз очікуваної структури зони термічного впливу, принципова послідовність складання і зварювання, методи контролю та випробувань

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

1. Тема роботи. 2. Мета роботи, завдання, результати. 3. Загальний вигляд виробу. 4. Характеристика та механічні властивості основного металу 5. Конструктивні елементи та режими зварювання. 6. Розрахунок термічного циклу. 7. Технологічний процес складання та зварювання. 8. Розрахунок собівартості зварювання виробу. 9. Висновки по роботі.

6. Консультанти розділів проекту

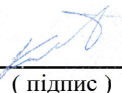
| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата                                                                        |                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|        |                                           | завдання видав                                                                      | завдання прийняв                                                                    |
| 1      | доцент Спідтаренко В.В.                   |  |  |
| 2      | доцент Спідтаренко В.В.                   |  |  |
| 3      | доцент Спідтаренко В.В.                   |  |  |
|        |                                           |                                                                                     |                                                                                     |

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №з /п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                                                                                         | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз конструктивних особливостей конструкції, матеріалу і можливих варіантів технологічного процесу її складання і зварювання. | 15.05.25                                |          |
| 2     | Розрахунки технології зварювання                                                                                                 | 22.05.25                                |          |
| 3     | Технологічний процес складання та зварювання конструкції                                                                         | 29.05.25                                |          |
| 4     | Економічна оцінка проектних розробок.                                                                                            | 5.06.25                                 |          |
|       | Графічна частина                                                                                                                 | 10.06.25                                |          |
|       |                                                                                                                                  |                                         |          |

Студент

  
(підпис)

**Колбасін М.М.**

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

**Спідтаренко В.В.**

(прізвище та ініціали)

## Анотація

Кваліфікаційна робота присвячена розробці технології складання та зварювання ва-  
желя мостового крану. У роботі проведено аналіз конструкції виробу, умов його експлуа-  
тації та вимог до надійності й міцності зварного з'єднання. Розглянуто властивості основ-  
ного матеріалу — конструкційної легованої сталі 12ХН2, проаналізовано її зварюваність та  
обґрунтовано вибір способу зварювання. Розроблено технологічний процес складання і зва-  
рювання виробу, визначено послідовність виконання операцій, вибрано зварювальні мате-  
ріали та обладнання. Виконано розрахунок режимів зварювання, тепловкладення та основ-  
них технологічних параметрів процесу. Також розглянуто можливі дефекти зварних з'єд-  
нань і методи контролю їх якості. У роботі приділено увагу питанням охорони праці та без-  
пеки під час виконання зварювальних робіт. Запропонована технологія забезпечує підви-  
щення якості зварних з'єднань, надійність конструкції та ефективність виробництва.

Ключові слова: зварювання, зварні конструкції, технологія зварювання, скла-  
дання і зварювання, мостовий кран, важіль крану, зварюваність сталі, зварювальні матері-  
али, режими зварювання.

## Abstract

The qualification work is devoted to the development of the technology of assembly and  
welding of the bridge crane lever. The work analyzes the design of the product, its operating  
conditions and requirements for the reliability and strength of the welded joint. The properties of  
the main material - structural alloy steel 12KhN2 - are considered, its weldability is analyzed and  
the choice of the welding method is justified. The technological process of assembly and welding  
of the product is developed, the sequence of operations is determined, welding materials and  
equipment are selected. The calculation of welding modes, heat input and main technological  
parameters of the process is performed. Also, possible defects of welded joints and methods of  
controlling their quality are considered. The work pays attention to the issues of labor protection  
and safety during welding work. The proposed technology ensures an increase in the quality of  
welded joints, reliability of the structure and production efficiency.

Keywords: welding, welded structures, welding technology, assembly and welding,  
overhead crane, crane lever, weldability of steel, welding materials, welding modes.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 4    |

## ЗМІСТ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                          | 7  |
| 1 Аналіз конструктивних особливостей та матеріалу важелю мостового крану .....       | 10 |
| 1.1 Загальна характеристика конструкції .....                                        | 11 |
| 1.2 Характеристика основного металу .....                                            | 11 |
| 1.3 Аналіз базового технологічного процесу .....                                     | 14 |
| 1.4 Висновки. Мета і завдання дипломного проекту .....                               | 16 |
| 2 Розрахунки технології зварювання .....                                             | 17 |
| 2.1 Обґрунтування вибору способів зварювання .....                                   | 18 |
| 2.1.1 Зварювання порошковим дротом .....                                             | 18 |
| 2.1.2 Механізоване і автоматичне зварювання під шаром флюсу .....                    | 19 |
| 2.1.3 Механізоване і автоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу .....     | 19 |
| 2.1.4 Механізоване і автоматичне зварювання в середовищі суміші захисних газів ..... | 20 |
| 2.2 Розрахунок режимів зварювання .....                                              | 21 |
| 2.3 Розрахунок термічного циклу при зварюванні та аналіз структури металу ЗТВ .....  | 29 |
| 2.3.1 Розрахунок термічного циклу таврових з'єднань Т7, Т3 ...                       | 31 |
| 2.4 Аналіз очікуваної структури ЗТВ .....                                            | 35 |
| 3 Технологічний процес складання та зварювання конструкції .....                     | 38 |
| 3.1 Принципова послідовність складання і зварювання .....                            | 39 |
| 3.2 Оцінка технологічної зварюваності .....                                          | 40 |
| 3.3 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів .....                               | 41 |
| 3.4 Вибір зварювального устаткування .....                                           | 45 |
| 3.5 Методи контролю якості та випробувань .....                                      | 50 |
| 4 Економічна оцінка проектних розробок .....                                         | 54 |
| 4.1 Нормування основних зварювальних операцій .....                                  | 55 |

|                                             |                                                             |           |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2                                         | Пропонована технологія.....                                 | 56        |
| 4.3                                         | Визначення технологічної собівартості.....                  | 58        |
| 4.4                                         | Визначення вартості зварювальних матеріалів .....           | 58        |
| 4.5                                         | Витрати на амортизаційні відрахування по устаткуванню ..... | 61        |
| 4.6                                         | Загальнорічні витрати з фонду заробітної плати.....         | 63        |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО ДИПЛОМНІЙ РОБОТІ ..... |                                                             | 66        |
| <b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b> |                                                             | <b>67</b> |
| <b>ДОДАТОК .....</b>                        |                                                             | <b>68</b> |

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 6    |

## ВСТУП

Зварювання - технологічний процес отримання нероз'ємних з'єднань матеріалів за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між частинами, що зварюються при їх місцевому або пластичному деформуванні, або спільній дії того й іншого.

Зварюванням з'єднують як однорідні, так і різнорідні метали і їх сплави, метали з деякими неметалевими матеріалами (керамікою, графітом, склом та ін.), а також пластмаси. Зварювання - економічно вигідний, високопродуктивний і в значній мірі механізований технологічний процес, який широко застосовується у всіх галузях промисловості.

Фізична сутність процесу зварювання полягає в утворенні міцних зв'язків між атомами і молекулами на з'єднувальних поверхнях заготовок. Для утворення з'єднання необхідне виконання таких умов: звільнення зварювальних поверхонь від забруднень, оксидів та адсорбованих на них чужорідних атомів; енергетична активація поверхневих атомів, що полегшує їх взаємодію один з одним; зближення зварювальних поверхонь на відстань, порівнянне з міжатомних відстанню в зварюваних заготовках. Зварювальне виробництво охоплює великий комплекс різних за своїм характером технологічних операцій, починаючи від операцій виготовлення заготовок і деталей, і закінчуючи обробкою готових зварювальних виробів. Якщо врахувати, що заготівельні операції по виду обробки металів можуть бути дуже різнорідними (газове різання, гнуття, штампування, механообробка різанням - струганням, фрезеруванням) і що в технологічному процесі позначені складальні операції, а іноді і термічні, то стане очевидним, що зварювальне виробництво за своєю структурою значно складніше, аніж зазвичай виробництва спеціалізованого для якого-небудь одного виду металообробки.

Широке застосування механізації й автоматизації трудомістких процесів вирішує наступні нерозривно зв'язані технічні й економічні задачі:

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 7    |

1. Збільшення продуктивності праці за рахунок полегшення його умов, шляхом заміни ручної праці роботою механізмів.

2. Скорочення загальної кількості (основних і допоміжних) операцій за рахунок усунення деяких з них, або сполучення їх у часі з іншими при механізації ручної праці.

3. Скорочення числа контрольно-приймальних операцій, шляхом заміни системи суцільного контролю продукції системою вибіркового контролю, можливих тільки при механізації або автоматизації технологічних операцій, що забезпечує високий ступінь однорідності виконуваних робіт.

4. Зменшення трудомісткості процесу виробництва в цілому за рахунок полегшення умов праці і скорочення загального числа робочих операцій.

5. Підвищення якості продукції шляхом забезпечення високого ступеня її однорідності й усунення у механізованому виробництві залежності якості виробів від різної кваліфікації робітників.

6. Скорочення необхідного складу виробничих робітників при механізації й автоматизації операцій, особливо з застосуванням сполучення професій і багатостатного обслуговування.

7. Значне зменшення необхідних площ для розміщення виробничого процесу за рахунок скорочення числа робочих місць при заміні ручної праці більш продуктивною роботою механізмів.

8. Скорочення тривалості виробничого циклу виготовлення виробів шляхом прискорення виконання робочих операцій при їхній механізації і за рахунок зменшення загального їхнього числа.

9. Зниження вартості продукції шляхом зменшення прямих виробничих витрат при збільшенні продуктивності праці за рахунок зменшення питомих цехових експлуатаційних витрат.

10. Прискорення оборотності оборотних коштів і зменшення необхідної для виробництва суми цих засобів у наслідку скорочення тривалості виробничого циклу виготовлення виробів.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                            |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 8    |

Сумарні результати рішень перерахованих вище задач дуже впливають на зменшення необхідної площі цеху для розміщення в ньому необхідних виробничих процесів і на їхню економічну ефективність. При цьому досягається найбільш раціональне ущільнене планування всіх робочих місць і виробничого обладнання в прольотах цеху, істотне збільшення пропускної здатності всіх його робочих ділянок і знімання продукції з кожного квадратного метра площі цеху, а також значне поліпшення всіх інших його техніко-економічних показників.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                            | 9    |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

|             |      |                |        |      |                                                                          |      |      |         |
|-------------|------|----------------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------|------|------|---------|
|             |      |                |        |      | ДР.131.4121зш. 01.01.04. ПЗ.                                             |      |      |         |
|             |      |                |        |      |                                                                          |      |      |         |
| Змін.       | Арк. | № документа.   | Підпис | Дата |                                                                          |      |      |         |
| Студент     |      | Колбасін М.М.  |        |      | 1 Аналіз конструктивних особливостей та матеріалу важелю мостового крану | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник    |      | Спіхтаренко В. |        |      |                                                                          |      | 10   | 7       |
| Консультант |      |                |        |      |                                                                          | ХННІ |      |         |
| Н. Контр.   |      |                |        |      |                                                                          |      |      |         |
| Зав.кафедр. |      | Матвієнко М.В. |        |      |                                                                          |      |      |         |

## 1.1 Загальна характеристика конструкції

Дана зварна конструкція - важіль, входить в установку верхніх блоків механізму головного підйому мостового крана. Кран мостовий - це кран, який має вантажозахватний пристрій і підвішується до візка з вантажним пристроєм або талем, які здатні переміщатися по рухомому сталевому мосту. Можна відзначити, що важіль відчуває динамічне навантаження і працює на зріз. У конструкцію виробу входить 4 позицій (ребра і бонк). Товщини деталей, що входять в вузол 12 мм .. Конструкція працює в нормальних умовах, не в агресивному середовищі при позитивних температурах.

Існуючі технічні вимоги пред'являються до зварної конструкції, а зокрема: рівномірність швів без концентраторів напруги, після зварювання обов'язкова термообробка

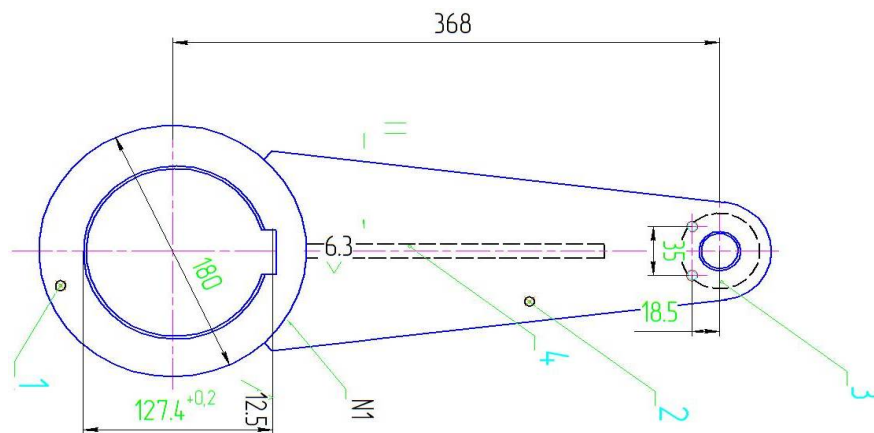


Рисунок 1.1 Важіль мостового крану

## 1.2 Характеристика основного металу

Під технологічною зварюваністю розуміють здатність металів утворювати міцні з'єднання за рахунок значного зменшення їх технічних властивостей в самому з'єднанні і в прилеглої до нього наколошовній зоні. Сталь 12ХН2 (замінювачі: 12ХН3)- конструкційна легована хромонікелева. Дана

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 11   |

сталь застосовується для виготовлення шестерні, валів, черв'яків, кулачкових муфт, поршневих пальців і інших цементуємих деталей, до яких пред'являються вимоги високої міцності, пластичності і в'язкості серцевини і високою поверхневою твердістю, що працюють під дією ударних навантажень і при мінусових температурах. Температура початку ковки 1250°C, кінця - 800°C. Перетини до 100 мм охолоджуються на повітрі, 101-300 в мульді.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталі 12ХН2

| Склад елементів, % |             |           |          |     |     |       |       |
|--------------------|-------------|-----------|----------|-----|-----|-------|-------|
| C                  | Si          | Mn        | не більш |     |     |       |       |
|                    |             |           | Cr       | Ni  | Cu  | P     | S     |
| 0,09...0,16        | 0,17...0,37 | 0,3...0,6 | 0,9      | 1,9 | 0,3 | 0,035 | 0,035 |

C – вуглець - один з найбільш важливих домішок, що визначає міцність, в'язкість, закалюємість і особливо, зварюваність сталі. Так, як вміст вуглецю лежить у межах (0,09...0,16) %, то дана сталь ставиться до першої групи по зварюваності.

Mn – марганець, його вводять у сталь для розкислення, тобто для усунення шкідливих домішок закису заліза. Він підвищує міцність, мало впливає на пластичність.

