

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему: "Розроблення технології виготовлення кришки котла КСВа-3,5 з дослідженням впливу деформаційних параметрів на характеристики матеріалу" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 86 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 6 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, дослідницька, конструкторська, охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Для висвітлення питань, які розглядаються у кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 36 рисунків, 12 таблиць, 1 додаток. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 29 першоджерел.

В роботі обґрунтовано параметри технологічного процесу виготовлення кришки котла та запропоновано нове зварювальне устаткування, що дозволяють підвищити продуктивність та якість конструкції.

Досліджено вплив температури і параметрів навантаження і агресивних середовищ на напруження сколювання як одну з основних характеристик матеріалу. Збільшення попередньої пластичної деформації за комбінованого розтягу призводить до зростання напруження сколювання не залежно від температури деформування. Виявлено, що збільшенням розмаху напружень за комбінованого розтягу збільшує напруження сколювання у порівнянні з первісним матеріалом. Зазначимо, що напруження сколювання за статичного розтягу більше порівняно з комбінованим розтягом. Встановлено, що електролітичне наводнювання не впливає на напруження сколювання у випадку, коли метал спочатку деформують, а вже потім наводнюють.

Здійснено дослідження, які підтверджують успішність використання запропонованих інженерних рішень для ефективної реалізації вказаного технологічного процесу в практиці.

Ключові слова: АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОД, КРИШКА КОТЛА, НАПРУЖЕННЯ СКОЛЮВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи	7
1.2 Технічні умови до конструкції виробу.....	12
1.3 Аналіз технологічного процесу	14
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	16
2.2. Вплив температури і параметрів навантаження на напруження сколювання ...	20
2.3 Вплив попереднього пластичного деформування і наводнення на напруження сколювання	21
2.4. Взаємозв'язок напруження сколювання і параметрів деформованої мікроструктури	25
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	28
3.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.....	28
3.2 Опис запропонованого технологічного процесу.....	47
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	55
4.1 Обґрунтування типу складально-зварювальних пристосувань.....	55
4.2 Загальна характеристика механічного устаткування	58
4.3 Розрахунок потужності приводу механізму обертання	60
4.4 Розрахунок механізму обертання планшайби.....	62
4.5 Розрахунок механізму нахилу стола	66
4.6 Розрахунок потужності приводу маніпулятора	70
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	73
5.1 Розрахунок освітлення складально-зварювальної ділянки	73
5.2 Розрахунок захисного заземлення механічного цеху	77
5.3 Стійкість роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях	78
ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82
ДОДАТКИ.....	84

ВСТУП

Зварювання являє собою інноваційний метод створення міцних, нерозривних з'єднань компонентів, що є ключовим для формування передових конструктивних рішень з відмінними експлуатаційними властивостями. Висока якість таких з'єднань сприяє їхньому масовому використанню у виробничих виробках різноманітного призначення. Ці методики допомагають економити ресурси та час при складанні конструкцій. Вони відкривають ширші перспективи для механізації та автоматизації у виробничому процесі, сприяють зростанню ефективності трудових зусиль, зменшують потребу в трудових ресурсах, збільшують обсяги випущеної продукції без необхідності розширення виробничих площ та знижують потребу у значних капіталовкладеннях.

Розробка передових інноваційних рішень часто вимагає створення і застосування новітніх матеріалів та обладнання, впровадження систем зварювання та монтажу для різних видів конструктивних елементів, втілення у життя автоматизованих та комплексних виробничих ліній для фабрикації металевих конструкцій, а також освоєння передових технік зварювання цих елементів.

Техніки зварювання відіграють ключову роль у сфері промисловості. Щоб зменшити вагу конструкцій та підвищити їхню вантажопідйомність, застосовуються легкі сплави на базі алюмінію і магнію, а також сталі з низьким та високим рівнем легування. У процесі зварювання цих матеріалів використовують методи, такі як дугове зварювання в середовищі активних та інертних газів, ручне дугове зварювання, автоматизоване зварювання під флюсом та інші.

Опалювальні котли призначені для забезпечення теплом і гарячою водою житлових будинків, адміністративних чи виробничих споруд, у тому числі цехів на заводах та допоміжних приміщень.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Опис конструкції виробу та умов його роботи

Газові котли розроблені для забезпечення опалення та постачання гарячої води в житлові, громадські та промислові споруди, працюючи при максимальному тиску води у системі не більше 0,7 МПа та температурі нагріву води до 115 °С.

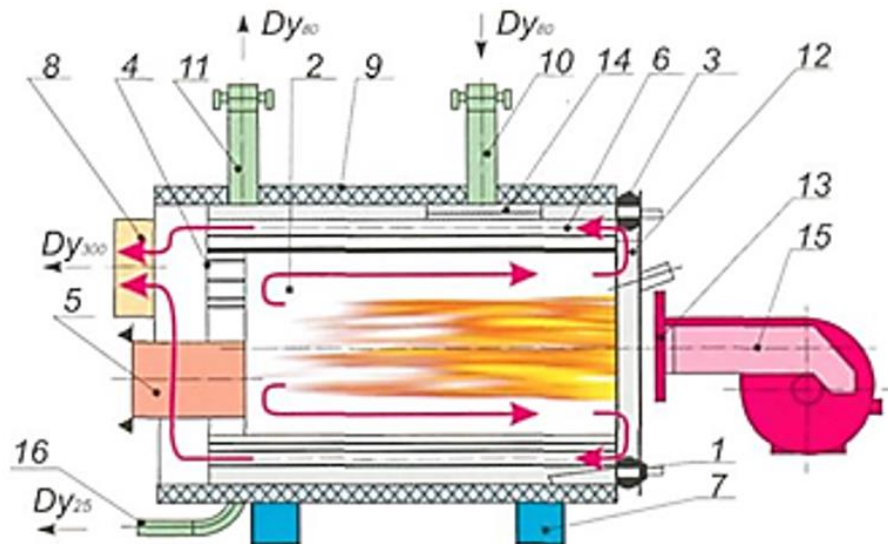
Модель котла КСВа-3,15 (рис.1.1) сконструйована з циліндричної секції (ободу), до якої приєднано два фланцевих зливних патрубки, шість вушок, конічні частини (внутрішню та зовнішню кришки), два кільця та патрубков для пальника. Конструкція даного котла приведена на рис. 1.2. Корпус котла зібраний з деталей, виготовлених зі сталі марки 15Х2МФА .



Рис. 1.1 – Котел КСВа-3,15 [1]

Фронтальна кришка котла для охолодження води сконструйована з двох стандартних еліптичних днищ. У її центрі встановлений фланцевий патрубок для підключення горілки. Над цим патрубком вмонтовано вентиль для виходу газів, який складається з труб для виведення газів, верхньої обмежувальної мембрани, закріпленої коробом для димових газів, та нижньої обмежувальної мембрани, фіксованої за допомогою опорного хреста. Між цими двома мембранами циркулює

повітря під підвищеним тиском. У разі вибуху газу в котлі може статися розрив нижньої мембрани. Її заміна вимагає демонтажу короба для димових газів і верхньої мембрани, заміни нижньої мембрани, її закріплення за допомогою опорного хреста, встановлення та фіксації верхньої мембрани коробом для димових газів. У нижній частині кришки розташований вентиль для виведення конденсату з пального простору котла.