Si – кремній розкислює сталь. Він структурно не виявляється, тому що повністю розчиняється у фериті, крім тої частини кремнію, які у вигляді окису кремнію не встигнули спливати в шлаки й залишилися в сталі. Кремній підвищує межу міцності й в'язкість.

Cr – хром підсилює загартованість, у невеликих кількостях збільшує ударну в'язкість.

Ni – нікель збільшує пластичні й міцні властивості сталі, подрібнює зерна, не погіршуючи зварюваність.

P – фосфор, розчиняючись у фериті, підвищує температуру переходу в хрипкий стан і приводить до появи холодних тріщин.

S – сірка робить сталь крихкою, приводить до утворення гарячих тріщин.

Cu - мідь підвищує корозійну стійкість, пластичність.

Таблиця 1.2 Механічні властивості сталі 12ХН2

| Режим термообробки                                                   | Тимчасовий опір, МПа | Границя плинності, МПа | Відносне подовження, % | Ударна в'язкість, Нм/см <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                                                      | не менш              |                        |                        |                                      |
| Загартування 860°С, вода або масло. Відпуск 180°С, повітря або масло | 780                  | 590                    | 12                     | 88                                   |

Спільна присутність в сталі 12ХН2 хрому і нікелю надає їй найкращий комплекс механічних і технологічних властивостей, в першу чергу високу міцність, в'язкість, прокаліваємість. Хромонікелева сталь марки 12ХН2 застосовується після цементації, загартування і низького відпуски для виготовлення великих деталей особливо відповідального призначення, які відчують в процесі експлуатації значні ударні навантаження. Одночасне легування хромом і нікелем підвищує міцність, пластичність і в'язкість цементованного шару і серцевини. Висока прокалюємість і закалюємість хромонікелевих сталей дозволяє гартувати великі деталі з охолодженням в маслі, що знижує ймовірність виникнення викривлення і гартівних тріщин. Хромонікелева сталь 12ХН2 малочутлива до перегріву при тривалій цементації. Слід зазначити також негативний вплив грубої вихідною феррито-перлітною структури сталі 12ХН2 з чітко вираженою текстурою прокатки. Через таку структуру ця сталь, незважаючи на найнижчий вміст вуглецю, схильна до зростання зерна при зварюванні на потужних режимах. Мабуть, це пов'язано з інтенсивними рекристалізаційними процесами в температурному інтервалі фазових перетворень.

Зварювання легованої конструкційної сталі 12ХН2 дещо ускладнена через схильність до загартування околошовній зоні і утворення в ній тендітних структур.

$$C_{\text{екв}} = 0,12 + \frac{0,4}{6} + \frac{0,27}{24} + \frac{1,7}{10} + \frac{0,7}{5} = 0,51\%$$

Так як  $C_{\text{екв}} > 0,45\%$ , то при зварюванні це може привести до утворення холодних тріщин.

Тому зварювання необхідно проводити з підігрівом.

Температура підігріву розраховується з урахуванням товщини металу:

$$C_1 = 0,005 * \delta * C_{\text{екв}} = 0,005 * 12 * 0,51 = 0,031\%$$

де  $\delta$  - товщина металу, мм

Повний еквівалент вуглецю становить:

$$C_2 = C_1 + C_{\text{экв}} = 0,031 + 0,51 = 0,541\%$$

Температура підігріву становить:

$$T_{\text{під}} = 350 * \sqrt{C_2 - 0,25} = 350 * \sqrt{0,541 - 0,25} = 188^\circ\text{C}$$

### 1.3 Аналіз базового технологічного процесу

Технологічний процес виготовлення важелю, що діє на базовому підприємстві полягає в наступному. Виріб розбивається на підузли, які збираються й зварюються на окремих робочих місцях виготовлення конструкції.

Складання й зварювання проводиться в складальних і зварювальних пристосуваннях. Рівень механізації й автоматизації при цьому невеликий — затиснення деталей при складанні і зібраних вузлів при зварюванні здійснюється механічними притисками, установлення й знімання деталей і вузлів виконується тільки за допомогою мостових кранів, зварювальні кантователі мають ручні приводи обертання, прихвати проводять ручним дуговим зварюванням, зварювання здійснюється напівавтоматичним способом у середовищі

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 14   |

вуглекислого газу за допомогою напівавтомата. У якості присадочного матеріалу використовується зварювальний дріт марки Св- 08Г2С, а прихвати виконують електродами УОНИ-13/55. Регулювання зварювального струму на постах за допомогою баластових реостатів.

Результати аналізу дають можливість прийти до наступних висновків. Рівень механізації й автоматизації технологічного процесу виготовлення конструкції цілком відповідає тому типу виробництва, який використовується на базовому підприємстві. Однак при крупносерійному типі виробництва він є недостатнім. Виконання прихватів ручним дуговим зварюванням також не прийнятне. До того ж захист зони зварювання вуглекислим газом приводить до зниження ударної в'язкості металу зварювального шва.

Недоліком базового технологічного процесу є також і те, що складання, хоча й має на увазі розчленовування на технологічні вузли, виконується в тому самому пристосуванні, тобто вимагає повернення виробу.

При регулюванні зварювального струму за допомогою баластового реостата спостерігаються значні втрати потужності, що знижують КПД поста.

У проектованому виробництві деякі операції технологічного процесу й умови організації виробництва будуть змінені в порівнянні з прийнятими на базовому підприємстві. Зокрема будуть замінені гвинтові притиски на пневматичні, складальне пристосування буде розділено на два. У зварювальних кантователях будемо застосовувати електропривод замість ручного. На робочих місцях будуть установлені консольно-поворотні крани для установки й знімання деталей і вузлів.

Прихвати у проектованому технологічному процесі будемо виконувати напівавтоматичним способом. Зварювання вузла й прихвати листів на завершальній стадії проводиться на різних робочих місцях із застосуванням в останньому випадку напівавтоматичного способу. Напівавтомат для зварювання замінений на більш сучасну модель із плавним регулюванням швидкості подачі дроту. Захист зони зварювання здійснюється сумішшю захисних газів.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 15   |

#### 1.4 Висновки. Мета і завдання дипломного проекту

Аналіз особливостей конструкції виробу, методів зварювання, які застосовуються, показав, що необхідно використовувати більш раціональні методи зварювання:

- при зварюванні виробу значний об'єм робіт займає ручне і механізоване зварювання;
- великий об'єм ручних робіт.

Метою дипломного проекту є удосконалення технології складання та зварювання важелю.

Для вирішення поставленої мети, необхідно вирішити наступні завдання:

- спроектувати механізовану ділянку складання та зварювання даної деталі;
- розробити технологію виготовлення з більш високою продуктивністю праці;
- замінити зварювальне обладнання більш продуктивним;
- розрахувати режими зварювання;
- виконати розрахунок термічного циклу;
- виконати розрахунок очікуваної структури ЗТВ при зварюванні;
- виконати розрахунок економічної ефективності від втілення пропонуваніх технічних рішень.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 16   |

|             |      |                |        |      |                                           |  |  |      |  |      |         |  |
|-------------|------|----------------|--------|------|-------------------------------------------|--|--|------|--|------|---------|--|
|             |      |                |        |      | ДР.131.4121зш.01.02.04.ПЗ.                |  |  |      |  |      |         |  |
|             |      |                |        |      |                                           |  |  |      |  |      |         |  |
| Змін.       | Арк. | № документа.   | Підпис | Дата |                                           |  |  |      |  |      |         |  |
| Студент     |      | Колбасін М.М.  |        |      | 2 Розрахунки технології<br><br>зварювання |  |  | Літ. |  | Арк. | Аркушів |  |
| Керівник    |      | Спіхтаренко В. |        |      |                                           |  |  |      |  | 17   | 21      |  |
| Консультант |      |                |        |      |                                           |  |  | ХННІ |  |      |         |  |
| Н. Контр.   |      |                |        |      |                                           |  |  |      |  |      |         |  |
| Зав.кафедр. |      | Матвієнко М.В. |        |      |                                           |  |  |      |  |      |         |  |

## 2.1 Обґрунтування вибору способів зварювання

Для різних способів зварювання вимоги до конструктивних елементів підготовки крайок і розмірами швів регламентуються відповідним стандартом. Зварні з'єднання для фіксації входять до них деталей відносно один одного і витримування необхідних зазорів перед зварюванням збирають в складальних пристосуваннях або за допомогою прихваток. Довжина прихваток залежить від товщини металу. Площа перетину прихваток дорівнює приблизно  $1/3$  площі перетину шва, але не більше  $25 \dots 30 \text{ мм}^2$ .

Прихватки виконують зазвичай покритими електродами або механізованим зварюванням в вуглекислому газі. Їх рекомендується накладати з боку, зворотної накладення основного однопрохідного шва або першого шару в багатопрохідних швах.

При зварюванні прихватки слід переплавляти повністю, так як в них можуть утворюватися тріщини через високу швидкість відводу тепла. Тому перед зварюванням прихватки ретельно зачищають і оглядають. При наявності в прихватки тріщини її вирубують або видаляють іншим способом.

При автоматичному зварюванні передбачають застосування прийомів, що забезпечують попередження прожогів і якісний провар кореня шва. Для попередження утворення в швах пір, тріщин, непроварів та інших дефектів зварюємі кромки перед зварюванням ретельно зачищають від шлаку, що залишився після термічного різання, іржі, масла та інших забруднень.

Дана сталь може зварюватись різними способами зварювання.

### 2.1.1 Зварювання порошковим дротом

Зварювання відкритою дугою порошковим дротом є одним з перспективних способів. У промисловості знаходять застосування порошкові дроти марок ПП-1ДСК, ПП-2ДСК, ПП-АНЗ, ПП-АН-4, ЕРС-15/2 та ін. Використання дроту ПП-1ДСК при зварюванні кутових і стикових швів з зазором між крайками може привести до отримання в швах пір.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 18   |

Дріт ЕРС-15/2 для отримання швів без пір вимагає дотримання режимів у вузькому діапазоні. Великі робочі струми обмежують застосування цієї дроту для зварювання металу малої товщини.

### 2.1.2 Механізоване і автоматичне зварювання під шаром флюсу

Механізоване і автоматичне зварювання під шаром флюсу виконують суцільний електродним дротом, який подається в зону зварювання спеціальним механізмом. Зварювальна дуга горить під зернистим сипучим матеріалом, який називається зварювальний флюс. Під дією тепла зварювальної дуги розплавляється електродний дріт, основний метал і частина флюсу. Розплавлений флюс захищає дугу і метал в зоні зварювання від шкідливого впливу навколишнього середовища. У міру переміщення зварювальної дуги флюс твердне і утворює жувільну кірку, яка легко відділяється від металу шва.

Гідність цього способу полягає в можливості значного збільшення зварювального струму, глибини проплавлення і, як наслідок, підвищення продуктивності. Продуктивність зварювання під шаром флюсу в 5-10 разів вище, ніж при ручному дуговому зварюванні. Значно збільшується коефіцієнт наплавлення. Якщо при ручному дуговому зварюванні покритими електродами марки УОНИ - 13/55 цей коефіцієнт становить  $\alpha_n = 9 \text{ г/А} \cdot \text{год}$ , то при зварюванні під флюсом  $\alpha_n = 12-16 \text{ г/А} \cdot \text{год}$ . Втрати на угар і розбризкування становлять 1-3%.

Недоліком є неможливість візуального спостереження за формуванням зварного шва, необхідність зачистки зварного шва від шлакової кірки, а також просушування флюсу перед зварюванням.

### 2.1.3 Механізоване і автоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу

Механізоване зварювання в  $\text{CO}_2$  характеризується високою продуктивністю і низькою вартістю в порівнянні з ручним дуговим зварюванням. При зварюванні в  $\text{CO}_2$  зміна властивостей металу в околосшовної зоні істотно

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 19   |

відрізняється від аналогічних змін властивостей при зварюванні під флюсом тим, що тут значно менший термічний вплив на основний метал, не потрібно флюсоутримуючих пристосувань. Зварювання у  $\text{CO}_2$  можливе в будь-якому просторовому положенні, зручно здійснювати візуальний контроль за напрямком зварювальної дуги і формуванням зварного шва. Недоліком механізованого зварювання в  $\text{CO}_2$  є необхідність захисту від протягів, так як в цьому випадку рухливі потоки повітря відтісняють вуглекислий газ із зони зварювання, що знижує захисну дію вуглекислого газу від азоту і кисню повітря. Це, в свою чергу знижує якість зварних швів і сприятливо діє на утворення пор. При зварюванні на невеликих токах спостерігається сильне розбризкування металу, зростає необхідність видалення бризок з поверхні виробу. Основна відмінність між автоматичним і механізованим зварюванням складається в різних методах механізації та автоматизації. При токах до 500 А автоматичне зварювання в 2-2,5 рази продуктивніше ручного зварювання. При зварюванні в  $\text{CO}_2$  значно менше місцевий нагрів, в результаті чого зменшуються зварювальні деформації. Живлення дуги зазвичай здійснюється на постійному струмі зворотної полярності, так як при цьому горіння дуги стабільніше і в металі шва вільного водню значно менше, ніж при зварюванні на прямій полярності. При зварюванні на зворотній полярності допускаються великі межі значень струму, які дозволяють отримати стійкий процес і високу якість зварного шва. При автоматичному зварюванні в  $\text{CO}_2$  в порівнянні з ручним дуговим зварюванням, подача зварювального дроту в зону зварювання (в міру її розплавлення) і рух дуги по шву із заданою швидкістю зварювання здійснюється за допомогою спеціальних електроприладів. Робочий, який обслуговує таку автоматичну установку керує процесом зварювання за допомогою допоміжного пристрою - пульта управління, завдяки чому забезпечуються нешкідливі умови праці.

#### **2.1.4 Механізоване і автоматичне зварювання в середовищі суміші захисних газів**

Зварювання розглянутої конструкції проводиться напівавтоматичним

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 20   |

зварюванням у суміші (80% Ar + 20% CO<sub>2</sub>) ДСТУ 14771-76 на підставі таких міркувань:

1. Висока продуктивність (приблизно в 2,5 рази вище, ніж при ручному дуговому зварюванні покритими електродами);
2. Високоєфективний захист розплавленого металу, особливо при використанні інертних газів;
3. Можливість візуального спостереження за зварювальною ванною і дугою;
4. Широкий діапазон товщини зварюваних заготовок (від десятих часток міліметра до десятків міліметрів);
5. Можливість зварювання в різних просторових положеннях;
6. Відсутність необхідності зачищати шви при багатошаровому зварюванні;
7. Вузька зона термічного впливу.
8. Відсутність операцій по засипці і прибирання флюсу і видалення шлаку;
9. Низька вартість при використанні активних захисних газів.
10. Зварні шви мають невелику протяжність і ламану конфігурацію
11. Спосіб володіє достатньою маневреністю.