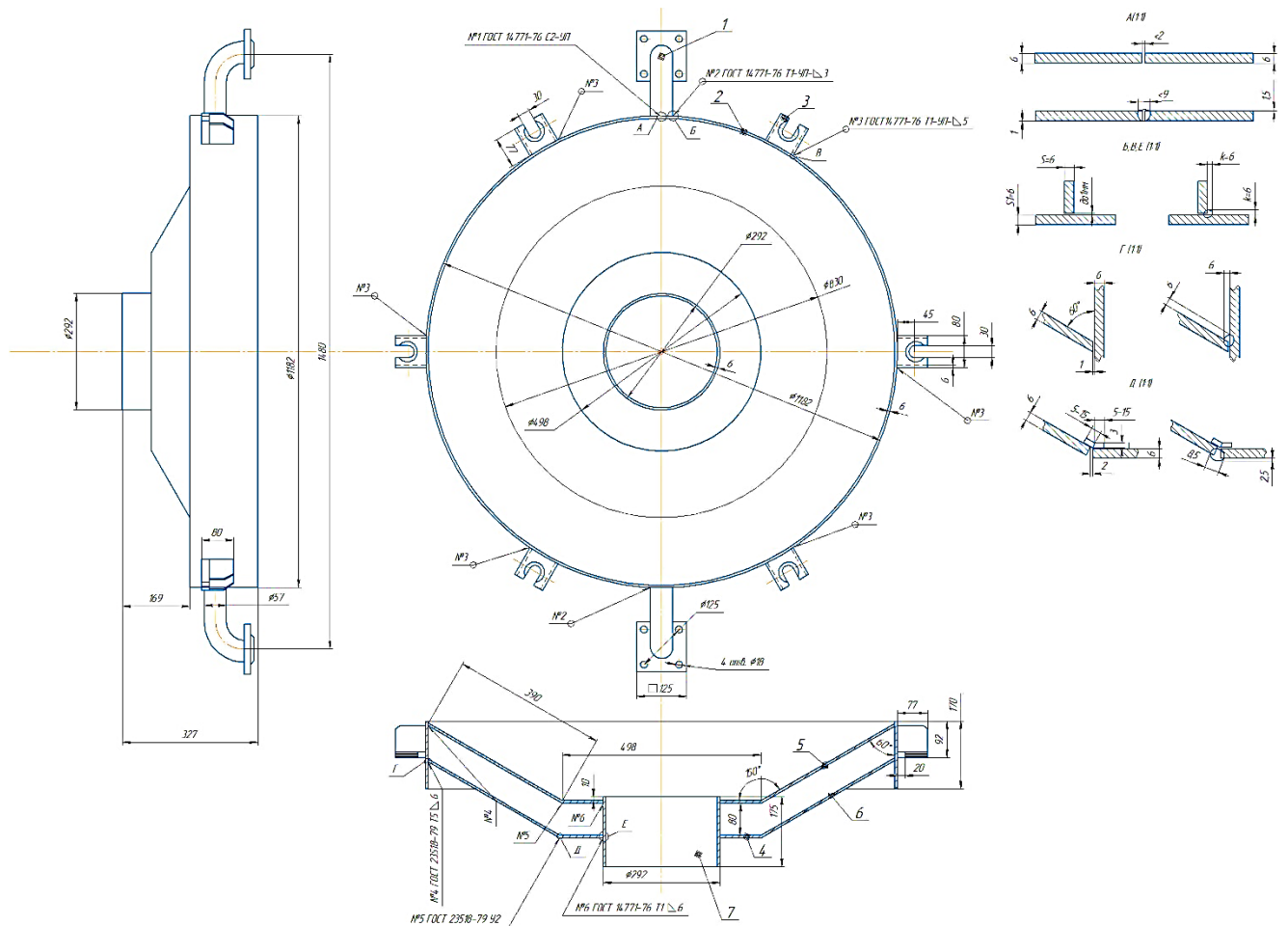


1 - Корпус котла; 2 - топкова камера; 3 – передня трубна дошка; 4 – задня трубна дошка; 5 – вибуховий клапан; 6 – конвективний газохід котла; 7 - основа; 8 – задня кришка; 9 - зовнішня обичайка; 10 - патрубок зворотної води; 11 - патрубок прямої води; 12 – передня кришка; 13 - кріпильний фланець пальника; 14 - пластина, що розсіює; 15 - пальник; 16 - злив із котла

Рис. 1.2 – Конструкція котла КСВа-3,15

Охолоджувальна фронтальна кришка (рис. 1.3) з'єднується з корпусом котла через обертові гідравлічні шарніри, що дозволяють обертати кришку навколо осі та зміщувати її горизонтально для забезпечення її герметичності та виведення з замкнення при відкритті. Відчинення кришки відбувається без необхідності зливати воду задалегідь. Герметизація стику досягається за допомогою ущільнювальних кілець, інтегрованих у механізм обертових гідравлічних шарнірів. Випукла частина зовнішнього борту, а також обід створюють кільцевий простір, заповнений спеціальною уплотнювальною масою, яка формує кільцеву ущільнювальну камеру. Ця камера виконує функцію «лезового ущільнення», де лезом служить край зовнішнього борту фронтальної охолоджувальної кришки. Для

відкриття кришки потрібно послідовно і рівномірно послабити шість затискних болтів на кришці, щоб вивести її з замкнення [2].



- 1- патрубок; 2 – обід; 3 – проушина; 4 – кільце; 5 – кришка внутрішня;
6 – кришка зовнішня; 7 – патрубок пальниковий

Рис. 1.3. – Кришка котла

Модульна конструкція короба для відведення димових газів включає виступаючу частину корпусу котла. Цей короб обладнаний знімною задньою панеллю з димоходом для підключення котла до головної системи котельні. У донній частині короба розташовано патрубок з отвором для чищення від шламу всередині корпусу котла.

На дні короба вмонтовано люк для збирання сажі та випуску конденсату з задньої частини котла. Суворо заборонено повністю затягувати гайку під час відкриття кришки та зняття ущільнювальних кілець.

Кришка котла виготовляється із теплостійкої сталі 15X2МФА. Характеристики даної сталі приведена в таблиці 1.1-1.2.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сталей [3]

C	Si	Mn	S	P	Co	Cr	Ni	Mo	As	Cu	V
0,13– 0,18	0,17– 0,37	0,30– 0,60	до 0,020	до 0,020	до 0,025	2,50– 3,00	до 0,40	0,60– 0,80	до 0,04	до 0,10	0,25– 0,35

Таблиця 1.2 – Фізико-механічні характеристики сталі [3]

Марка сталі	T, °C	R _{p0.2} , МПа	R _m , МПа	E, ГПа	α, мкК ⁻¹
15X2МФА-А	20	392.0	441.0	210	11.5

Можливість металів до зварювання (див. табл. 1.3) оцінюється за допомогою обчислювальних методів, що базуються на інформації про їх хімічний склад. Оцінка схильності зварного шва до утворення тріщин при низьких температурах проводиться на основі визначення еквівалентного вмісту вуглецю в зварюваному металі [4].

Таблиця 1.3 – Зварюваність сталей

Група сталей	Зварюваність	Еквівалент Се, %	Технологічні заходи			
			підігрів		термооброблення	
			перед зварюванням	під час зварювання	перед зварюванням	після зварювання
1	Добра	< 0,38	-	-	-	бажано
2	Задовільна	0,38 - 0,45	необхідний	-	бажано	необхідне
3	Обмежена	0,46 - 0,6	необхідний	бажано	бажано	необхідне
4	Погана	> 0,6	необхідний	необхідний	необхідне	необхідне

Визначення еквіваленту вуглецю Секв, %, відбувається за допомогою емпіричних формул, одна з яких представлена наступним чином [4]:

$$C_e = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B + \frac{S}{600} + \frac{H}{60}; \quad (1.1)$$

$$C_e = 0,13 + \frac{0,37}{30} + \frac{0,6 + 0,1 + 2,5}{20} + \frac{0,4}{60} + \frac{0,6}{15} + \frac{0,25}{10} + \frac{0,035}{600} + \frac{2,5}{60} = 0,41$$

Гарячі тріщини виникають, коли деформаційна здатність металу знижується через утворення крихких легкоплавких евтектики, дефектів у кристалічній структурі та напружень [4]. Для оцінки ймовірності виникнення таких тріщин застосовують індекс Вілкінсона (H.C.S.).

$$H.C.S. = 1000 \cdot C \cdot \frac{(S+P+\frac{Si}{25}+\frac{Ni}{100})}{(3 \cdot Mn+Cr+Mo+V)} \quad (1.2)$$

$$H.C.S. = 1000 \cdot 0,13 \cdot \frac{(0,02+0,02+\frac{0,17}{25}+\frac{0,4}{100})}{(3 \cdot 0,3+2,5+0,6+0,25)} = 1,55.$$

Для сталей із межею міцності $\sigma_B < 700$ МПа умовою появи гарячих тріщин є $H.C.S. > 4$. В нашому випадку поява гарячих тріщин малоімовірна.

Визначимо ймовірну опірність даної сталі тріщинам при термічній обробці:

$$\Delta G = Cr + 3,3 \cdot Mo + 8,1 \cdot V + 10C - 2, \quad (1.3)$$

$$\Delta G = 2,5 + 3,3 \cdot 0,6 + 8,1 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,13 - 2 = 5,8$$

При $\Delta G < 0,5$ – утворення тріщин при повторній термообробці не виникає, а при $\Delta G > 2$ означає, що при високому відпуску можлива поява тріщин.

На основі проведених обчислень, можна стверджувати, що сталь має задовільну зварюваність та має низьку схильність до появи гарячих тріщин. Тому при зварюванні даної сталі необхідно проводити попереднє підігрівання, однак

враховуючи те, що підігрівання сталей перед зварюванням проводять в тому випадку коли товщина з'єднаних кромки становить більше 20 мм.

1.2 Технічні умови до конструкції виробу.

Матеріали та заготовки, які поступають на виготовлення повинні містити технічні специфікації, що включають критерії щодо їхніх зовнішніх розмірів, дотримання стандартів плоскості та вигину, а також якість обробки кромки.

Для зварювання котла КСВа-3,15 необхідно враховувати наступні технічні вимоги.

Вимоги до матеріалу:

- Використовувати вуглецеву або низьколеговану сталь, відповідну для високотемпературного і високотисківного застосування;
- Зварювальні матеріали (електроди, присадні дроти тощо) повинні бути сумісні з основним металом.

Вимоги до складання:

- Кромки деталей для зварювання та прилеглі до них поверхні мають бути чистими й без корозії. В стандартному та масовому виробництві монтаж перед зварюванням повинен проводитись на монтажних плитах, стендах або стелажах, забезпечуючи правильне розміщення компонентів. Розміри січення прихваток мають бути 0,7 від розміру шва, але не більше 6 мм;
- Прихватки слід виконувати з таких же матеріалів, як і основний зварний шов;
- Після завершення зварювання шви прихваток та місця зварювання мають бути очищені від шлаку та бризок розплавленого металу;
- Зібрана конструкція підлягає оцінці технічного контролю;
- Деталі, що не пройшли перевірку технічним наглядом, не дозволяється використовувати для зварювання;
- Всі зварники, що працюють над проектом, повинні мати відповідну кваліфікацію та сертифікацію згідно з місцевими та міжнародними стандартами.

Вимоги до зварювання:

- Використовувати найбільш підходящий метод зварювання, наприклад, дугове зварювання під флюсом (SAW) або газове та дугове зварювання (TIG/MIG);
- Техніка зварювання, обраний метод, місце і час перевірки якості по-винні бути детально описані у технологічних картах. Дозволяється комбінування автоматичного і ручного зварювання для одного і того ж шва. Якщо частка ручного зварювання не перевищує 15%, такий шов вважається виконаним за допомогою автоматичного зварювання;
- Зварені шви мають відповідати таким критеріям: поверхня має бути рівною та матовою (без надлишку металу, прогарів, стиснень та розривів) і забезпечувати плавний перехід до основного металу; нанесений метал має бути однорідним уздовж усього шва, без тріщин та поверхневих порожнин; ушкодження кромки допускаються до глибини не більше 0,5 мм при товщині зварюваного металу 10 мм і не більше 1 мм при товщині більше 10 мм; усі вироблені кратери мають бути залиті;
- Зварний шов має бути без внутрішніх тріщин, дозволяються такі внутрішні вади: непроплавлення в перетині шва, зробленого з обох сторін або односторонньо на підкладці, на глибину до 5% товщини металу, але не більше 2 мм на 1 м шва; непроплавлення в корені шва, зробленого односторонньо без підкладки, на глибину до 15% товщини металу для товщини до 20 мм і не більше 3 мм для товщини понад 20 мм;
- Неприпустимі недоліки зварного шва мають бути видалені шляхом різання, повітряно-дугового стругання або іншими методами, з подальшим очищенням до чистого металу та повторним зварюванням. Повторне усунення дефектів на одній і тій же ділянці дозволяється лише двічі. Якщо дефекти виявлені знову, деталі мають бути розібрані та знову підготовлені до монтажу та зварювання;
- Форма та розміри зварних швів повинні бути у відповідності зі стандартами для з'єднань зварюванням або вказані на кресленнях. При створенні стикових з'єднань дозволяється не коригувати зварені шви, якщо розмірні відхилення

валика (ширина і висота) не перевищують 30% від норм, передбачених стандартом для даного типу зварювання.

Вимоги до якості. Моніторинг якості повинен відбуватися регулярно протягом усього процесу виробництва.

Процедура контролю якості описана у технологічній карті процесу. Спочатку готову конструкцію перевіряє майстер виробництва, після чого вона проходить оцінку відділом технічного контролю якості (ВТК). Оцінка якості зварних з'єднань включає візуальний огляд та застосування вимірювальних інструментів. Візуальному огляду підлягають усі 100% швів. Цей огляд виявляє відхилення швів від заданих форм та розмірів, наявність зовнішніх тріщин, недостатньої глибини провару, прогарів, пор, переливів.

Несправні частини зварних швів усувають за допомогою механічних методів, газового різання або методом повітряно-дугового скалкування. Після цих виправлень шви знову проходять перевірку якості.

Геометричні параметри та форма поверхонь мають бути виміряні з використанням інструментів, які забезпечують точність, що не перевищує 30% від допустимої помилки на виробництво.

Загальні розміри виробу визначаються шляхом додавання розмірів усіх компонентів та деталей, що є частиною виробу.

1.3 Аналіз технологічного процесу

Виробничий процес створення кришки включає такі етапи:

- Транспортування металевих листів до цеху, їх розкрій на задані розміри і чищення до досягнення металевого блиску;
- Вигинання листів у форму труби та конуса і зварювання швів;
- Розпилювання труби для створення обода кришки;
- Вирізка двох отворів у ободі для пальникових патрубків;
- Зварювання патрубків та петель до обода;
- Зварювання внутрішньої частини кришки (конуса) до обода;
- З'єднання кільця з внутрішньою кришкою;
- Зварювання пальникового патрубка до кільця;

- Зварювання зовнішньої частини кришки (конуса) до обода;
- Зварювання кільця до зовнішньої кришки;
- З'єднання кільця з пальниковим патрубком.

Для створення корпусу передньої кришки, листову сталь розмірами 6x900x6000 та 16x1100x7000 доставляється на місце монтажу листів у секцію складання та зварювання. Листи переміщуються за допомогою крана з вантажопідйомністю 5 тон.

Далі відбувається розмічання листів та їх подальший механічний розкрій на розміри 6x510x3749 та 6x390x3711(1564). Потім лист 6x510x3749 формується у трубу, а лист 6x390x3711(1564) - у конус з основами діаметрами 1194 мм та 498 мм відповідно. Після цього проводиться закріплення (довжина точок закріплення 50-60 мм, кроком 100 мм) та зварювання повздовжніх швів за допомогою напіваавтоматичного зварювання в захисних газах за допомогою напіваавтомата ПДГ-315. Після цього трубу діаметром 1194 мм ріжуть методом кисневого різання для формування обода діаметром 1194 мм висотою 170 мм, у якому роблять два отвори по осі для зливних патрубків.

Наступний етап полягає у зварюванні петель та пальникових патрубків до зовнішньої сторони ободу.

По завершенні цих дій, заготовки розташовують на зварювальному верстаті, де відбувається фіксація і зварювання кільцевих швів за допомогою зварювального напіваавтомата ПДГ-315 в оточенні захисних газів. Спершу зварюється внутрішній ковпак до ободу, до нього кріпиться кільце, а до кільця приєднується пальниковий патрубок. Після цього зварюється зовнішній ковпак до ободу, встановлюється кільце навколо пальникового патрубка і здійснюється спочатку зварювання кільця з зовнішнім ковпаком, а потім з'єднання кільця з пальниковим патрубком.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

2.1 Критерії руйнування

Для розрахунку міцності тіла з тріщиною необхідно визначити їх граничний стан. Тобто за певними залежностями, що включають відомі (розраховані) параметри напружено-деформованого стану та ті, що визначаються з експерименту. Ці вирази і є так званими критеріями руйнування, що описують стан тіла у безпосередній близькості до вершини тріщини в локальній зоні.

Критерії руйнування поділяються на три основні типи: силові (критичний коефіцієнт інтенсивності напружень K_{Ic} (в'язкість руйнування)), деформаційні (критичне розкриття тріщини δ_c , критичний кут розкриття тріщини γ_c та критичну деформацію ϵ_c) і енергетичні (критичний J-інтеграл J_c та критична інтенсивність вивільнення енергії пружної деформації G_{Ic}).

Серед силових критеріїв слід відзначити ті, що запропоновані Дж. Малкіном, Nahn G.T., Hoagland R.G., Rosenfield A.R. та Панасюком В.В.