Проаналізувавши представлені способи зварювання вибираємо напівавтоматичну зварювання в середовищі суміші газів: інертного і активного (75% Ar + 25% CO<sub>2</sub>).

## 2.2 Розрахунок режимів зварювання

До основних параметрів дугового зварювання відносяться: зварювальний струм  $I_{зв}$  напруга дуги  $U_d$  і швидкість зварювання  $V_{зв}$ . кожен з цих параметрів як окремо, так і в сукупності з іншими, справляють істотний вплив на величину тепловкладення, а отже, і на геометричні розміри шва, коефіцієнти форми шва і часткову участь основного і електродного металу у формуванні шва.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                            |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 21   |

Оптимальні параметри режиму зварювання забезпечують необхідні співвідношення між основним і електродним металом, при якому досягаються задані механічні властивості металу шва.

### Шов №1

Спосіб зварювання: механізоване зварювання в захисних газах;

Тип шва: Т7, тавровий, односторонній, з скосом однієї кромки, з підварювальним швом. Марки сталі: 12ХН2.

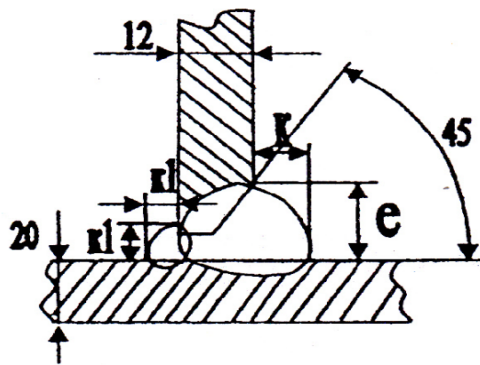


Рисунок 2.1 Схема шва Т7 ГОСТ 8713-79

1 Визначаємо площу наплавленого металу за формулою:

$$F_H = (s - c) * b + \frac{(s - c)^2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) + 0,5 * [(s - c) \operatorname{tg}(\alpha) + b] \cdot k =$$

$$= (12 - 2) * 2 + \frac{(12 - 2c)^2}{2} \cdot \operatorname{tg}(45) + 0,5 * [(12 - 2) \operatorname{tg}(45) + 2] \cdot 5$$

$$= 100 \text{ мм}^2$$

Площа наплавленого металу за 1 прохід становить при напівавтоматичному зварюванні в захисних газах  $40 \div 50 \text{ мм}^2$ , вибираємо  $F_{\text{н1пр}} = 45 \text{ мм}^2$

Площа наплавленого металу підварювального і кореневого шва становить:

$$F_{H_{\text{пш}}} = F_{H_{\text{кш}}} = \frac{k^2}{2} + 1,05 \cdot k = \frac{5^2}{2} + 1,05 \cdot 5 = 17,75 \text{ мм}^2$$

Конструктивно приймаємо:

$$F_{H_{\text{пш}}} = F_{H_{\text{кш}}} = 20 \text{ мм}^2$$

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 22   |

Знаючи загальну площу поперечного перерізу наплавленого металу і площі поперечного перерізу наплавленого при першому і кожному наступному проходах, знайдемо число:

$$n_{\text{пр}} = \frac{F_{H\text{заг}} - F_{H\text{кш}}}{F_{H1\text{пр}}} = \frac{100 - 20}{45} = 2$$

Зварювання виконуємо за 2 проходи, не рахуючи першого

Задаємо діаметр електродного дроту  $d_e = 1 \text{ мм}$

В залежності від  $d_e$  задаємо щільність струму  $J = 175 \text{ А / мм}^2$

Сила струму для зварювання основного шва визначається за формулою:

$$I_{\text{св}} = \frac{d_e^2 j}{1.13^2} = \frac{1^2 \cdot 175}{1.13^2} = 140 \text{ А}$$

Для прийнятого діаметра електрода і сили струму визначаємо оптимальну напругу дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{\text{св}} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}} \cdot 350 + 1 = 27 \text{ В}$$

Швидкість зварювання може бути визначена за формулою:

$$V_{\text{св1пр}} = \frac{\alpha_n I_{\text{св}}}{F_{H1\text{пр}} \gamma} = \frac{18,6 \cdot 140 \cdot 10^{-2}}{45 \cdot 10^{-2} \cdot 7,8} = 8,5 \text{ м/год}$$

де коефіцієнт наплавки

$$\alpha_n = 18,6 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}}$$

$\gamma$  - щільність електродного металу,  $7,8 \text{ г/см}^3$

$F_{H1\text{пр}}$  - площа наплавленого металу за один прохід,  $\text{см}^2$

$$V_{\text{св1пр}} = V_{\text{св2пр}} = 8,5 \text{ м/год}$$

Виліт з електрода знаходиться за формулою:

$$L = (8 \div 12) d_e = (8 \div 12) \cdot 1 = 8 \div 12 \text{ мм}$$

Обираємо  $L=10 \text{ мм}$

Швидкість подачі дроту визначаємо за формулою:

$$V_{\text{пп}} = \frac{4 \cdot V_{\text{св}} F_{H1\text{пр}}}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 18,5 \cdot 45 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 487 \text{ м/год}$$

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 23   |

2 Визначимо режими для зварювання кореневого і підварювального шва:

Для виконання підварювального шва приймаємо катет:

$$k_1=3\text{мм, при } d_e=1\text{мм}$$

Знаходимо силу струму

$$I_{зв} = \frac{d_e^2 j}{1.13^2} = \frac{1^2 \cdot 160}{1.13^2} = 125\text{А}$$

Сила струму буде менше, ніж при зварюванні основного шва, щоб уникнути прожогу

Напруга на дузі

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{св} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1}} \cdot 125 + 1 = 25\text{В}$$

Швидкість зварювання

$$V_{зв1пр} = \frac{\alpha_H I_{зв}}{F_{H1пр} \gamma} = \frac{14,2 \cdot 125 \cdot 10^{-2}}{10 \cdot 10^{-2} \cdot 7,8} = 14,6 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту

$$V_{пп} = \frac{4 \cdot V_{зв} F_{H1пр}}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 14,6 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 186 \text{ м/год}$$

3 Виконання прихваток:

$$F_{H.прихв} \frac{1}{3} \cdot F_{H.зар} = \frac{1}{3} \cdot 100 = 33,3\text{мм}^2$$

Площа наплавлення приймається  $F_{H.пр}=33\text{мм}^2$

Сила струму

$$I_{зв} = \frac{d_e^2 j}{1.13^2} = \frac{1^2 \cdot 180}{1.13^2} = 140$$

напруга дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{зв} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1}} \cdot 140 + 1 = 27\text{В}$$

Швидкість зварювання

$$V_{зв} = \frac{\alpha_H I_{зв}}{F_{Hпр} \gamma} = \frac{15,1 \cdot 140 \cdot 10^{-2}}{25 \cdot 10^{-2} \cdot 7,8} = 6 \text{ м/год}$$

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 24   |

Швидкість подачі дроту

$$V_{пп} = \frac{4 \cdot V_{зв}}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 33 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 252 \text{ м/год}$$

$L_{пр}=20\text{мм}$ ;  $n_{пр}=8$ ; відстань між прихватками  $L = 30\text{мм}$ . Прихватки виконувати дротом Св 08ГСМТ діаметром 1мм

## Шов №2

Спосіб зварювання: механізоване зварювання. Тип шва: ТЗ, катет 4, тавровий, без скосу кромки, двосторонній; Марки стали: 12ХН2

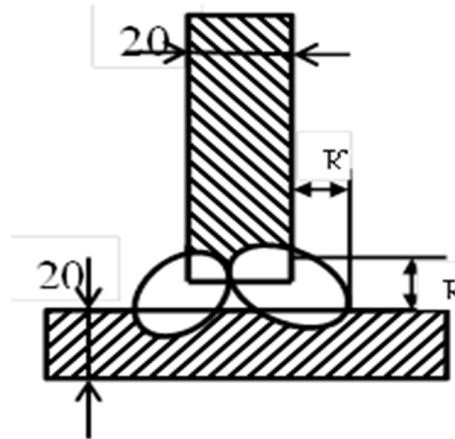


Рисунок 2.2

1. Визначаємо площу поперечного перерізу шва, яка залежить від типу з'єднання і умов зварювання, і для нашого випадку вона визначається за формулою:

$$F_H = \frac{\kappa^2}{2} + 1,05 \cdot \kappa = \frac{4^2}{2} + 1,05 \cdot 4 = 12,2 \text{ мм}^2$$

Задаємо діаметр електродного дроту  $d_e = 1 \text{ мм}$

Залежно від  $d_e$  задаємо щільність струму  $J = 175 \text{ А / мм}^2$

Сила струму для зварювання основного шва визначається за формулою:

$$I_{зв} = \frac{d_e^2 j}{1,13^2} = \frac{1 \cdot 175}{1,13^2} = 140 \text{ А}$$

Для прийнятого діаметра електрода і сили струму визначаємо оптимальну напругу дуги:

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 25   |

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_3}} \cdot I_{св} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{11}} \cdot 140 + 1 = 27B$$

Швидкість зварювання може бути визначена за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n I_{зв}}{F_n \gamma} = \frac{18,6 * 140 * 10^{-2}}{12,2 * 10^{-2} * 7,8} = 27,4 \text{ м/год}$$

где  $\alpha_n = 18,6 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}}$  коефіцієнт наплавки

$\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$  щільність електродного металу

$F_n$  площа наплавленого металу,  $\text{см}^2$

Виліт з електрода знаходиться формулою:

$$L = (8 \div 12) d_e = (8 \div 12) \cdot 1 = 8 \div 12 \text{ мм}$$

Вибираємо  $L=10\text{мм}$

Швидкість подачі дроту визначаємо за формулою:

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot V_{зв} F_n}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 14,9 \cdot 12,2 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1^2 \cdot 10^{-6}} = 231,6 \text{ м/год}$$

2. Виконання прихваток

$$F_{н.прихв} = \frac{1}{3} \cdot F_{н.заг} = \frac{1}{3} \cdot 12,2 = 4,1 \text{ мм}^2$$

Площа наплавки приймається:

$F_{н.пр}=4\text{мм}$

Сила струму:

$$I_{св} = \frac{d_e^2 j}{1,13^2} = \frac{1^2 \cdot 180}{1,13^2} = 140A$$

Напруга дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{зв.} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1}} \cdot 140 + 1 = 27B$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n I_{зв}}{F_{нпр} \gamma} = \frac{15,1 * 100 * 10^{-2}}{4,1 * 10^{-2} * 7,8} = 12 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{пд} = \frac{4 \cdot V_{зв} F_n}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1^2 \cdot 10^{-6}} = 122,5 \text{ м/год}$$

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 26   |

$L_{пр}=8\text{мм}$ ;  $n_{пр}=14$ ; відстань між прихватками  $L=65\text{мм}$ . Прихватки виконувати дротом Св-10ХМФТ діаметром 1мм

### Шов №3

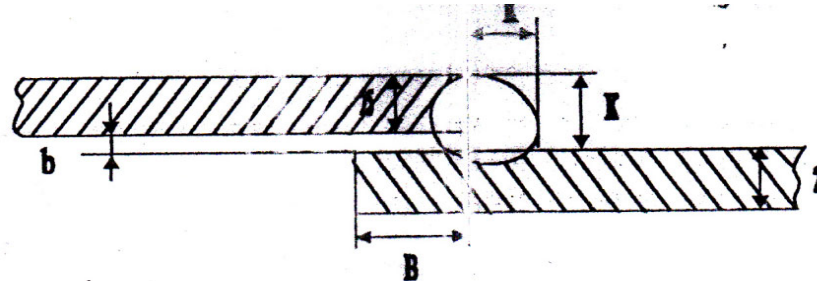


Рисунок 2.3 Схема шва Н1 ГОСТ 8713-79

1. Спосіб зварювання: механізоване плавким електродом;

Тип шва: Н1, катет 5. Нахлесточне, без скосу кромки, однобічне; Марка сталі: 12ХН2.

Визначаємо площу поперечного перерізу шва, яка залежить від типу з'єднання і умов зварювання, і для нашого випадку вона визначається за формулою:

$$F_H = \frac{\kappa^2}{2} + 1,05 \cdot \kappa = \frac{5^2}{2} + 1,05 \cdot 5 = 17,75 \text{мм}^2$$

Отриману площу наплавленого металу механізованим зварюванням в захисних газах можна отримати за один прохід.

Задаємо діаметр електродного дроту  $d_e = 1\text{мм}$

В залежності від  $d_e$  задаємо щільність струму  $J = 175\text{А} / \text{мм}^2$

Сила струму для зварювання основного шва визначається за формулою:

$$I_{зв} = \frac{d_e^2 j}{1,13^2} = \frac{1^2 \cdot 175}{1,13^2} = 140\text{А}$$

Для прийнятого діаметра електрода і сили струму визначаємо оптимальну напругу дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{зв} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}} \cdot 350 + 1 = 27\text{В}$$

Швидкість зварювання може бути визначена за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n I_{зв}}{F_n \gamma} = \frac{18,6 * 140 * 10^{-2}}{17,75 * 10^{-2} * 7,8} = 18,8 \text{ м/год}$$

где  $\alpha_n = 18,6 \frac{\text{г}}{\text{А} \cdot \text{год}}$  коефіцієнт наплавки

$\gamma = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$  щільність електродного металу

$F_n$  площа наплавленого металу,  $\text{см}^2$

Виліт електроду знаходиться за формулою:

$$L = (8 \div 12) d_e = (8 \div 12) \cdot 1 = 8 \div 12 \text{ мм}$$

Вибираємо:  $L=10\text{мм}$

Швидкість подачі дроту визначаємо за формулою:

$$V_{пп} = \frac{4 \cdot V_{зв} F_n}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 18,8 \cdot 17,75 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 425 \text{ м/ч}$$

2. Прихватки:

$$F_{н.прихв} \frac{1}{3} \cdot F_{н.зав} = \frac{1}{3} \cdot 17,75 = 5,9 \text{ мм}^2$$

Площа наплавки приймається  $F_{н.пр}=6\text{мм}^2$

Сила струму:

$$I_{зв} = \frac{d_e^2 j}{1.13^2} = \frac{1^2 \cdot 180}{1.13^2} = 140 \text{ А}$$

Напруга дуги:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_e}} \cdot I_{зв} + 1 = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,6}} \cdot 100 + 1 = 27 \text{ В}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n I_{зв}}{F_{пп} \gamma} = \frac{15,1 * 100 * 10^{-2}}{6 * 10^{-2} * 7,8} = 32,2 \text{ м/год}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{пп} = \frac{4 \cdot V_{зв}}{\pi \cdot d_e^2} = \frac{4 \cdot 32,2 \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 246 \text{ м/год}$$

$L_{пр}=6\text{мм}$ ;  $n_{пр}=4$ ; відстань між прихватами  $L= 40\text{мм}$ . Прихватки виконують дротом діаметром  $1\text{мм}$ .