На основі аналізу напруженого стану при згині плоского зразка з надрізом радіуса ρ у вістрі для ідеально пружно-пластичного матеріалу та припущення, що руйнування здійснюється, коли на продовженні надрізу максимальне нормальне напруження досягне напруження сколювання, отримано вираз для умовної в'язкості руйнування [5]:

$$K_{Ic}(\rho) = 2,89\sigma_T \left[\exp\left(\frac{\sigma_{CK}}{\sigma_T} - 1\right)^{1/2} \right] \sqrt{\rho}. \quad (2.1)$$

В результаті обробки експериментальних даних та враховуючи температурні та швидкісні залежності K_{Ic} та σ_T запропоновано емпіричну залежність [6]:

$$K_{Ic}\sigma_T^2 = \left(\frac{\sigma_{CK}}{\alpha}\right)^3. \quad (2.2)$$

На основі структурно-механічного аналізу умов крихкого руйнування була запропонована фізико-механічна модель руйнування металів, які мають ґратку об'ємно-центрованого куба (ОЦК). Відповідно до вказаної моделі записано критерій руйнування:

$$\begin{aligned} \sigma_I + m_{Te}(\sigma_i - \sigma_0) &\geq \sigma_d \\ \sigma_I &\geq S_c(\chi), \end{aligned} \quad (2.3)$$

де σ_I – нормальне головне напруження; σ_i – інтенсивність напружень; σ_0 – напруження тертя, яке є сумою напружень Пасрла-Наббаро і опору ковзанню, обумовленого взаємодією дислокацій з домішковими атомами, точковими дефектами і вихідними дислокаціями; σ_d – залежить від конкретного механізму виникнення мікротріщин і визначає міцність матриці, включення чи границі з'єднання матриця – включення; $S_c(\chi)$ – критичне напруження крихкого руйнування, яке залежить від накопиченої деформації.

Перше рівняння є умовою зародження, а друге зрушення і просування тріщини. Вказаний критерій був застосований авторами для прогнозування залежностей в'язкості руйнування від температури і попередньої пластичної деформації. Необхідною умовою для застосування цього критерію є реалізація руйнування сколюванням.

В роботі Походні І.К. запропоновано використовувати в якості критерію руйнування мінімальне (на границі текучості) напруження крихкого руйнування при одновісному розтязі R_{MC} .

На основі залежностей Бриджмена та Копельмана отримана наступна залежність:

$$R_{MC} = \sigma_{Ic} = S_k \left\{ \frac{1 + \ln(1 + \eta/2)}{(1 + \eta/2) \ln(1 + \eta/2)} \right\}, \quad (2.4)$$

$$\text{де } \eta = 0,92(e - 0,1); e = \ln \frac{1}{1 - \psi}, \quad (2.5)$$

S_k – середнє напруження в шийці в момент руйнування зразка; ψ - відносне звуження в шийці зразка.

Критерій, який базується на розкритті тріщини запропонований Леоновим – Панасюком. Тріщина розглядається як розріз, протилежні береги якого в зоні передруйнування притягуються напруженнями σ_0 , що є постійними для певного матеріалу.

Поширення тріщини настає у тому випадку, коли її розкриття у вершині досягає критичного значення δ_k

$$2V_n(F^*, \sigma_0, l_0, l_{TP}) = \delta_k, \quad (2.6)$$

де $2V_n(F^*, \sigma_0, l_0, l_{TP})$ - нормальна складова вектора зміщення точок берегів тріщини у її вершині;

l_0 – характерний розмір ділянки початкової тріщини;

$l_{TP} - l_0$ – характерний розмір ділянки передруйнування.

δ_k -модель Леонова - Панасюка описує і локальне руйнування квазікрихких тіл з тріщинами.

Граничний стан тіл при пружно-пластичному руйнуванню описують також за допомогою J-інтегралу.

Загальний вигляд J-інтегралу наступний

$$J = \int (W_{nx} - \sigma_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x} n_j) ds, \quad (2.7)$$

де $W = \int \sigma_{ij} \varepsilon_{ij}$ - питома енергія деформації;

U_{ij} , σ_{ij} , ε_{ij} – компоненти зміщень і тензорів напружень і деформацій;

n_j – компонента нормалі до елемента контуру ds .

В необмеженому тілі J-інтеграл при плоскій деформації збігається з вивільненою енергією деформації G_1 в лінійно-пружному тілі:

$$J = G_1 = \frac{(1 - \nu^2) K_I^2}{E}. \quad (2.8)$$

В умовах плоскої деформації критерій має наступний вигляд:

$$J \geq J_{Ic}. \quad (2.9)$$

Узагальнюючи приведені критерії руйнування можна зауважити, що на даний час розроблено багато різних залежностей в основі яких лежать деформаційні, силові і енергетичні характеристики як матеріалу так і процесів, що відбуваються при руйнуванні, які застосовують в залежності від відношення пружної і пластичної деформації.

Попередня пластична деформація (ППД) призводить до суттєвих змін характеристик механічних властивостей конструкційних сталей, в першу чергу окрихчує матеріал, що проявляється в зменшенні видовження при розриві, підвищенні твердості, зниженні температури в'язко-крихкого переходу. Разом з тим ППД неоднозначно впливає на напруження сколювання $\sigma_{ск}$, збільшуючи або зменшуючи його в залежності від виду навантаження (квазістатичне, циклічне) і способу деформування (розтяг, стиск). У випадку експлуатації сталей у воденьмістких середовищах важливо враховувати сумісний вплив наводнювання та ППД на їх механічну поведінку. При цьому спостерігається складний вплив пластичного деформування матеріалів на їх механічні властивості і катастрофічне зниження статичної та циклічної тріщиностійкості за присутності водню. Дана проблема особливо актуальна для теплостійких сталей, що експлуатуються за складних умов механічного навантаження та дії агресивного робочого середовища, і для яких висока тримка здатність крихкому руйнуванню є основним показником роботоздатності. Важливим аспектом цієї проблеми є дослідження впливу комбінованого деформування (одновісний розтяг з накладанням низькоамплітудної циклічної складової) наводненого матеріалу на напруження сколювання, яке розглядають як характеристику опору крихкому руйнуванню.

2.2. Вплив температури і параметрів навантаження на напруження сколювання

Закономірності впливу параметрів і температури навантаження на руйнування сталі 15Х2МФА вивчали на циліндричних зразках діаметром робочої ділянки 5 мм і 8 мм.

Після попереднього деформування розтягом зразки охолоджували і доводили до руйнування в рідкому азоті.

Залежність напруження сколювання від рівня попередньої пластичної деформації наведено на рис. 2.1.

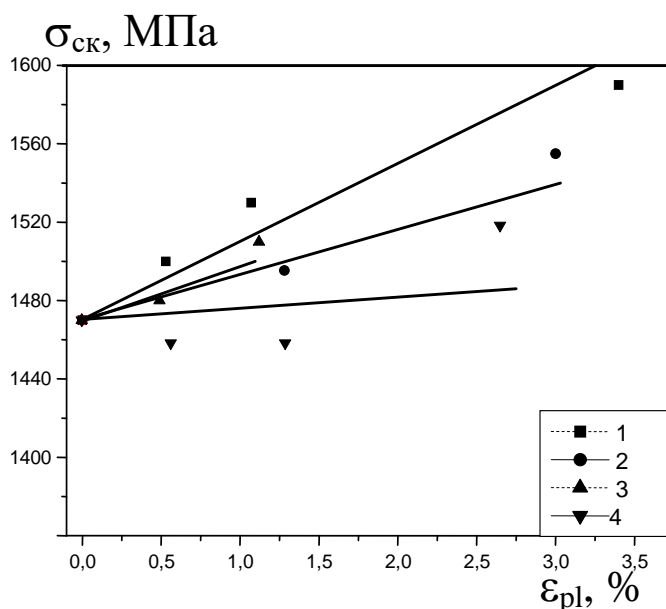


Рис. 2.1. Залежність напруження сколювання $\sigma_{ск}$ сталі 15Х2МФА від попередньої пластичної деформації розтягом (1, 3); комбінованим розтягом (2, 4) при 623 К, $\Delta\sigma = 110$ МПа (1, 2) і 423 К, $\Delta\sigma = 90$ МПа (3, 4).

При деформуванні комбінованим розтягом до $\varepsilon_{рl} = 0,5$ % (423К) напруження сколювання $\sigma_{ск}$ зменшується у порівнянні з недеформованим матеріалом. При збільшенні попередньої пластичної деформації за комбінованого розтягу до 3,0 % напруження сколювання зростає для обох температур.

Залежність напруження сколювання сталі 15Х2МФА від розмаху циклічної складової напруження $\Delta\sigma$ під час попереднього комбінованого розтягу наведена на рис.2.2.

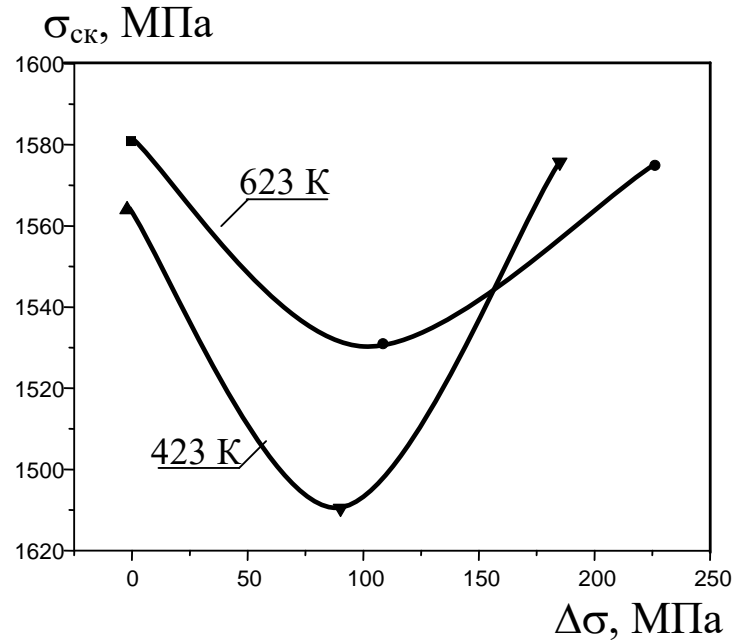


Рис. 2.2. Залежність напруження сколювання від розмаху напруження за попереднього деформування розтягом при 423К і 623К до $\epsilon_{pl} = 1,0 \%$.

Збільшення розмаху напруження до 90 МПа і 110 МПа відповідно за температури 423К і 623К (рис. 2.2) зменшує до 5 % напруження сколювання порівняно з недеформованим матеріалом. Подальше зростання $\Delta\sigma$ до 180 МПа і 220 МПа відповідно при 423К і 623К збільшує $\sigma_{ск}$, яке проте залишається меншим у порівнянні з $\sigma_{ск}$ деформованого матеріалу розтягом.

2.3 Вплив попереднього деформування розтягом і наводнення на напруження сколювання

Дослідження впливу електролітичного наводнювання на напруження сколювання проводили на циліндричних зразках діаметром 5 мм і довжиною робочої ділянки 20 мм із сталі 15Х2МФА.

Основні закономірності впливу наводнювання і розмаху напружень циклічної складової ППД на напруження сколювання досліджуваної сталі проілюстровано на рис. 2.3.

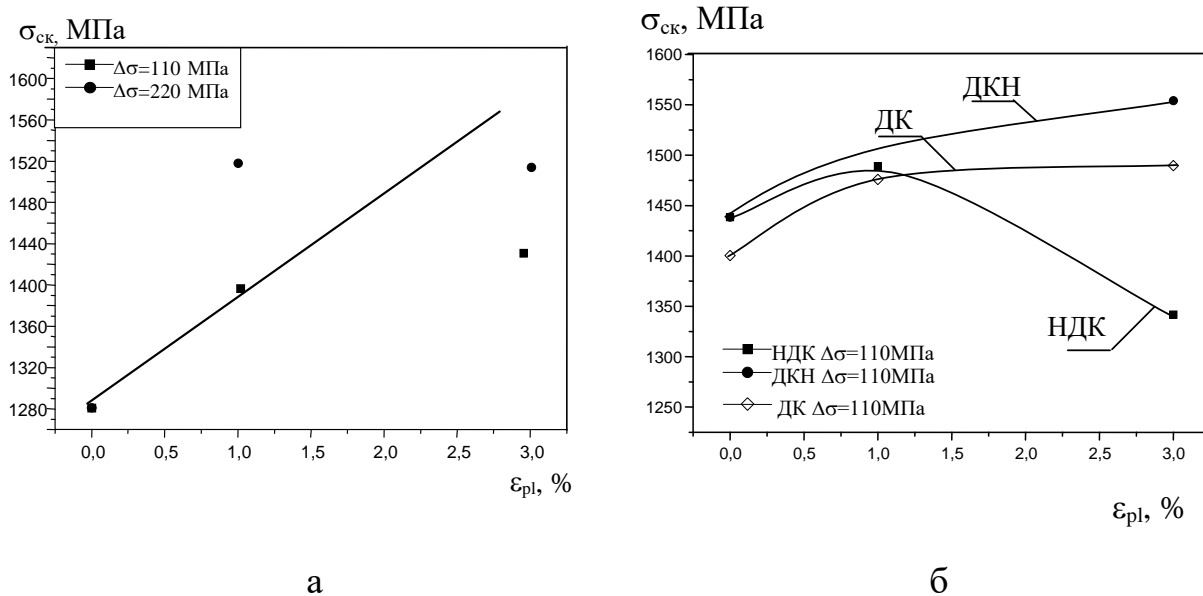


Рис. 2.3. Залежність напруження сколювання ненаводненої (а), і наводненої (б) сталі 15Х2МФА(II) від ППД розтягом і комбінованим розтягом при 623 К.

З рис. 2.3 а слідує, що із збільшенням розмаху напружень за комбінованого розтягу і $\epsilon_{рl} = \text{const}$ напруження сколювання $\sigma_{ск}$ дещо зростає у порівнянні з первісним матеріалом, причому більш істотно при $\epsilon_{рl} = 1,0$ %. Зазначимо, що напруження сколювання при $\epsilon_{рl} = 3,0$ % за статичного розтягу більше порівняно з комбінованим розтягом.

При наводнюванні зразків, коли метал спочатку наводнюється, а потім пластично деформується до $\epsilon_{рl} = 3,0$ %, напруження сколювання нижче ніж після попереднього розтягу і комбінованого розтягу порівняно з недеформованим матеріалом. При цьому $\sigma_{ск}$ більше спостерігається після ППД розтягом.

Наводнювання за схемою, коли метал спочатку пластично деформується, а потім наводнюється, підвищує напруження сколювання вже при деформації $\epsilon_{рl} = 3,0$ %, причому незалежно від виду ППД, тобто як за статичного розтягу, так і за розтягу з накладанням низькоамплітудної циклічної складової. Проте на відміну

від наводнювання за першою схемою напруження сколювання більше після комбінованого розтягу у порівнянні із статичним розтягом. Це означає, що послідовність наводнювання значно впливає на залежність $\sigma_{ск}$ від ϵ_{pl} і відношення $\sigma_{ск}$ після ППД розтягом і комбінованим розтягом.

Подібні результати щодо впливу електролітичного водню на напруження сколювання сталей Ст.3, 09Г2С, 08Х4Н2М отримані Lynch S. P. Присутність водню в сталі істотно зменшує напруження сколювання з 1300 МПа до 760 МПа для сталі Ст.3, з 1800 МПа до 920 МПа для сталі 08Х4Н2М і змінює рельєф поверхні руйнування зразків; приводячи до появи ділянок крихкого руйнування з численними мікротріщинами.

Зміна впливу ППД на напруження сколювання залежно від послідовності наводнювання, тобто реалізації тієї чи іншої схеми за пластичної деформації $\epsilon_{pl} = 3,0 \%$, можна пояснити з огляду особливостей впливу водню на механіку деформування та руйнування конструкційних сталей, в тому числі після ППД. Загально прийнято, що воднева крихкість металів може спричинятися як дифузійно рухомим атомарним воднем, який у процесі деформування рухається до локальної області з об'ємонапруженим станом (зону передруйнування), де його концентрація може на порядки перевищувати середню по металу, так і воднем, молізованим у дефектах, через створення у них високого тиску. Оскільки напруження сколювання визначали за температури рідкого азоту, то слід відкинути можливість дифузії водню у процесі деформування розтягом. Тому в першу чергу водень впливає на процеси деформування, можливого створення чи релаксації залишкових напружень та розвитку пошкодженості на стадіях ППД чи наводнювання після ППД.

З рис. 2.3 випливає, що за деформації $\epsilon_{pl} = 1,0 \%$ напруження сколювання наводненого і ненаводненого металу однакові, тобто впливу наводнювання немає, а вищий рівень $\sigma_{ск}$ порівняно з вихідним станом зумовлений лише ефектом ППД. Збільшення попередньої деформації до 3,0 % практично не змінює напруження сколювання за відсутності наводнювання, проте різко його понижуює для наводненого металу. Це означає, що саме ППД попередньо наводненого

металу є найбільш небезпечно з огляду його низького опору крихкому руйнуванню і пояснюється, очевидно, виходячи з класичних уявлень водневої крихкості конструкційних матеріалів, розвитком пошкоджуваності при ППД та підвищеною концентрацією водню в утворених дефектах. Складнішим є пошук пояснення деякого позитивного впливу наводнювання на опір крихкому руйнуванню, якщо воно здійснюється після ППД. В цьому випадку з одного боку можна припустити, що наводнювання може сприяти релаксації залишкових розтягуючих напружень, створених інтенсивним ППД і тим самим підвищувати величину напруження сколювання. Аналогічні результати щодо впливу попереднього пластичного деформування зразків на напруження сколювання отримано в працях Roman I. В працях Покровського В. попередню пластичну деформацію зразків із сталі 15Х2МФА проводили за температури 573 К, а напруження сколювання визначали за температури 77К. У роботі Ясній П.В. попереднє пластичне деформування проводили за температури 623К, а руйнування зразків із сталі 15Х2МФА здійснювали в рідкому азоті. В даних дослідженнях із збільшенням попередньої пластичної деформації напруження сколювання у всіх випадках зростає.