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 28   |

### 2.3 Розрахунок термічного циклу при зварюванні та аналіз структури металу ЗТВ

При зварюванні основний метал в довколишніх ділянках шва піддається своєрідною термічній обробці. Примикають до шву ділянки зі зміненою порівняно з основним металом структурою отримали загальну назву зони термічного впливу - ЗТВ.

Структура металу в цій зоні змінюється відповідно до термічним циклом нагрівання та охолодження.

Для судження про структурні перетворення в ЗТВ при зварюванні необхідно розташовувати даними щодо кінетики перетворення аустеніту.

Структурні зміни в ЗТВ можна оцінити по діаграмах термодинамічного перетворення, побудованим для умов зварювання.

Така діаграма будується в координатах температура - час. Через великі діапазони розглянутого часу його відкладають в логарифмічному масштабі. Відлік часу при охолодженні аустеніту починається з моменту, коли температура металу досягне критичної точки  $A_3$ .

Вище цієї температури аустеніт термодинамічно стійкий, нижче - аустенітний стан хиткий і в залежності від температурно-часових умов може зазнавати перлітне, бейнітне (проміжне) або мартенситне перетворення.

В умовах безперервного охолодження важливо знати деякі «характеристичні» швидкості охолодження, які відповідають:  $W_{\phi}$ -початку появи надлишкового фериту;  $W_{\pi}$  - початку появи перліту;  $W_1$  - початку появи мартенситу;  $W_2$  - 100% утворенню мартенситу (100%, умовно так як крім мартенситу є деяка кількість залишкового аустеніту).  $W_1$  і швидкості  $W_2$  прийнято називати критичними, тому що вони обмежують область часткової гарту.

Типовий вид діаграми термодинамічного (ізотермічного) перетворення аустеніту для великого числа сталей різного складу наведено на рис. 2.4 у вигляді трьох типів діаграм.

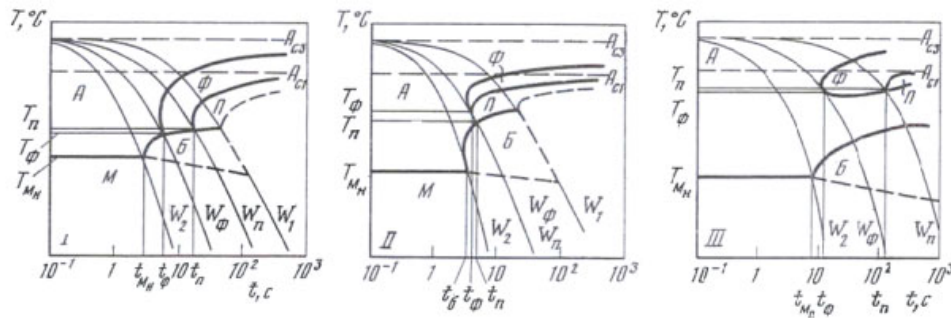


Рисунок 2.4 Типи діаграм ізотермічного перетворення аустеніту сталей в околшовній зоні при зварюванні.

Розподіл і зміна температури при зварюванні виробів обчислюються по формулах, отриманим у результаті рішення диференціального рівняння теплопровідності при визначених початкових і крайових умовах:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.1)$$

Найбільше поширення для теплових процесів зварювання одержав спосіб рішення диференціального рівняння (2.1) методом джерел.

Рішення цього рівняння при дії зварювального джерела, що безупинно рухається в напрямку осі x з постійною швидкістю v, буде більш простим у системі координат, що рухається, де початок координат збігається з джерелом. Так, при зварюванні масивних виробів зміна температури в часі в якій-небудь точці тіла можна розрахувати по формулі:

$$T(x, y, z, t) = \frac{2 \cdot q}{c \cdot \gamma (4 \cdot \pi \cdot \alpha)^{3/2}} \exp\left(-\frac{v \cdot x}{2\alpha}\right) \int_0^t \frac{dt_2}{t_2^{3/2}} \cdot \exp\left(-\frac{R^2}{4 \cdot \alpha \cdot t^2} - \frac{v^2 \cdot t_2}{4 \cdot \alpha}\right) \quad (2.2)$$

де: q - ефективна теплова потужність джерела, для дугового зварювання  $q = I_{ze} \cdot U_{d0} \cdot \eta$  ( $\eta$  - ефективний КПД нагрівання);

v - швидкість переміщення джерела, см/с;

$\alpha$  - коефіцієнт теплопровідності;

$t_2 = t - t_1$  - час поширення теплоти елементарного джерела, введенного в якій-небудь точці O, потужність якого  $q = dt_1$  ( $t_1$  час досягнення джерела точки

О с моменту початку руху,  $t$  – час досягнення температури  $T$  у точки з координатами  $x, y, z$  з початку руху джерела);

$R$ -відстань від джерела до розглянутої точки,

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}; \quad (2.3)$$

При збільшенні швидкості переміщення зварювального джерела градієнт температури тіла в напрямку зварювання увесь час зменшується. Про це можна судити по витягнутості ізотерми температурного поля в напрямку осі  $x$ . При великих швидкостях зварювання можна зневажити поширенням теплоти уздовж напрямку руху джерела, розрахункові формули зміни температури в точках тіла при цьому значно спрощуються. При зварюванні таврових з'єднань розрахунок температури в часі в якій-небудь точки тіла виконується по формулі:

$$T(y_0, t) = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot V_n \cdot t} \cdot \exp\left(-\frac{y_0^2}{4 \cdot a \cdot t}\right) + T_0 \quad (2.4)$$

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К;

$y_0$  - відстань від джерела до розглянутої точки, см;

$T_0$  – початкова температура виробу.

$V_n$  – швидкість наплавлення, м/год.

Для визначення структурних складових і механічних характеристик ЗТВ визначається величина тривалості охолодження  $\tau$ , що знаходять з термічного циклу розрахованих по формулах теорії поширення тепла при зварюванні. Для швидкорухаючих джерел при однопрохідному зварюванні листів:

$$\tau = \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot v_n} \left[ \frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(850 - T_0)^2} \right] \quad (2.5)$$

### 2.3.1 Розрахунок термічного циклу таврових з'єднань Т7, Т3

Розрахунок термічного циклу таврового з'єднання при механізованому зварюванні в  $CO_2$  розраховується також, як розрахунок стикового з'єднання.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 31   |



|     |    |     |      |     |     |     |     |     |    |
|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| Т°С | 20 | 275 | 1323 | 705 | 409 | 227 | 160 | 106 | 63 |
|-----|----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|

За результатами розрахунку будується зварювальний термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ (рисунок 2.5).

Виконаємо розрахунок термічного циклу для з'єднання ТЗ, для полиці  $\delta=2,0$  см., катетом 4 мм.

Вихідні дані для розрахунку:

|                                                       |         |
|-------------------------------------------------------|---------|
| коефіцієнт тепловіддачі, Дж/см <sup>2</sup> с К       | 0,00188 |
| коефіцієнт теплопровідності, Вт/см К                  | 0,4     |
| об'ємна теплоємність, Дж/см <sup>3</sup> К            | 5,0     |
| температура нагрівання, °С                            | 1350    |
| початкова температура виробу, °С                      | 20      |
| коефіцієнт температуропровідності, см <sup>2</sup> /с | 0,08    |
| величина струму дуги, А                               | 140     |
| напруга дуги, В                                       | 27      |
| ефективний коефіцієнт нагрівання                      | 0,7     |
| ефективна теплова потужність джерела                  | 2646    |
| швидкість зварювання, см/с                            | 0,76    |

Визначимо відстань від джерела до розглянутої точки  $y_0$ . Для цього скористаємося рівнянням вважаючи, що  $T_m=T_l=1350^\circ\text{C}$  (температура ліквідусу).

$$r_0 = \sqrt{\frac{0,368 \cdot q}{\pi / 2 \cdot v \cdot c \gamma (T_m - T_0)}} = 0,35 \text{ см}$$

Зробимо розрахунок температури в часі при зварюванні таврового з'єднання для полиці. Розрахунок виконується по формулі у табличній формі.

$$T(r_0, t) = \frac{q}{2\pi \cdot \lambda \cdot t} \exp\left(-\frac{r_0^2}{4\alpha t}\right)$$

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 33   |

Результати приведені в таблиці 2.2. Побудована графічна залежність представлена на рисунку 2.5.

Таблиця 2.2 Нагрів та охолодження таврового з'єднання Т7

|        |     |      |     |     |     |    |    |    |     |
|--------|-----|------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|
| Час, с | 0,1 | 0,3  | 1,0 | 5,0 | 10  | 20 | 30 | 50 | 100 |
| T°C    | 319 | 1307 | 965 | 277 | 153 | 88 | 66 | 48 | 34  |

За результатами розрахунку будується термічний цикл для ряду точок ділянки перегріву ЗТВ.

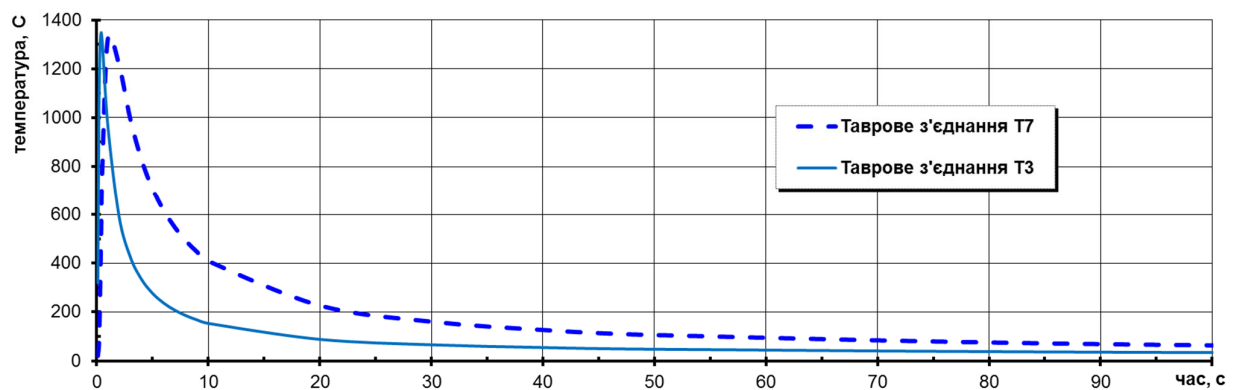


Рисунок 2.5 Нагрів та охолодження таврового зварного з'єднання.

За отриманими значеннями будуємо криву охолодження, а потім переносимо її на діаграму термкінетичного перетворення аустеніту сталі 12ХН2 (рисунок 2.5).

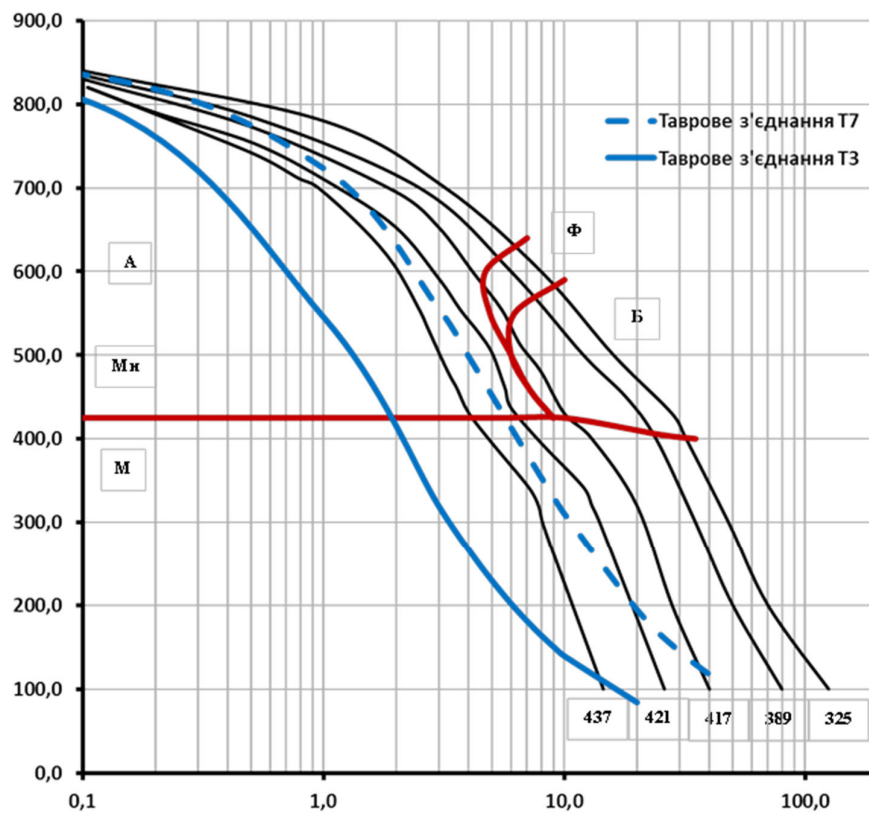


Рисунок 2.6 Діаграма термокінетичного розпаду аустеніту у сталі 12ХН2.

## 2.4 Аналіз очікуваної структури ЗТВ

При зварювання основний метал у прилеглих ділянках шва піддається своєрідній термічній обробці. Ділянки, що примикають до шва, зі зміненої в порівнянні з основним металом структурою одержали назву - зона термічного впливу (ЗТВ). Структура металу в цій зоні змінюється відповідно до термічного циклу нагрівання й охолодження.

Для судження про структурні перетворення в ЗТВ при зварюванні необхідно розташовувати даними по кінетиці перетворення аустеніту. Структурні зміни в ЗТВ можна оцінити по діаграмах термокінетичного перетворення, побудованими для умов зварювання. Така діаграма будується в координатах температура - час. Через великі діапазони розглянутого часу його відкладають у

логарифмічному масштабі. Відлік часу при охолодженні аустеніту починається з моменту, коли температура металу досягає критичної точки Ас3.

Визначимо температуру Ас3.

$$Ac3 = 910 - 230C + 32Si - 25Mn - 8Cr - 18Ni + 2Mo =$$

$$= 910 - 230 \cdot 0,12 + 32 \cdot 0,27 - 25 \cdot 0,45 - 8 \cdot 1,9 = 838,39^{\circ}C$$

Вище цієї температури аустеніт термодінамічно стійкий, нижче - аустенітний стан хитливий і у залежності від температурно-тимчасових умов може перетерплювати перлітне, бейнітне (проміжне) чи мартенситне перетворення.