Отже напрошується наступний висновок, що електролітичне наводнювання не впливає на напруження сколювання у випадку, коли метал спочатку деформують, а вже потім наводнюють.

На рис. 2.4 приведено залежність напруження сколювання $\sigma^{ск}$ від розмаху напружень циклічної складової $\Delta\sigma$ попереднього пластичного деформування сталі 15Х2МФА.

Неоднозначний також вплив комбінованого ППД на напруження сколювання в залежності від розмаху напружень циклічної складової $\Delta\sigma$ (рис. 2.4). Так, комбіноване ППД сталі до $\epsilon_{pl} = 3,0 \%$ суттєво зменшує величину $\sigma_{ск}$ при $\Delta\sigma = 110$ МПа. Проте збільшення $\Delta\sigma$ до 220 МПа призводить до росту напруження сколювання, хоч його рівень залишається меншим в порівнянні з $\sigma_{ск}$, після ППД статичним розтягом. Звідси можна стверджувати, що накладання циклічної складової напружень у процесі ППД знижує опір крихкому руйнуванню теплостійкої сталі. Якісно цей вплив не залежить від рівня статичної складової

ППД, проте з її зменшенням (від $\varepsilon_{pl} = 3,0$ % до 1,0 %) загальний ефект від комбінованого навантаження спадає [7].

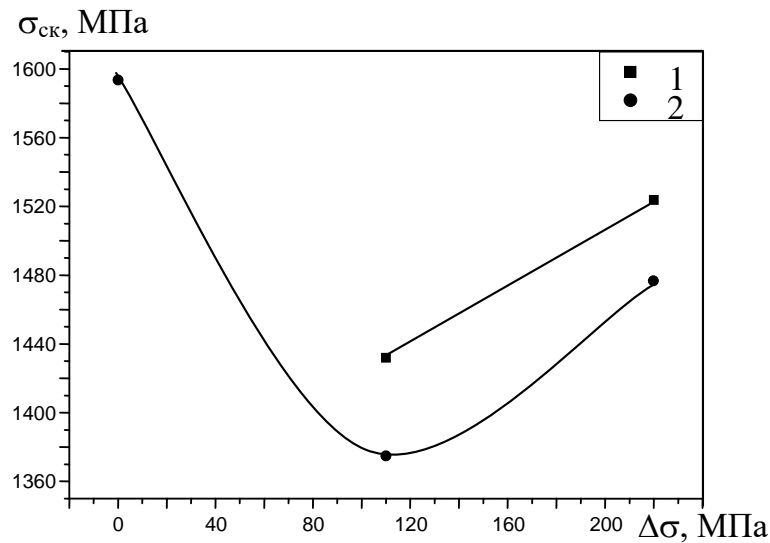


Рис. 2.4. Вплив розмаху напружень циклічної складової ППД на напруження сколювання ($\varepsilon_{pl} = 1,0$ % (1) і 3,0 % (2) ненаводненої сталі 15X2МФА.

2.4. Взаємозв'язок напруження сколювання і параметрів деформованої мікроструктури

Методами електронної мікроскопії досліджено залежність напруження сколювання $\sigma_{ск}$ наводненої і ненаводненої сталі 15X2МФА при температурі 77 К від густини дислокацій в малокутових границях після ППД розтягом і комбінованим розтягом.

На рис. (рис. 2.5) подано залежність напруження сколювання сталі 15X2МФА від густини дислокацій [8].

Із зростанням густини дислокацій в малокутових границях, викликаним пластичним деформуванням, незалежно від умов ППД (виду навантаження, температури, пластичної деформації), збільшується напруження сколювання сталі 15X2МФА. Причому, більш істотно зростає напруження сколювання після деформування за температури 623К. Очевидно, це пов'язано з утворенням при

ППД за вищої температури та участі процесів термічного повороту таких дислокаційних структур, які за однакової густини дислокацій в малокутових границях утворюють внутрішньозернову субструктуру, що відіграє роль додаткових бар'єрів здатних гальмувати мікротріщину.

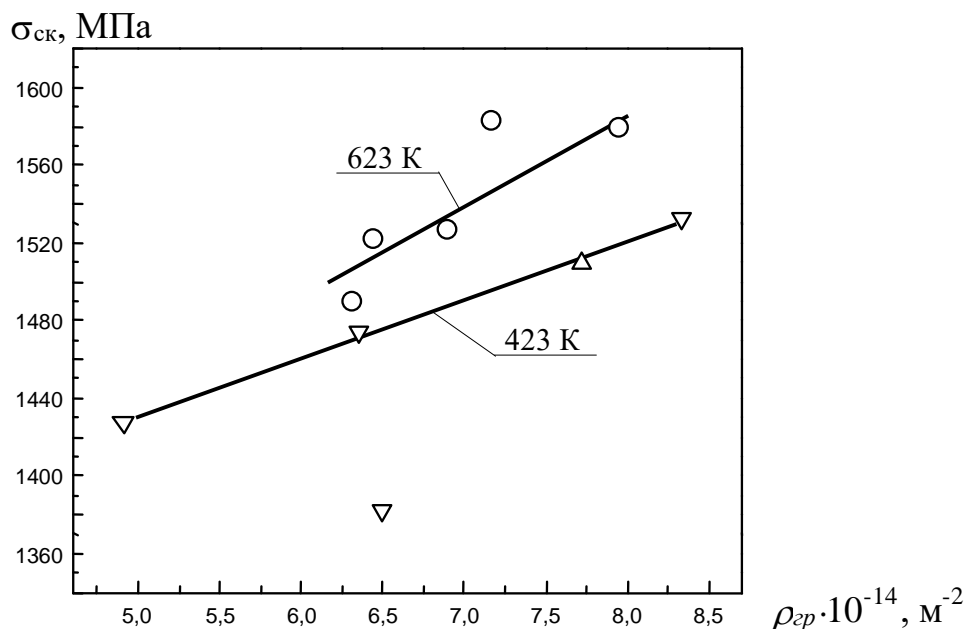


Рис. 2.5. Залежність напруження сколювання ППД сталі 15Х2МФА від густини дислокацій в малокутових границях.

Таким чином, вплив ППД на мікроструктурному рівні полягає у зростанні густини дислокацій в малокутових границях, збільшенні розорієнтації субзерен бейнітної структури, збільшенні фрагментації мартенситних рейок, зменшенні відстані між малокутовими границями (зменшення розміру структурних елементів), а при температурі 623К в результаті термічного повороту в утворенні стійких конфігурацій у вигляді малокутових границь. Вказані чинники викликають зростання напруження необхідного для поширення мікротріщин через границі структурних елементів, що збільшує напруження сколювання сталі 15Х2МФА.

Також виявлено зниження напруження сколювання сталі 15Х2МФА після ППД. В одному випадку це пов'язано із зниженням густини дислокацій в малокутових границях. В другому випадку виявлено значну кількість мікротріщин і пор, що привело до зменшення нетто-перерізу зразка, а наявність значної

кількості мікротріщин полегшила утворення макротріщини з наявних дефектів структури, що обумовило зменшення напруження сколювання.

Отже, найбільш небезпечне стосовно опору сталі крихкому руйнуванню є ППД попередньо наводненого металу. Проте, як зазначалось вище, не виявлено впливу режиму наводнювання на морфологію дислокаційної структури та густину дислокацій, що виникають в металі внаслідок пластичного деформування в присутності водню. Таким чином зменшення напруження сколювання сталі, наводненої до ППД, не обумовлене цими мікроструктурними змінами. Воно викликане, очевидно, розвитком пошкоджуваності сталі внаслідок взаємодії металу з воднем в процесі ППД, з локалізацією і, відповідно, підвищенням концентрації водню в новоутворених дефектах.

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Технічне обґрунтування способу зварювання.

Оскільки при створенні корпусу кришки необхідно зварювати кільцеві шви різної довжини, раціональним є використання автоматичного методу зварювання в оточенні захисних газів для зварювання самого корпусу. Однак, для кріплення патрубків та петель до корпусу, а також для фіксації корпусних з'єднань, доцільніше застосовувати напівавтоматичне зварювання також в середовищі захисних газів, тому що використання автоматичного зварювання у цих випадках не є ефективним.

Зварювання в умовах захисного газу виконується за допомогою постійного струму з інвертованою полярністю, оскільки використання прямої полярності призводить до інтенсивного розпилення, навіть при зварюванні з використанням відносно слабкого струму. Це впливає на зменшення глибини проникнення зварювання. Додатково, зварювання з прямою полярністю сприяє зростанню окислення елементів та підвищеній тенденції до формування пор [9].

Вибір матеріалів для зварювання проводиться на основі хімічного складу металу, який використовується для шва. При механізованому та автоматизованому зварюванні теплостійких сталей рекомендується застосування зварювальних дротів марок Св-08ХМФА та Св-10ХМФТ.

Під час вибору типу присадочного дроту для зварювання, ключовими факторами, які необхідно враховувати, є характеристики основного металу, обраний метод зварювання, а також умови, в яких буде експлуатуватися зварена конструкція. Існує ряд поширених видів присадочного та зварного дроту для роботи з високолегованими сталями, докладний опис яких можна знайти в таблиці 3.1.

При зварюванні в атмосфері чистого CO_2 складно досягти безперервного переносу електродного металу, внаслідок чого процес супроводжується періодичним замиканням дуги. Це має небажані наслідки: краплі розплавленого

металу прилипають до горілки, порушуючи газовий захист, забруднюють поверхню зварюваних деталей, що в подальшому вимагає механічного очищення після завершення зварювання.

Таблиця 3.1 Хімісклад марок дроту [10]

Марка дроту	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Інші елементи
Низьковуглецевий дріт										
Св-08ХМФА	0,06...0,10	0,12...0,30	0,35...0,60	0,90...1,20	0,30	0,50...0,70	-	0,025	0,025	0,15...0,30 V
Св-10ХМФТ	0,07...0,12	0,35	0,40...0,70	1,40...1,80	0,30	0,40...0,60	0,05...0,12	0,030	0,030	0,20...0,35 V

Вуглекислота доставляється у зрідженій формі, оскільки її щільність значно варіюється в залежності від температури. Через це вона постачається ваговим способом, а не об'ємним. З випаровування 1 кг рідкої вуглекислоти при нормальних умовах отримується 860 літрів вуглекислого газу. Балони з вуглекислим газом мають бути виготовлені відповідно до стандарту, пофарбовані в чорний колір із жовтим написом «Вуглекислий газ». Для використання вуглекислоти з ізотермічних резервуарів її газифікують у спеціалізованому обладнанні. Для зварювання використовується вуглекислий газ вищого сорту, склад якого вказано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2: Хімічний склад CO₂.

Найменування	Показник
1. Об'ємна частина CO ₂ , %	≥ 99,8
2. Об'ємна частина CO, %	немає
3. Масова концентрація мінеральних мастил і механічних домішок, мг/кг	≤ 0,1
4. Масова частина водню, %	немає
5. Масова концентрація водяних парів при температурі 20°C і тиску 101,3кПа, г/см ³	≤ 0,037

Матеріали, що використовуються для створення зварних конструкцій, при їх надходженні мають пройти перевірку щодо прийому, упаковки, маркування та наявності відповідної документації, а також мають бути розподілені та відсортовані за типами і марками.

Рекомендується зберігати сталь у закритих складах або під навісами. При зберіганні сталь має бути укладена в стабільні стоси на опорах, при цьому безпосередній контакт сталі з землею є неприпустимим. Для забезпечення стабільності стосів мають бути використані прокладки на різних рівнях штабеля.

Дріт для електродів, електроди та флюси мають зберігатися відокремлено за видами в умовах, які забезпечують їх захист від ушкоджень, забруднення та вологи.

Балони зі стисненими газами, а також їх використання, транспортування та зберігання повинні відповідати правилам Норм виготовлення та безпечного використання суден, які експлуатуються під тиском.

При зварюванні корпусу кришки використовують такі види зварних з'єднань: стикове з'єднання С2, таврове з'єднання Т1, а також кутове з'єднання У2.

Ефективність зварювання, включаючи тривалість процесу, швидкість зварювання, споживання зварювальних матеріалів (дроту, флюсу, захисних газів) та електроенергії, залежить від правильного вибору режимів зварювання. Ці режими визначаються методом зварювання, положенням при зварюванні, товщиною зварюваних елементів і діаметром зварювального дроту [10].

Ключові параметри процесу автоматизованого зварювання, які впливають на розміри та конфігурацію шва, включають:

Діаметр зварювального дроту, $d_{зв}$;

Інтенсивність зварювального струму, I ;

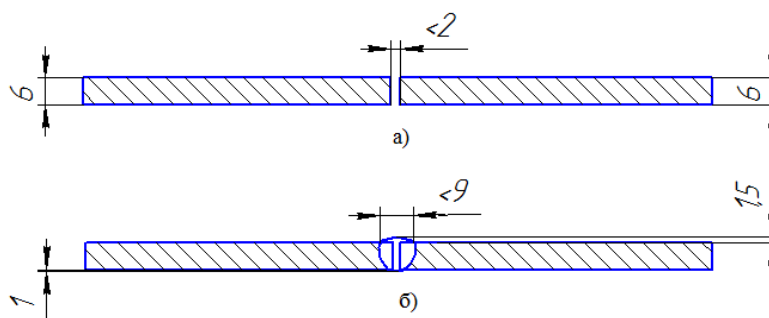
Напруга на зварювальній дузі, $U_{д}$;

Швидкість подачі зварювального дроту, $V_{п.др.}$;

Темп зварювання, $V_{зв}$.

Проведемо розрахунок режиму зварювання згідно літератури [4].

Для з'єднання С2 товщиною металу 6 мм та довжиною 510 мм (рис. 3.1).



а) – розробка кромки; б) – зварне з'єднання.

Рис. 3.1 – Конструктивне з'єднання С2.

Для проведення розрахунків необхідно попередньо підібрати діаметр електрода. Його вибирають в залежності від товщини з'єднуваного металу (табл. 3.3). Виходячи з товщини металу, ми визначаємо $d_e = 1.6$ мм.

Таблиця 3.3 – Кореляція між діаметром електрода та товщиною металу

Товщина листа, мм	1- 2	3-6	6-24 і більше
Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,8-1,0	1,2-1,6	2,0

Обчислення величини електричного струму:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot a}{4}; \quad (3.1)$$

де : а- густина струму , а=110-130 А/мм².

$$I_{зв} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 130}{4} = 261 \text{ А}$$

Таблиця 3.4 – Кореляція між напругою та величиною електричного струму

Сила струму, А	50÷60	90÷100	150 ÷160	220 ÷240	280÷ 300	360÷ 380	430 ÷450
Напруга дуги, В	17-28	19-20	21-22	25-27	28-30	30-32	32-34
Витрата газу, л/хв	8-10	8-10	9-10	15-16	15-16	18-20	18-2

Для визначення напруги дуги користуємося даними з таблиці 3.4, де U_d становить 25 В.

Швидкість подавання зварювального електрода:

$$V_{\text{пд}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\rho} \cdot I_{\text{св}}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \rho} ; \quad (3.2)$$

де α_{ρ} – коефіцієнт розплавлення дроту, г/А · год ;

ρ – густина металу електродного дроту, 7,8 г/см³.

Величина α_{ρ} визначається:

$$\alpha_{\rho} = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{\text{св}}}{d_e} . \quad (3.3)$$

Ввівши початкові значення в рівняння 3.3, ми одержимо наступний результат:

$$\alpha_{\rho} = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{261}{1,6} = 16 \text{ г/А} \cdot \text{год} .$$

Ввівши початкові значення в рівняння 3.2, ми одержимо:

$$V_{\text{пд}} = \frac{4 \cdot 16 \cdot 261}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 196,5 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{\text{зв}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot F_{\text{н}} \cdot \rho} \quad (3.4)$$

де $\alpha_{\text{н}}$ – коефіцієнт наплавлення, $\frac{\text{г}}{\text{А}} \cdot \text{год}$.