Визначимо температуру початку мартенситного перетворення:

$$M_n = 550 - 400 \cdot C - 6 \cdot Si - 33 \cdot Mn - 25 \cdot Cr - 16 \cdot Ni + 27 \cdot Mo =$$

$$= 550 - 400 \cdot 0,12 - 6 \cdot 0,27 - 33 \cdot 0,45 - 25 \cdot 0,9 - 16 \cdot 1,9 = 432,63^{\circ}C$$

Проведемо розрахунок температури підігріву сталі при зварюванні:

$$M = 0,48(Si - 0,3) + 0,73(Mn - 0,6) + 0,75(Cr - 0,15) + 0,32(Ni - 0,15) = 0,998$$

$$\Delta t_{0,5}^M = (9C)^{1,45} \cdot 10^M = (9 \cdot 0,12)^{1,45} \cdot 10^{0,998} = 11,14$$

Так, як:

$$\Lambda_{0,5}^M = \frac{q}{2\pi\lambda\nu_{zg}} \left( \frac{1}{M_n - T_n} - \frac{1}{Ac3 - T_n} \right) = \frac{2646}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,24} \left( \frac{1}{432,63 - T_n} - \frac{1}{838,39 - T_n} \right)$$

Рішення рівняння проводимо на ПК за методом «підбір параметру». Температура підігріву буде  $T_n = 187,23^{\circ}C$

Діаграма термодинамічного перетворення аустеніту сталі 12ХН2 показані на рисунку 2.6. Нанесені на цю діаграму термічні цикли охолодження металу високотемпературних ділянок ЗТВ можна судити про структурні зміни в цій зоні і пророчити механічні властивості найбільш слабкої ділянки зварного з'єднання.

Так при охолодженні таврового з'єднання структура металу буде складатися з бейніту і мартенситу. Метал з такою структурою має підвищену твердість, міцність і задовільну пластичність. Метал при такій структурі, не так схильний до утворення гартівних структур, як при мартенситній. Можна збільшити режим або температуру підігріву. Тоді можна одержати феріто-перлітну структуру. Феріто-перлітна структура є м'якої. Метал з такою структурою

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                            | 36   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            |      |

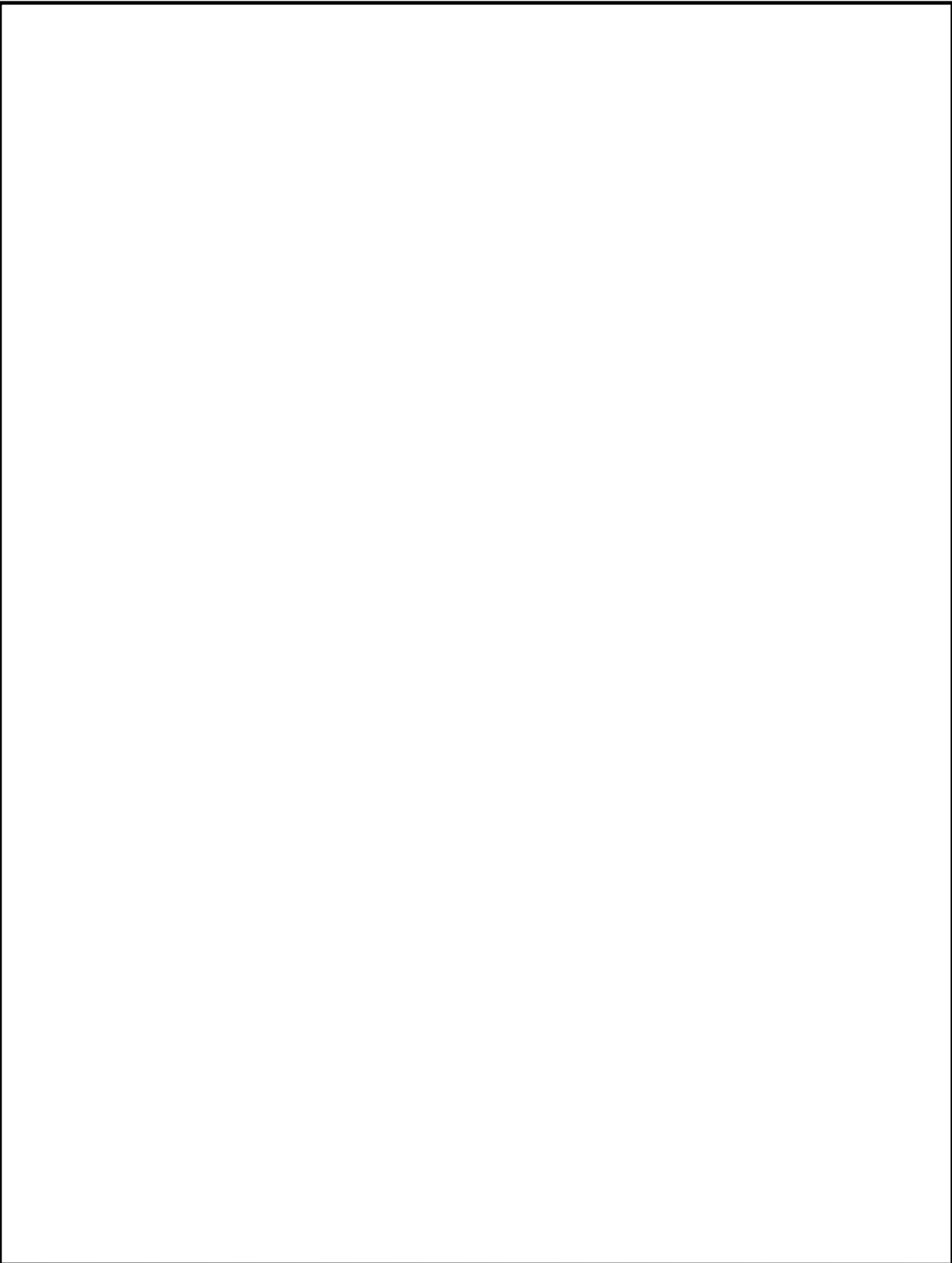
характеризується невисокою твердістю і достатньою пластичністю. Сталі з феріто-перлітною структурою, мають гарну зварюваність і високу стійкість проти утворення гарячих тріщин.

### Висновки

На підставі проведених розрахунків можна зробити такі висновки:

- приведений розрахунок режимів зварювання узгоджується з рекомендаціями на зварювання конструкцій;
- зварювання таврових і напускних з'єднань рекомендується зварювати механізованим зварюванням катетом 5 мм у суміші газів Ar 80% + CO<sub>2</sub> 20%;
- при зварюванні таврових з'єднань розрахунок термічного циклу показує, що структура має підвищену твердість 420-440 HV.

|       |      |          |        |      |                            |      |
|-------|------|----------|--------|------|----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.01.04.ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                            |      |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                            | 37   |



|             |      |                |        |      |                                                                  |      |      |         |
|-------------|------|----------------|--------|------|------------------------------------------------------------------|------|------|---------|
|             |      |                |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04.ПЗ.                                       |      |      |         |
|             |      |                |        |      |                                                                  |      |      |         |
| Змін.       | Арк. | № документа.   | Підпис | Дата |                                                                  |      |      |         |
| Студент     |      | Колбасін М.М.  |        |      | 3 Технологічний процес<br>складання та зварювання<br>конструкції | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник    |      | Спіхтаренко В. |        |      |                                                                  |      | 38   | 16      |
|             |      |                |        |      |                                                                  | ХННІ |      |         |
| Н. Контр.   |      |                |        |      |                                                                  |      |      |         |
| Зав.кафедр. |      | Матвієнко М.В. |        |      |                                                                  |      |      |         |

### 3.1 Принципова послідовність складання і зварювання

Складання - це технологічна операція складання деталей, що підлягає зварюванню, необхідного взаємного розташування (згідно з вимогами креслення і технічних умов) з закріпленням їх прихватками або спеціальними пристосуваннями.

Правильна збірка, взаємна установка і закріплення деталей забезпечують високу якість зварних конструкцій. При складанні зварного виробу деталі подають до місця складання, потім встановлюють в складальному пристрої в заданому кресленні положенні і прихоплюють (закріплюють). Зварювання можна проводити як по прихваткам, так і без них.

Таблиця 3.1 Технологічний процес складання і зварювання

| Перелік переходів |                                                                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.                | Встановити ребро поз. 2 в пристосування для складання і зафіксувати притисками                                                  |
| 2.                | Встановити банку поз. 3 на ребро поз. 2 по пальцях                                                                              |
| 3.                | Прихопити напівавтоматичним зварюванням бонку поз. 3 до ребра поз. 2 шов Н1 Δ5 6/40 ГОСТ 14771-82                               |
| 4.                | Закріпити зібраний виріб від дії притисків, зняти з пристосування і передати на пристосування для зварювання                    |
| 5.                | Встановити вузол в пристосування для зварювання і зафіксувати притисками                                                        |
| 6.                | Виконати напівавтоматичне зварювання ребра поз. 2 і бонк поз. 3 шов Н1 Δ5 ГОСТ 14771-82                                         |
| 7.                | Закріпити заварений виріб від дії всіх притисків. Зняти заварений вузол з пристосування і передати на дільницю складання важеля |
| 8.                | Повторити переходи 1 по 7 для складання і зварювання другого ребра                                                              |
| 9.                | Встановити вертикально ребро поз. 2 в пристосування для складання і зафіксувати притисками                                      |
| 10.               | Встановити вертикально друге ребро поз. 2 в пристосування для складання і зафіксувати притисками                                |
| 11.               | Встановити ребро поз. 4 між двома ребрами поз. 2 по відвідним упорів і зафіксувати притисками                                   |

|                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12. Прихопити механізованим зварюванням ребро поз. 4 до ребер поз. 2. Шов ТЗ Δ4 8/65 ГОСТ 14771-82                              |
| 13. Скантувати виріб в пристосуванні на 90 <sup>0</sup> для установки бонк поз. 1                                               |
| 14. Встановити банку поз.1 на виріб по опорах і зафіксувати притисками                                                          |
| 15. Прихопити механізованим зварюванням виріб і бонку поз. 1. Шов Т7 10/30 ГОСТ 14771-82                                        |
| 16. Скантувати зібраний виріб в початкове положення                                                                             |
| 17. Закріпити зібраний виріб від дії притисків, зняти з пристосування і передати на пристосування для зварювання                |
| 18. Встановити зібраний виріб в пристосування для зварювання і зафіксувати притисками                                           |
| 19. Виконати механізоване зварювання ребер поз. 2 і ребра поз. 4 шов ТЗ Δ4ГОСТ 14771-82                                         |
| 20. Скантовати виріб, що зварюється в пристосуванні на 180 <sup>0</sup>                                                         |
| 21. Виконати механізоване зварювання ребер поз. 2 і ребра поз. 4 шов ТЗ Δ4ГОСТ 14771-82                                         |
| 22. Скантовати виріб, що зварюється в пристосуванні на 90 <sup>0</sup>                                                          |
| 23. Виконати механізоване зварювання ребра поз. 2 і бонк поз. 1 шов Т7 ГОСТ 14771-82                                            |
| 24. Скантовати виріб, що зварюється в пристосуванні на 180 <sup>0</sup>                                                         |
| 25. Виконати механізоване зварювання другого ребра поз. 2 і бонк поз. 1 шов Т7 ГОСТ 14771-82                                    |
| 26. Скантувати виріб в початкове положення                                                                                      |
| 27. Закріпити заварений виріб від дії всіх притисків. Зняти заварений вузол з пристосування і передати на стенд контролю якості |

### 3.2 Оцінка технологічної зварюваності

Технологічною вважається конструкція, що забезпечує найбільш просте, швидке і економічне виготовлення при дотриманні необхідної міцності, стійкості, витривалості та інших експлуатаційних якостей. Досягнення високої технологічності є основною метою технологічної відпрацювання конструкції, виробленої в період підготовки виробництва.

Дана зварна конструкція технологічна так, як:

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 40   |

- дана конструкція легко розчленовується на технологічні вузли і підвузли, які можуть бути зібрані і зварені на окремих спеціалізованих робочих місцях із застосуванням високопродуктивної складальної і зварювальної оснастки;
- конструкція складається з простих і зручних для виготовлення деталей;
- матеріали, з яких виготовляються деталі важіля, доцільно застосовувати, що забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики,;
- можливе застосування механізованих способів зварювання, які менш трудомісткі;
- прийняті типи зварних з'єднань, в основному це з'єднання в тавр, найбільш технологічні, в порівнянні зі стиковими;
- правильний вибір основних і зварювальних матеріалів, конструктивної форми зварного з'єднання, вузлів, що забезпечують високу якість конструкції;
- взаємне розташування вузлів, форм сполучень щоб забезпечити найкращі умови складання і зварювання, мінімальний обсяг обробки до і після зварювання.

### 3.3 Обґрунтування вибору зварювальних матеріалів

Вибір зварювальних матеріалів необхідно проводити в залежності від способу зварювання, зварюваності сталей і можливості отримання швів рівно міцних основному металу, стійких до пор і тріщин

Сталь для зварювання 12ХН2. Дана сталь зварюється механізованим зварюванням в середовищі захисних газів.

Матеріалом для зварювання при даному способі зварювання є зварювальний дріт і захисний газ.

При виборі зварювального дроту необхідно враховувати, що зварювальна сталь має підвищену схильність до утворення холодних тріщин, а також необхідно передбачити всі необхідні заходи для запобігання утворенню гарячих тріщин. Зварювальний дріт повинен забезпечувати отримання металу шва східного або близького за хімічним складом з основним металом, сприяти

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 41   |

отриманню швів рівномічних основному металу. З метою підвищення стійкості металу до утворення холодних тріщин необхідно для зварювання використовувати дрід з пониженим вмістом вуглецю (не більше 0,15%), а також необхідно знижувати вміст шкідливих домішок в металі шва для запобігання утворенню гарячих тріщин.

З цією метою необхідно застосовувати зварювальний дрід зі зниженим вмістом шкідливих домішок. Для зварювання даних сталей необхідно застосовувати зварювальний дрід того ж структурного класу, що і основний метал для отримання рівномічного металу шва з основним металом. Тому при виборі зварювальних матеріалів необхідно створювати композицію легуючих елементів, що дозволяє отримати шов, близький до складу деталей, що зварюються.

За всім вище перерахованим вимогам для зварювання даного шва використовуємо зварювальну марки дрід Св-08ГСНТ. Зварювальний дрід Св-08ГСНТ призначено для механізованого зварювання в вуглекислотному газі, газових сумішах і під флюсом легованих хромонікелевих сталей діаметром: 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; мм ДСТУ 2246-70.

Основні переваги від щільного контакту між дротом і мідним струмопровідних наконечником:

стабільне горіння дуги в широкому діапазоні режимів зварювання (від крапельного до струменевого перенесення електродного металу в зварювальну ванну) при використанні зварювального устаткування будь-якого класу складності (від простих до імпульсних і інверторних джерел живлення);

мінімальне розбризкування електродного металу при зварюванні в захисних газах;

низька витрата мідних наконечників;

підвищення рівня механізації зварювальних робіт;

добре повторне запалення дуги (спеціально для роботизованого зварювання).

Високоякісна зварювальний дрід для дугового зварювання в газовому середовищі, використовується для зварювання вуглецевих і низьколегованих

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 42   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

сталей: конструкційної сталі, сталі для судин під високим тиском і суднобудівної сталі.

Виробничо-технічні інновації забезпечують досягнення найменшого розкиду дроту по діаметру, гладку поверхню і стабільну круглу форму.

Прекрасні характеристики зварювального дроту дозволяють не тільки заощадити робочий час, а й скоротити витрати на зварювальне обладнання - заміна деталей, що зношуються потрібно набагато рідше, ніж у випадку застосування зварювального дроту більш низької якості. Рядна намотування і правильна геометрія дроту дозволяє істотно збільшити термін служби дорогих зварювальних напівавтоматів. Дріт випускається по системі менеджменту якості ISO 9001-2001 і сертифікований "УкрСЕРПО". Дріт поставляється на пластмасовій дротяної каркасної катушці (зовнішній діаметр 200мм, посадковий 52,2мм, ширина 53мм) з порядний намотуванням, вага 5 кг. Кожна катушка запаяна в поліетилен з вкладенням селикагелю і упакована в картонну коробку. При використанні даного зварювального дроту забезпечується мінімальний вміст вуглецю в металі шва, за рахунок його малого змісту в зварювальному дроті. Знижується вміст шкідливих домішок, за рахунок введення в метал шва марганцю, який пов'язує сірку, утворюючи разом з нею тугоплавкі сульфіді.

Таблиця 3.2 Хімічний склад дроту Св-08ГСНТ

| C       | Si      | Mn      | Cr  | Ni      | Ti        |
|---------|---------|---------|-----|---------|-----------|
| 0,7-0,9 | 0,6-0,9 | 1,4-1,8 | 0,3 | 0,8-1,2 | 0,05-0,12 |

Таблиця 3.3 Механічні властивості дроту Св-08ГСНТ

| Тимчасовий опір розриву МПа | Відносне подовження % | Межа плинності МПа |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| 540                         | 26                    | 432                |

При зварюванні в якості захисту зварювальної ванни від шкідливого впливу атмосферного повітря використовуємо суміш газів: інертного і активного (80% Ar + 20% CO<sub>2</sub>), при якій інтенсивність випромінювання стовпа дуги щодо невелика, а форма проплавлення основного металу така ж, як і у вуглекислого газу.

Змінюючи склад газової суміші, можна в певних межах змінювати властивості металу шва і зварного з'єднання в цілому. Переваги процесу зварювання в газових сумішах на основі аргону проявляється в тому, що можливий струменевий і керований процес перенесення електродного металу. Ці зміни зварювальної дуги - ефективний спосіб управління її технологічними характеристиками: продуктивністю, величиною втрат електродного металу на розбризування, формою і механічними властивостями металу шва, а також величиною проплавлення основного металу.

Переваги зварювальних сумішей перед традиційним захисним середовищем двоокису вуглецю або чистого аргону очевидні:

- зварювальні газові суміші сприяють збільшенню кількості наплавленого металу за одиницю часу; продуктивність зварювання в порівнянні з традиційною (в захисному середовищі CO<sub>2</sub>) збільшується в півтора - два рази;
- зварювальні газові суміші сприяють збільшенню глибини провару шва, його щільності, що в кінцевому підсумку збільшує міцність зварювальних конструкцій;
- зварювальні газові суміші сприяють зниженню втрат електродного металу на розбризування на 70-80%;
- зварювальні газові суміші сприяють зниженню кількості прилипання бризок (набрискування) в районі зварного шва і, отже, зменшення трудомісткості їх видалення;
- зварювальні газові суміші сприяють підвищенню стабільності процесу зварювання;

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 44   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

- зварювальні газові суміші сприяють поліпшенню якості зварного шва: зниження пористості і неметалевих включень;

- зварювальні газові суміші сприяють зменшенню зони термічного впливу, внаслідок цього - зменшення короблення конструкції;

- зварювальні газові суміші сприяють скороченню споживання електроенергії і матеріалів на 10-15%;

- зварювальні газові суміші сприяють поліпшенню умов праці (значно меншу кількість диму, зварних аерозолів зберігають здоров'я зварювальника і дозволяють йому тривалий час працювати з великою увагою).

- зварювальні газові суміші сприяють економії коштів (вартість газу становить лише невелику частину загального обсягу витрат на зварювання).

Втрати електродного металу, досягаються при зварюванні в  $\text{CO}_2$  100 ... 140 кг на тонну наплавленого металу, можуть бути знижені до 20 ... 30 кг при зварюванні в суміші  $\text{Ag} + \text{CO}_2$ . При цьому досягається суттєва додаткова економія праці і часу на очищення деталей зварювального обладнання, шва і зони, прилеглої до нього від бризок електродного металу. Для отримання даної суміші використовуємо аргон марки В з вмістом аргону 99,9%, який поставляється по ДСТУ 10157-62, і вуглекислий газ 1-го сорту з вмістом  $\text{CO}_2$ -99,5%, дана вуглекислота містить малу кількість вологи, що сприяє підвищенню стійкості металу шва до пористості, а також отримання більш кращої форми шва.

### 3.4 Вибір зварювального устаткування

Так, як важіль зварюється механізованим способом зварювання, то в якості зварювального обладнання використовуються апарати .

Напівавтоматичні апарати вибираються виходячи з обраного методу зварювання, технологічного процесу, режиму зварювання, конструкції виробу, конструкції зварного шва.

Зварювальний напівавтомат повинен відповідати наступним вимогам:

1. Установлення необхідного режиму зварювання й підтримки його в процесі зварювання постійним.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 45   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

2. Безперебійну подачу зварювального дроту в зону зварювання.
3. Захист розплавленого металу зварювальної ванни від впливу газів повітря.

4. Зручне й надійне регулювання швидкості подачі зварювального дроту.

При виборі зварювальних напівавтоматів необхідно враховувати їхні техніко-економічні показники й експлуатаційні якості.

Для механізованого зварювання плавким електродом, застосуємо зварювальні напівавтомати (рисунок 3.1) виробництва Каховського заводу електро-зварювального устаткування (КЗЭСО).



Рисунок 3.1 Загальний вигляд напівавтоматів

Зварювальні напівавтомати КЗЭСО це могутні із широким діапазоном регулювання зварювальних параметрів, призначені для зварювання суцільним дротом маловуглецевої і низьколегованої сталі в захисному середовищі вуглекислого газу, а також легованих і нержавіючих (корозійностійких) сталей у середовищі аргону довгими і переривчастими швами, у всіх просторових положеннях (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 Технічна характеристика зварювальних напівавтоматів

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 46   |

| Технічна характеристика                                       | ПДГ 508М  | ПДГ 508М-1<br>ПДГ 508М-2             | КП 003                               | КП 006                               |
|---------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| I <sub>ном</sub> , при ПВ=60% та циклі зварювання 5 хвил, А   | 500       | 315-500                              | 500                                  | 500                                  |
| Витрата захисного газу, л/год                                 | 480-1280  | 480-1280                             | 480-1280                             | 480-1400                             |
| Межі регулювання зварювального струму, А                      | 60-500    | 60-500                               | 50-315<br>60-500                     | 60-315<br>60-500                     |
| Діаметр електродного дроту, мм<br>- суцільний<br>- порошковий | 1,2-2,0   | 0,8-1,4; 1,2-2,0<br>0,8-1,4; 1,2-2,0 | 0,8-1,4; 1,2-2,0<br>0,8-1,4; 1,2-2,0 | 0,8-1,4; 1,2-2,0<br>0,8-1,4; 1,2-2,0 |
| Межі регулювання швидкості подачі, м/год                      | 120-1200  | 140-730                              | 80-800                               | 120-850                              |
| Регулювання подачі дроту                                      | східчате  | східчате                             | плавне                               | плавне                               |
| Джерело живлення (рекомендований)                             | КИУ 501   | КИУ 501                              | КИУ 301<br>КИУ 401<br>КИУ 501        | КИУ 301<br>КИУ 401 КИУ 501           |
| Маса, кг<br>- устрою що подає<br>- джерела живлен.            | 24<br>260 | 21<br>260                            | 17<br>260                            | 12<br>260                            |

Вибір джерела живлення зварювальної дуги для механізованого зварювання проводиться відповідно до обраного методу зварювання, родом зварювального струму й режимом зварювання. Джерело живлення повинно забезпечити нормальні умови роботи зварювального поста: максимальну продуктивність, високу якість зварного шва.

При виборі джерела живлення необхідно враховувати їхні техніко-економічні показники й експлуатаційні якості. Для механізованого зварювання в середовищі захисних газів, яка проводиться на постійному струмі зворотної полярності. Можна застосувати один із двох видів джерела живлення:

- зварювальні випрямні установки;
- зварювальні генератори.

У стаціонарних умовах найбільш перспективні випрямлячі, що характеризуються високим ККД і  $\cos \phi$ , без гучністю роботи. Вони економічні, тому що можуть вимикатися під час пауз у роботі.

З джерел живлення для механізованого зварювання можна рекомендувати зварювальні випрямлячі виробництва Каховського заводу електрозварювального устаткування (КЗЭСО). КИУ 301, КИУ 501, КИУ 1201 – універсальні зварювальні випрямлячі для комплектації зварювальних напівавтоматів і автоматів для зварювання в середовищі захисних газів і під флюсом, а також для ручного дугового зварювання, різання штучними електродами всіх типів на прямій і зворотній полярності. Загальний вигляд випрямлячів представлено на рисунку 3.2. Технічна характеристика випрямлячів приведена у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 Технічна характеристика зварювальних випрямлячів

| Технічна характеристика               | КИУ 1201 | КИУ 301 | КИУ 501 |
|---------------------------------------|----------|---------|---------|
| Номінальний зварювальний струм, А     | 1250     | 315     | 500     |
| Межі регулювання зварювального струму |          |         |         |
| - падаюча                             | 200-1250 | 50-315  | 50-500  |
| - жорстка                             | 250-1250 | 60-315  | 60-500  |
| Споживана потужність, кВт             | 120      | 24      | 40      |
| Напруга холостого ходу, В             | 85       | 72      | 85      |
| Маса, кг                              | 550      | 190     | 260     |

Каховський завод електрозварювального устаткування випускає пальники для дугового зварювання. Пальники призначені для дугового зварювання в середовищі CO<sub>2</sub> у всіх просторових положеннях сталевим суцільним і порошковим дротом. Загальний вигляд представлено на рисунку 3.3. Технічні характеристики представлені в таблиці 3.6.



Рисунок 3.2 Загальний вигляд випрямлячів

Таблиця 3.6 Технічна характеристика пальників

| Технічна характеристика           | КГ 005-01 | КГ 007    | КГ 007-01 |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Номінальний зварювальний струм, А | 500       | 160       | 315       |
| Діаметр електродного дроту, мм    | 1,2...2,0 | 0,6...1,2 | 0,8...1,4 |
| Довжина пальника, мм              | 3000      | 1800      | 3000      |
| Інтервал робочих температур, °С   | -10...+40 | -10...+40 | -10...+40 |
| Охолодження пальника              | природне  |           |           |
| Маса пальника, кг, не більш       | 5,4       | 1,5       | 2,7       |



Рисунок 3.3 Загальний вигляд пальників

Для механізованого зварювання й виконання прихваток для зварювання важелю в середовищі захисних газів застосовуємо напівавтомат серії КП 006, який призначений для зварювання у всіх просторових положеннях. Так, як зварювальний струм рівний 140А, а дрiт діаметром 1,0 мм, то для зварювання й прихватки доцільно вибрати напівавтомат КП 006 з номінальним зварювальним струмом 500А.

### 3.5 Методи контролю якості та випробувань

Отримання виробів високої якості можливо тільки в тому випадку, якщо на підприємстві здійснюються три види контролю: попередній, контроль в процесі зварювання і остаточний контроль готового виробу або вузла.

Дану конструкцію зварюють з низьколегованої сталі 12ХН2 контроль якості виконувався на всіх стадіях виготовлення конструкції.

Контроль якості даної конструкції проводимо зовнішнім оглядом і за допомогою спеціальних інструментів (лінійка, штангенциркуль, кутомір,

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 50   |

універсальний шаблон зварювальника (УШС-2), а також можливе застосування ультразвукового контролю для виявлення внутрішніх дефектів.

**1. Основний матеріал.** Необхідно провести обов'язковий вхідний контроль основного матеріалу на відсутність розшарування, оксидних і сульфідних прошарків. Контроль виконується зовнішнім оглядом і ультразвуковим методом.

**2. Допоміжні матеріали.** Обов'язковий вхідний контроль зварювальних матеріалів перед виконанням зварювання (прогартування зварювальних матеріалів, проведення випробувальних робіт цими зварювальними матеріалами з визначенням на зразках механічної якості зварного з'єднання).

**3. Підготовка кромek деталей для зварювання.** Обов'язковий візуально-вимірювальний контроль. Перевіряються розміри підготовлених крайок, шорсткість поверхні, розміри деталі в цілому, а також відсутність наднормативних деформацій.

**4 Перевірка заданого технологічного процесу збирання-зварювання.** Обов'язковий візуально-вимірювальний контроль.

**5 Зварні шви.** Обов'язковий візуально-вимірювальний контроль (виміри катета швів). Ультразвуковий контроль шва (перевірка наявності внутрішніх дефектів)

**6. Контроль після проведення зварювання.** Обов'язковий візуально-вимірювальний контроль 100% зварних швів.

При зовнішньому огляді зварні шви повинні відповідати таким вимогам:

- мати гладку, або дрібночешуйчасту поверхню (без напливів, звужень і перерв) і плавний перехід до основного металу;

- наплавлений метал повинен бути щільним по всій довжині шва, не мати тріщин, свищів, скупчень і ланцюжків поверхневих пор (окремо розташовані пори допускаються діаметром не більше 1-1,5 мм);

- підрізи основного металу допускаються не більше 0,5 мм при товщині металу до 10 мм, і не більше 1 мм при товщині більше 10 мм;

- все кратери повинні бути заварені.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 51   |

Особливу увагу слід звернути на стан зварних з'єднань в зонах концентрації напруги.

Найбільш доцільно при застосуванні ультразвукового контролю швів використовувати - дефектоскоп типу УД4-Т. Який дозволяє не тільки від виконувати звичайний УЗК, але і можливість виконати томографію об'єкта контролю.

#### УД2В-П45

- чіткий, контрастний кольоровий дисплей
- простий і зручний в обігу
- розширені можливості контролю і налаштувань приладу

Зручний у використанні, багатофункціональний прилад. Підходить для різних матеріалів і зварних з'єднань.

#### УД4-Т Томограф.

- чіткий, контрастний кольоровий TFT дисплей
- Windows Сумісність прикладного ПО
- Підтримка інфрачервоного порту (IRDA) і інтерфейсу Ethernet (TCP / IP)

Технологічна новинка, продовження серійного ряду дефектоскопа - томографа УД4Т (УД4С), яка зберігає основні методичні та концептуальні рішення.

#### Універсальний шаблон зварювальника (УШС-2)

Технічний пристрій (шаблон) зварника УШС-2 призначене для контролю і виміру катетів кутових швів в широкому діапазоні 4-14 мм і повністю відповідає вимогам СТБ 1133-98 "З'єднання зварні. Метод контролю зовнішнім оглядом і вимірюваннями. Загальні вимоги". Контроль проводиться послідовним додатком пластин-шаблонів з виточенням до зварних виробів (ступінчастий метод) до мінімального зазору.

#### Висновки.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 52   |

Для механізованого зварювання у суміші газів Аг 80% + CO<sub>2</sub> 20% напі-  
вавтоматом КП 017 використовуємо зварювальний дріт марки Св-08ГСНТ ді-  
аметром 1,0 мм

Консольно-поворотний кран призначений для доставки на секцію кон-  
тейнеру з кабелями підводу живлення, шлангами для витяжної вентиляції й  
подачі захисного газу та напівавтомату для механізованого зварювання.

Пальники призначені для дугового зварювання в середовищі CO<sub>2</sub> у всіх  
просторових положеннях сталевим суцільним і порошковим дротом. Викори-  
стовуємо пальник КГ 007-01.

З джерел живлення для механізованого зварювання можна рекоменду-  
вати зварювальний випрямляч виробництва Каховського заводу електрозва-  
рювального устаткування (КЗЭСО) КИУ 501. Це універсальний зварювальний  
випрямляч для комплектації зварювальних напівавтоматів і автоматів для зва-  
рювання в середовищі захисних газів і під флюсом, а також для ручного дуго-  
вого зварювання.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 53   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

|             |      |                |        |      |                                           |  |      |      |         |
|-------------|------|----------------|--------|------|-------------------------------------------|--|------|------|---------|
|             |      |                |        |      | ДР.131.4121зш.01.04.04.ПЗ.                |  |      |      |         |
|             |      |                |        |      |                                           |  |      |      |         |
| Змін.       | Арк. | № документа.   | Підпис | Дата |                                           |  |      |      |         |
| Студент     |      | Колбасін М.М.  |        |      | 4 Економічна оцінка<br>проектних розробок |  | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Керівник    |      | Спіхтаренко В. |        |      |                                           |  |      | 54   | 14      |
| Консультант |      |                |        |      |                                           |  | ХННІ |      |         |
| Н. Контр.   |      |                |        |      |                                           |  |      |      |         |
| Зав.кафедр. |      | Матвієнко М.В. |        |      |                                           |  |      |      |         |

В даному розділі приведено розрахунок собівартості складання та зварювання важелю мостового крану.

Здійснене нормування основних зварювальних операцій, розрахована собівартість виготовлення важелю мостового крану, до якого входять витрати на основні та зварювальні матеріали, енергію для технологічних цілей та заробітну плату виробничих працівників.

#### 4.1 Нормування основних зварювальних операцій

Технічне нормування передбачає встановлення розрахункової норми часу по будь-якій операції на основі ретельної перевірки виробничих можливостей устаткування, інструмента і найбільш ефективної організації праці з урахуванням виробничого досвіду, тому тут необхідно:

- 1) указати метод розрахунку норм часу, приведений у картах технологічного процесу;
- 2) зробити розрахунок норм часу по кожній типовій операції і порівняти його з нормативними даними.

Тарифний розряд роботи встановлюється по єдиному тарифно-кваліфікаційному довіднику [24]. Правильний підхід до встановлення технічно обґрунтованих норм, а також тарифікація робіт стимулюють постійний зріст продуктивності праці, сприяють підвищенню кваліфікації робітників і їхній матеріальній зацікавленості.

Норму часу на зварювання (Тзв) визначаємо по формулі:

$$T_{зв} = T_{шт.к.} \cdot L, \text{ н-год.} \quad (4.1)$$

де L – довжина шва, що зварюється, м.

T<sub>шт.к.</sub> – витрати часу на зварювання 1 погон. м з'єднання (н-год.), яке визначається за формулою:

$$T_{штк} = \frac{t_o}{k_n}, \text{ н-год.} \quad (4.2)$$

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 55   |

де  $k_{\Pi}$  – коефіцієнт використання зварювального поста (для автоматичного та механізованого зварювання  $k_{\Pi} = 0,6 \div 0,7$ , для ручного дугового зварювання  $k_{\Pi} = 0,5$ )

$t_o$  – час горіння дуги, год., яке визначається за формулою:

$$t_o = \frac{F_n \cdot L \cdot \gamma}{\alpha_n \cdot I_{зв}}, год \quad (4.3)$$

де  $F_n$  – площа наплавленого металу,  $см^2$ ;

$L = 100$  – довжина стику, що зварюється,  $см$ ;

$\gamma = 7,85$  – густина металу,  $г/см^3$ ;

$\alpha_n$  – коефіцієнт наплавлення,  $г/А \cdot год.$ ;

$I_{зв}$  – зварювальний струм,  $А$ .

Нормування часу на зварювальні операції за пропонованими технологічними процесами проводимо у пункті 4.2.

## 4.2 Пропонована технологія

### Шов № 1

$$t_o = \frac{F_n \cdot L \cdot \gamma}{\alpha_n \cdot I_{зв}}, год$$

де:  $F_n = 1 \text{ см}^2$

$L = 18,8 \cdot 2 = 37,6 \text{ см}$

$\alpha_n = 18,6 \text{ г/А год}$

$I_{зв} = 140 \text{ А}$

$$t_o = \frac{1 \cdot 37,6 \cdot 7,8}{18,6 \cdot 140} = 0,112 год$$

Для підваарювального шва:

$F_n = 0,2 \text{ см}^2$

$L = 18,8 \cdot 2 = 37,6 \text{ см}$

$\alpha_n = 18,6 \text{ г/А год}$

$I_{зв} = 140 \text{ А}$

$$t_o = \frac{0,2 \cdot 37,6 \cdot 7,8}{18,6 \cdot 140} = 0,0225 год$$

Час горіння дуги:  $t_o = 0,112 + 0,0225 = 0,1351 \text{ год}$

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 56   |

Витрати часу на зварювання шва № 1:

$$T_{штк} = \frac{t_o}{k_n} = \frac{0,1351}{0,65} = 0,2079_{\text{н-год}}$$

**Шов № 2**

$$F_n = 0,122 \text{ см}^2$$

$$L = 6,6 \cdot 2 = 13,2 \text{ см}$$

$$\alpha_n = 18,6 \text{ г/А год}$$

$$I_{зв} = 140 \text{ А}$$

$$t_o = \frac{0,122 \cdot 13,2 \cdot 7,8}{18,6 \cdot 140} = 0,0048_{\text{год}}$$

**Витрати часу на зварювання шва № 2:**

$$T_{штк} = \frac{t_o}{k_n} = \frac{0,0048}{0,65} = 0,0074_{\text{н-год}}$$

**Шов № 3**

$$F_n = 0,177 \text{ см}^2$$

$$L = 16,9 \cdot 2 = 33,8 \text{ см}$$

$$\alpha_n = 18,6 \text{ г/А год}$$

$$I_{зв} = 140 \text{ А}$$

$$t_o = \frac{0,177 \cdot 33,8 \cdot 7,8}{18,6 \cdot 140} = 0,0179_{\text{год}}$$

**Витрати часу на зварювання шва № 3:**

$$T_{штк} = \frac{t_o}{k_n} = \frac{0,0179}{0,65} = 0,0276_{\text{н-год}}$$

**Прихватки:**

$L_{пр} = 6 \text{ мм}$ ;  $n_{пр} = 4$ ; відстань між прихватами  $L = 40 \text{ мм}$

$$F_n = 0,059 \text{ см}^2$$

$$L = 12,69 \text{ см}$$

$$\alpha_n = 18,6 \text{ г/А год}$$

$$I_{зв} = 140 \text{ А}$$

$$t_o = \frac{0,059 \cdot 12,69 \cdot 7,8}{18,6 \cdot 140} = 0,00224_{\text{год}}$$

**Витрати часу на постановку прихваток:**

$$T_{штк} = \frac{t_o}{k_n} = \frac{0,00224}{0,65} = 0,00345_{\text{н-год}}$$

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 57   |

Загальний час на зварювання одного виробу:

$$T_{\text{шт}} = 0,2079 + 0,007421 + 0,02757 + 0,00345 = 0,2464 \text{ год}$$

#### 4.3 Визначення технологічної собівартості

Собівартість – це витрати підприємства в грошовому вираженні на виготовлення продукції.

Технологічна собівартість виготовлення виробу Сзаг.р розраховується за формулою:

$$C_{\text{заг.р.}} = C_{\text{зв.м.}} + C_{\text{з.п.}} + C_{\text{т.ен.}} + C_{\text{а}}, \text{ грн.} \quad (4.4)$$

де  $C_{\text{зв.м.}}$  – вартість зварювальних матеріалів (електроди, флюс, дріт, захисний газ), грн.;

$C_{\text{з.п.}}$  – загальнорічні витрати з фонду заробітної плати, грн.;  $C_{\text{т.ен.}}$

– загальнорічні витрати на технологічну енергію, грн.;

$C_{\text{а}}$  – амортизаційні відрахування, грн.

В таблиці 4.1 наведені ціни, діючі на 01.01.2025 року на основні та зварювальні матеріали та електроенергію.

Таблиця 4.1 Ціни основних зварювальних матеріалів та електроенергії

| Найменування матеріалу                                      | Ціна, грн. |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| 1. Зварювальний дріт Св-08ГСНТ, Ø 1,0 мм, за кг             | 128,0      |
| 2. Захисний газ, Аг + CO <sub>2</sub> , грн./м <sup>3</sup> | 162,0      |
| 3. Електроенергія, за кВт/год.                              | 4,32       |

#### 4.4 Визначення вартості зварювальних матеріалів

1. **Витрати на зварювальний дріт** ( $C_{\text{д.а.}}$ , грн.) при механізованому зварюванні таврових і напускних з'єднань:

$$C_{\text{д.а.}} = \frac{F \cdot L \cdot \gamma \cdot K \cdot R_2}{1000},$$

де  $F$  – площа поперечного перетину шва, см<sup>2</sup>;

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 58   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

L – довжина шва, см.;

K – коефіцієнт втрат на чад і розбризкування (при автоматичному зварюванні  $K_{\text{мех.}} = 1,02$ );

$\gamma$  — густина сталі, г/см<sup>3</sup> ( $\gamma = 7,85$  г/см<sup>3</sup>);

R2 – вартість 1 кг дроту Св-08ГСНТ, грн. (R2 = 128 грн.), таблиця

4.1.

### Шов № 1

$$C_{\text{д.а}} = \frac{1,0 \cdot 37,6 \cdot 7,85 \cdot 1,02 \cdot 128}{1000} = 38,29 \text{ грн.}$$

### Шов № 2

$$C_{\text{д.а}} = \frac{0,122 \cdot 13,2 \cdot 7,85 \cdot 1,02 \cdot 128}{1000} = 1,64 \text{ грн}$$

### Шов № 3

$$C_{\text{д.а}} = \frac{0,177 \cdot 33,8 \cdot 7,85 \cdot 1,02 \cdot 128}{1000} = 6,09 \text{ грн}$$

### Прихватки

$$C_{\text{д.а}} = \frac{0,059 \cdot 12,69 \cdot 7,85 \cdot 1,02 \cdot 128}{1000} = 0,76 \text{ грн}$$

Загальні витрати зварювального дроту Св-08ГСНТ на одиницю виробу  $\Sigma \text{Сдр}$  дорівнюють:

$$\Sigma \text{Сдр} = 46,78 \text{ грн.}$$

## 2. Витрати на захисне середовище.

Визначення витрат на захисний газ ( $\text{Ag} + \text{CO}_2$ ) визначається за формулою:

$$G_{\text{захсер}} = (t_0 + T_{\text{п.з.}}) \cdot N_1 \cdot R_3 \cdot L,$$

де  $t_0$  – час горіння дуги на 1 пог. м., год.;

L – довжина шва, м;

$N_1$  – питома витрата газу, м<sup>3</sup>/год. (для таврового з'єднання типу ТЗ  $N_1 = 0,6$  м<sup>3</sup>/год.);

R3 – вартість 1 м<sup>3</sup> газу  $\text{Ag} + \text{CO}_2$ , грн./м<sup>3</sup>, R3 = 162 грн./м<sup>3</sup>;

Тп.з. – час на підготовчо-завершальні операції, год..

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 59   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

$$T_{n.з.} = t_{n.з.} \cdot L \cdot n,$$

де  $t_{п.з.}$  – підготовчо-завершальний час на продування пальника до зварювання і місце зварювання при виконання 1 м шва ( $t_{п.з.} = 0,0033$  год.);

$L$  – довжина шва;

$n$  – кількість проходів.

$T_{п.з.} = 0,0033$  год.

### Шов № 1

$$G_{захсер} = (0,1126 + 0,1351 + 0,0033) \cdot 0,6 \cdot 162 \cdot 0,376 = 9,18 \text{ грн.}$$

### Шов № 2

$$G_{захсер} = (0,0048 + 0,0033) \cdot 0,6 \cdot 162 \cdot 0,132 = 0,10 \text{ грн}$$

### Шов № 3

$$G_{захсер} = (0,0179 + 0,0033) \cdot 0,6 \cdot 162 \cdot 0,338 = 1,28 \text{ грн}$$

### Прихватки

$$G_{захсер} = (0,00224 + 0,0033) \cdot 0,6 \cdot 162 \cdot 0,338 = 0,096 \text{ грн}$$

Таким чином витрати на захисний газ ( $Ag + CO_2$ ) дорівнюють:

$$\sum G_{захсер} = 10,66 \text{ грн.}$$

### 3. Визначення вартості на технологічну енергію

Витрати на електроенергію ( $C_{e.a.}$ , грн.) при механізованому зварюванні визначаються за формулою:

$$C_{e.a.} = \frac{F \cdot L \cdot \gamma \cdot K_{мех.} \cdot Q_e \cdot c_e}{1000},$$

де  $F$  – площа поперечного перетину шва;

$L$  – довжина шва;

$Q_e$  – питома витрата електроенергії при механізованому зварюванні

$Q_e = 4,0$  кВт·год./кг;

$K_{мех.}$  – коефіцієнт втрат на чад і розбризкування ( $K_{мех.} = 1,15$ );

$\gamma$  – густина сталі, г/см<sup>3</sup> ( $\gamma = 7,85$  г/см<sup>3</sup>);

$c_e$  – вартість 1 кВт·год., грн. ( $c_e = 4,32$  грн./кВт·год.)

### Шов № 1

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 60   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

$$C_{e.a} = \frac{1,0 \cdot 37,6 \cdot 7,85 \cdot 1,15 \cdot 4 \cdot 4,32}{1000} = 5,89 \text{ грн}$$

### Шов № 2

$$C_{e.a} = \frac{0,122 \cdot 13,2 \cdot 7,85 \cdot 1,15 \cdot 4 \cdot 4,32}{1000} = 0,25 \text{ грн}$$

### Шов № 3

$$C_{e.a} = \frac{0,177 \cdot 33,8 \cdot 7,85 \cdot 1,15 \cdot 4 \cdot 4,32}{1000} = 0,93 \text{ грн}$$

### Прихватки

$$C_{e.a} = \frac{0,059 \cdot 12,69 \cdot 7,85 \cdot 1,15 \cdot 4 \cdot 4,32}{1000} = 0,120 \text{ грн}$$

Загальні витрати на електроенергію при механізованому зварюванні:

$$\Sigma C_{e.l.a} = 7,12 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 Витрати матеріалів за пропонованою технологією

| Найменування                            | Вартість, грн.         |                   |
|-----------------------------------------|------------------------|-------------------|
|                                         | На одиницю ви-<br>робу | На річну програму |
| 1 Зварювальний дріт Св-08ГСНТ, Ø 1,0 мм | 46,78                  | 233927,84         |
| 2 Суміш газів, 80% Аг + 20% СО2         | 10,66                  | 53311,97          |
| 3 Електроенергія                        | 7,12                   | 35605,19          |
| <b>Разом:</b>                           | <b>64,56</b>           | <b>322845</b>     |

### 4.5 Витрати на амортизаційні відрахування по устаткуванню

Розрахунок кількості устаткування проводиться за формулою:

$$N_y = \frac{T_{\text{заг.зв.}}}{\Phi_o * K_{\text{в.н.}}} \text{шт,}$$

де  $T_{\text{заг.зв.}}$  – загально річний час зварювання, н-год. (для механізованого зварювання  $T_{\text{заг.зв.}} = 0,246 * 5000 = 1230$  н-год н-год.);

$\Phi_d$  – діючий фонд робочого часу, год. ( $\Phi_d = 2002$  год.);

$K_{\text{в.н.}}$  – коефіцієнт виконання норм, ( $K_{\text{в.н.}} = 1,2$ ).

Визначимо кількість устаткування для механізованого зварювання у суміші газів  $N_{y.n/a}$ :

$$N_{y.a} = \frac{1230}{2002 \cdot 1,2} = 0,51 \text{ шт.}$$

Для виконання механізованого зварювання необхідно один напівавтомат КП017 з джерелом живлення КИУ501.

**Витрати на амортизаційні відрахування по устаткуванню** (Са.уст., грн.) залежать від кількості і вартості устаткування, норми річних амортизаційних відрахувань, коефіцієнта завантаження, трудомісткості виконання операцій техпроцесу і визначаються за формулою:

$$C_{a.уст.} = \frac{T \cdot \Sigma \cdot K_o \cdot A_y}{100 \cdot \Phi_e \cdot K_z}, \text{ грн.}$$

де  $T$  – загально річний час зварювання, н-год.;

$\Sigma$  – число типорозмірів устаткування, вживаного в технологічному процесі, шт. (для механізованого зварювання  $\Sigma = 1$  шт);

$K_o$  – вартість одиниці устаткування, грн. (для механізованого зварювання вартість КП017 та джерела живлення КИУ 501 становить  $K_o = 1000000 + 300000$  грн.);

$A_y$  – норма річних амортизаційних відрахувань по устаткуванню, % (для зварювального обладнання  $A_y = 16,6$  %);

$\Phi_e$  – ефективний річний фонд часу роботи устаткування, годин ( $\Phi_e = 2002$  год.);

$K_z$  – — коефіцієнт завантаження устаткування, приймаємо  $K_z = 0,8$ .

Загально річні витрати на амортизаційні відрахування по устаткуванню дорівнюють Са.уст:

- для механізованого зварювання:

$$C_{a.уст.} = \frac{1230 \cdot 1 \cdot (1000000 + 300000) \cdot 16,6}{100 \cdot 2002 \cdot 0,8} = 165977,99 \text{ грн.};$$

Загальнорічні витрати на амортизаційне відрахування по устаткуванню  $\Sigma$ Са.уст:

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 62   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

$$\Sigma \text{Ca.уст} = 165977,99 \text{ грн.}$$

#### 4.6 Загальнорічні витрати з фонду заробітної плати

Чисельність працівників – зварників  $P_{зв}$  розраховуємо за формулою:

$$P_{зв} = \frac{T_{заг.зв.}}{\Phi_0 * K_{в.н.}} \text{чол.},$$

де: для механізованого зварювання  $T_{заг.зв.} = 1230$  н-год;

$\Phi_0$  – діючий фонд робочого часу, год. ( $\Phi_0 = 2002$  год.);

$K_{в.н.}$  – коефіцієнт виконання норм, ( $K_{в.н.} = 1,2$ ).

Для робіт на зварювальному напівавтоматі КП017 чисельність працівників складе:

$$P_{зв} = \frac{1230}{2002 \cdot 1,2} = 0,51 \text{ чол.} - \text{один робітник.}$$

Кількість працівників – складальників  $P_{ск}$ , які обслуговують дільницю складання та зварювання розраховується за формулою:

$$P_{ск} = 1,8 \cdot P_{зв}, \text{чол.}$$

$P_{зв}$  – загальна кількість зварників ( $P_{зв} = 1$  чол.).

$$P_{ск} = 1,8 \cdot 1 = 2 \text{ чол.}$$

Кількість допоміжних працівників:

$$P_{доп.пр.} = 0,45 \cdot P_{осн.пр.}, \text{чол.}$$

де  $P_{осн.пр.}$  – чисельність основних працівників, яка дорівнює

$$P_{осн.пр.} = 3 \text{ чол.}$$

$$P_{доп.пр.} = 0,45 \cdot 3 = 1,35 \text{ робітника.}$$

Для керівництва за роботою та технологічним процесом виготовлення бортової секції необхідне 1 (один) майстер.

Чисельність працівників, які обслуговують дільницю наведено в таблиці 4.3.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 63   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

Таблиця 4.3 Чисельність працівників, які обслуговують дільницю

| Працівники           | Чисельність, чол. |
|----------------------|-------------------|
| Зварники             | 1                 |
| Складальники         | 2                 |
| Допоміжні працівники | 2                 |
| Майстер ділянки      | 1                 |
| <b>Разом:</b>        | <b>6</b>          |

Заробітну плату працівників – зварників  $Z_{\text{пр.зв.}}$  визначимо з формули:

$$Z_{\text{пр.зв.}} = r \cdot n \cdot T_{\text{заг.зв.}}, \text{ грн.}$$

де  $r$  – коефіцієнт середньогодинної тарифної ставки працівників – зварників 4 розряду,  $r = 100$  грн.,;

$n$  – коефіцієнт додаткової заробітної плати,  $n = 3$ ;

$T_{\text{заг.зв.}}$  – загально річний час зварювання, н-год для механізованого зварювання  $T_{\text{заг.зв.}} = 1230$  н-год.

$$Z_{\text{пр.зв.}} = 3 \cdot 100 \cdot 1230 = 369550,99 \text{ грн.}$$

Заробітну плату працівників-складальників визначимо за формулою:

$$Z_{\text{пр.ск.}} = 1,8 \cdot Z_{\text{пр.зв.}}, \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{пр.ск.}} = 1,8 \cdot 369550,99 = 665191,78 \text{ грн.}$$

Загальнорічні витрати на заробітну плату основних працівників (зварників та складальників) складатимуть:

$$\sum Z = Z_{\text{пр.зв.}} + Z_{\text{пр.ск.}} = 369\,550,99 + 665\,191,78 = 1\,034\,742,77 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальне страхування визначаємо за встановленим нормативом – 37,5 % від суми загальнорічних витрат на заробітну плату.

$$C_{\text{соц.с}} = 1034742,77 \cdot 0,375 = 388\,028,54 \text{ грн.}$$

Загальні витрати з фонду заробітної плати  $\sum C_{\text{з.п.рік}}$ :

$$\sum C_{\text{з.п.рік}} = 1\,034\,742,77 + 388\,028,54 = 1\,422\,771,31 \text{ грн.}$$

Технологічна собівартість на виготовлення деталей при річній програмі 5000 шт.  $C_{\text{заг.р}}$  по пропонуємії технології складе:

$$C_{\text{заг.р.}} = C_{\text{зв.м.}} + C_{\text{з.п.}} + C_{\text{а}} = 322845 + 165977,99 + 1\,422\,771,31 = 1\,911\,594,32 \text{ грн.}$$

**Таблиця 4.4 Розрахунок загальної собівартості продукції, грн.**

| Найменування статей витрат                                         | Величина показника технології, грн. |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Річна програма, шт                                                 | <b>5000</b>                         |
| Зварювальні матеріали                                              |                                     |
| Дріт Св 08ГСНТ діаметром 1,0 мм                                    | <b>233 927,84</b>                   |
| Суміш газів, 80% Ar + 20% CO <sub>2</sub>                          | <b>53 311,97</b>                    |
| Електроенергія                                                     | <b>35 605,19</b>                    |
| Основна заробітна плата                                            | <b>1 034 742,77</b>                 |
| Відрахування від заробітної плати                                  | <b>388 028,54</b>                   |
| Амортизаційні відрахування                                         | <b>165 977,99</b>                   |
| Технологічна собівартість річного випуску продукції С <sub>т</sub> | <b>1 911 594,30</b>                 |
| Технологічна собівартість виготовлення одного виробу, грн          | <b>382,32</b>                       |

### **Висновки**

Проведено розрахунок собівартості зварювальних робіт при виготовленні важелю мостового крану. Із зварювальних матеріалів найбільшу вартість має низько легований дріт Св-08ГСНТ. Технологічна собівартість виготовлення деталі складе – **382,32** грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО ДИПЛОМНІЙ РОБОТІ

Метою дипломної роботи є удосконалення технології складання та зварювання важелю мостового крану.

Для вирішення поставленої мети, були вирішені такі завдання:

- розроблена технологія виготовлення з більш високою продуктивністю праці;

- було замінено зварювальне обладнання більш продуктивним;

- розрахували режими зварювання. Приведений розрахунок режимів зварювання узгоджується з рекомендаціями на зварювання конструкцій;

- зварювання таврових і напускних з'єднань рекомендується зварювати механізованим зварюванням. Для механізованого зварювання у суміші газів  $\text{Ar } 80\% + \text{CO}_2 \text{ } 20\%$  напівавтоматом КП 017 використовуємо зварювальний дріт марки Св-08ГСНТ діаметром 1,0 мм;

- з джерел живлення для механізованого зварювання можна рекомендувати зварювальний випрямляч виробництва Каховського заводу електрозварювального устаткування (КЗЭСО) КИУ 501.

- виконано розрахунок термічного циклу та розрахунок очікуваної структури ЗТВ при зварюванні. При зварюванні таврових з'єднань розрахунок термічного циклу показує, що структура має підвищену твердість 420-440 HV;

- виконано розрахунок економічної ефективності від втілення пропонованих технічних рішень.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
|       |      |          |        |      |                             | 66   |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             |      |

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыков А.М. Расчет и выбор режима дуговой сварки и параметров швов сварных соединений [Текст] / А.М. Рыков, - Николаев: НКИ, 1980. – 40 с.
2. Словарь-справочник по сварке [Текст] : справочное издание / Акад. наук УкрССР, Ин-т электросварки им. Е. О. Патона ; ред. К. К. Хренов, сост. Т. А. Кулик. – Киев : Наукова думка, 1974. – 195 с.
3. Технологическая инструкция по механизированной дуговой сварке в защитных газовых смесях на основе аргона [Текст]. – К.: Академия наук Украины. Институт электросварки им. Е.О. Патона, 1993. – 21 с.
4. Расчеты в дипломных проектах по технологии оборудования сварочного производства [Текст]: учеб. пособие / Под ред. В.Ф. Квасницкого – Николаев: НКИ, 1991. – 89 с.
5. Савченко, В.П., Контроль качества сварки [Текст] : учебное пособие / В.П. Савченко, Ю.И. Русанов. - Николаев: НКИ, 1989. – 43 с.
6. Пістун, І.П., Охорона праці в суднобудуванні [Текст]: Навчальний посібник / А.М. Тубальцев, Н.П. Тубальцева. – Львів: “Тріада плюс”, 2009. – 580с.
7. Голобородько Ж.Г. Автоматическая дуговая сварка в судостроении [Текст] / Ж.Г. Голобородько // Херсон: ООО и «ПКФ «Старт» ЛТД», 2011. – 233 с.
8. Верещаго Е.Н. Схемотехника инверторных источников питания для дуговой сварки [Текст]: Учебное пособие /Е.Н. Верещаго, В.Ф. Квасницкий, Л.Н. Мирошниченко, И.В. Пешков // Николаев: УГМТУ, 2000. – 323 с.
9. Єрмолаєв Г.В. Міцність зварних з'єднань [Текст]: Підручник / Г.В. Єрмолаєв // Миколаїв: НУК, 2007. – с. 220 с.
10. Костін О.М. Зварювальні матеріали [Текст]: Навчальний посібник / О.М. Костін // Миколаїв: НУК, 2004. – 364 с.
11. Карпенко А.С. Технологічне оснастка у зварювальному виробництві [Текст]: Навчальний посібник / А.С. Карпенко // К.: Арістей, 2005. –372 с.

|       |      |          |        |      |                             |      |
|-------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
|       |      |          |        |      | ДР.131.4121зш.01.03.04. ПЗ. | Арк. |
| Змін. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                             | 67   |

ДОДАТОК

|             |                 |              |        |      |                           |      |      |         |
|-------------|-----------------|--------------|--------|------|---------------------------|------|------|---------|
|             |                 |              |        |      | . ДР.131.4121зш.01.04.ПЗ. |      |      |         |
|             |                 |              |        |      |                           |      |      |         |
| Змін.       | Арк.            | № документа. | Підпис | Дата | ДОДАТОК                   | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Студент     | Колбасін М.М.   |              |        |      |                           |      |      | 1       |
| Керівник    | Спіхтаренко В.  |              |        |      |                           |      |      |         |
| Консультант |                 |              |        |      |                           |      |      |         |
| Н. Контр.   |                 |              |        |      |                           |      |      |         |
| Зав.кафедр. | .Матвієнко М.В. |              |        |      |                           | ХННІ |      |         |