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\rho} \cdot (1 - \Psi); \quad (4.5)$$

де Ψ при зварюванні в CO₂ знаходиться в межах 0,1 – 0,15;

F_H - площа поперечного перерізу одного валика, при зварюванні в CO_2 приймається рівним $0,3 - 0,7 \text{ см}^2$.

$$\alpha_H = 16 \cdot (1 - 0,1) = 14,4 \text{ г/А} \cdot \text{год.}$$

Вводячи початкові параметри:

$$V_{зв} = \frac{14,4 \cdot 261}{100 \cdot 0,3 \cdot 7,8} = 16 \text{ м/год}$$

Маса наплавленого металу:

$$G_H = F_H \cdot l \cdot \rho ; \quad (3.6)$$

де l – довжина шва, см;

ρ – густина наплавленого металу.

$$G_H = 0,3 \cdot 51 \cdot 7,8 = 119 \text{ г}$$

Тривалість горіння дуги:

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{зв} \cdot \alpha_H} . \quad (3.7)$$

$$t_0 = \frac{119}{261 \cdot 14,4} = 0,03 \text{ год} = 1,8 \text{ хв}$$

Загальна тривалість процесу зварювання:

$$T = \frac{t_0}{k_{\Pi}} ; \quad (3.8)$$

де k_{Π} – коефіцієнт використання зварювального поста ($k_{\Pi} = 0,6 \div 0,57$).

$$T = \frac{0,03}{0,57} = 0,05 \text{ год} = 3 \text{ хв}$$

Споживання електричної енергії:

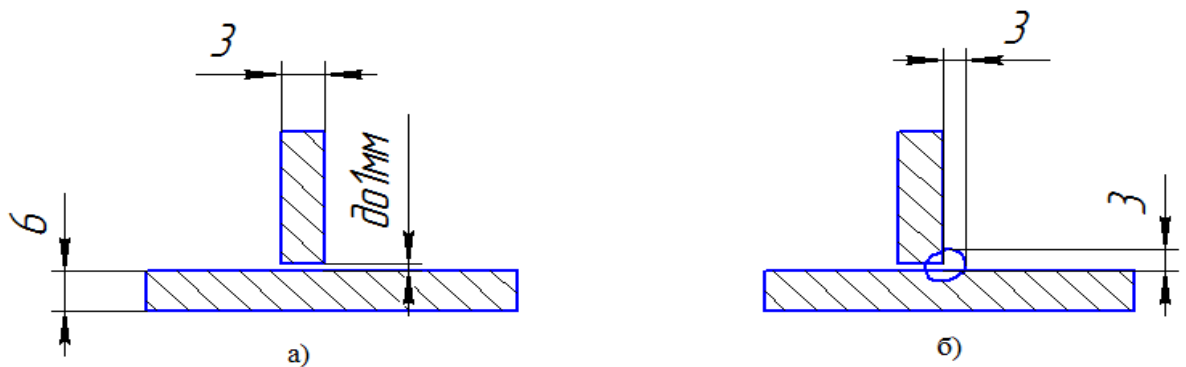
$$A = \frac{U_d \cdot I_{зв}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 \cdot (T - t_0); \quad (3.9)$$

де η – ККД джерела живлення;

W_0 – потужність джерела живлення.

$$A = \frac{25 \cdot 261}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,03 + 3 \cdot (0,05 - 0,03) = 0,34 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Визначення параметрів таврового з'єднання типу N2 (Т1) з довжиною 181 мм (рис. 3.2).



а) – розробка кромки; б) – зварне з'єднання.

Рис. 3.2 - Конструктивна схема з'єднання N2.

Обчислюємо площу перетину зварного шва:

$$F_H = \frac{k^2}{2}; \quad (3.10)$$

де k – катет шва, мм.

$$F_H = 3^2 / 2 = 4,5 \text{ мм}^2.$$

Визначення висоти нанесеного металу:

$$h_H = \sqrt{F_H}, \quad (3.11)$$

$$h_H = \sqrt{4,5} \approx 2,12 \text{ мм.}$$

Обчислення ширини зварного шва:

$$e = \sqrt{2 \times K^2}, \quad (3.12)$$

$$e = \sqrt{2 \times 3^2} \approx 4,24 \text{ мм.}$$

Висота шва:

$$H = e / \psi_{\text{пр}}, \quad (3.13)$$

де $\psi_{\text{пр}}$ – коефіцієнт форми проплавлення; $\psi_{\text{пр}} = (0,8 \div 4)$.

Приймаємо $\psi_{\text{пр}} = 0,8$

$$H = 4,24 / 0,8 = 5,3 \text{ мм.}$$

Обчислюємо глибину проплавлення:

$$h_0 = H - h_H, \quad (3.14)$$

$$h_0 = 5,3 - 2,12 = 3,18 \text{ мм.}$$

Розраховуємо величину струму для зварювання:

$$I_{\text{зв}} = (h_0 / K_{\text{п}}) \times 100, \quad (3.15)$$

де K_{Π} – коефіцієнт пропорційності, що залежить від умов зварювання ,

$$K_{\Pi} = 1,75$$

$$I_{зв} = 3,18/1,75 \times 100 = 181,7 \text{ А.}$$

Встановлюємо величину струму на рівні 182 А.

Обчислюємо діаметр електрода:

$$d_{зв.др} = 1.13 \times \sqrt{\frac{I_{зв}}{j}}, \quad (3.16)$$

де j – густина струму, 120 А/мм² .

$$d_{зв.др} = 1.13 \times \sqrt{\frac{182}{120}} = 1.39 \text{ мм}$$

Встановлюємо діаметр електрода рівним 1,4 мм.

Обчислюємо напругу дуги:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times I_{зв}}{1000 \sqrt{d_{ел}}} \pm 1 \quad (3.17)$$

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \times 182}{1000 \times \sqrt{1,4}} \pm 1 = 27 \pm 1 \text{ В.}$$

Розраховуємо швидкість подавання зварювального дроту.

Приймаємо $\lambda_{н} = 12 \times 10^{-3}$ кг/А×год.

$$V_{п. др} = \frac{4 \cdot 12 \times 10^{-3} \cdot 182}{3,14 \cdot 0,0014^2 \cdot 7800} = 182 \text{ м/год.}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 182}{4,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 62 \text{ м/год.}$$

Визначаємо інші показники режиму зварювання:

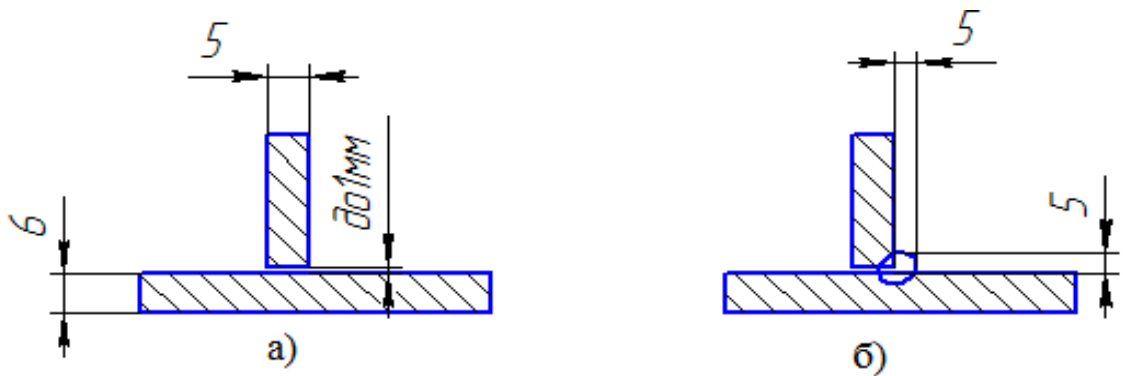
$$G_H = 0,5 \cdot 18,1 \cdot 7,8 = 70,6\text{г}$$

$$t_0 = \frac{70,6}{182 \cdot 12} = 0,03 \text{ год} = 1,8\text{хв}$$

$$T = \frac{0,03}{0,57} = 0,05 \text{ год} = 3\text{хв}$$

$$A = \frac{27 \cdot 182}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,03 + 3 \cdot (0,05 - 0,03) = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначення параметрів таврового з'єднання типу N3 (Т1 з довжиною 320 мм)
(рис. 3.3).



а) – розробка кромки; б) – зварне з'єднання.

Рис. 3.3 - Конструктивна схема з'єднання N2

$$F_H = \frac{5^2}{2} = 12,5$$

$$h_n = \sqrt{12,5} = 3,53\text{мм.}$$

$$e = \sqrt{5^2 + 5^2} = 7,1\text{мм.}$$

$$H = \frac{7,1}{0,8} = 8,87$$

$$h_0 = 8.87 - 3.53 = 5.21 \text{ мм.}$$

де, $k_n = 1,75$;

$$I_{36} = \frac{5.21}{1.75} \cdot 100 = 297.$$

Приймаємо $I_{36} = 300$.

$$d_{36.0p} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{300}{120}} = 1,6.$$

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0.5}} 300 \pm 1 = 35 \text{ В.}$$

$$V_{nd} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} = 229 \text{ м/год.}$$

$$V_{3B} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 46,2 \text{ м/год.}$$

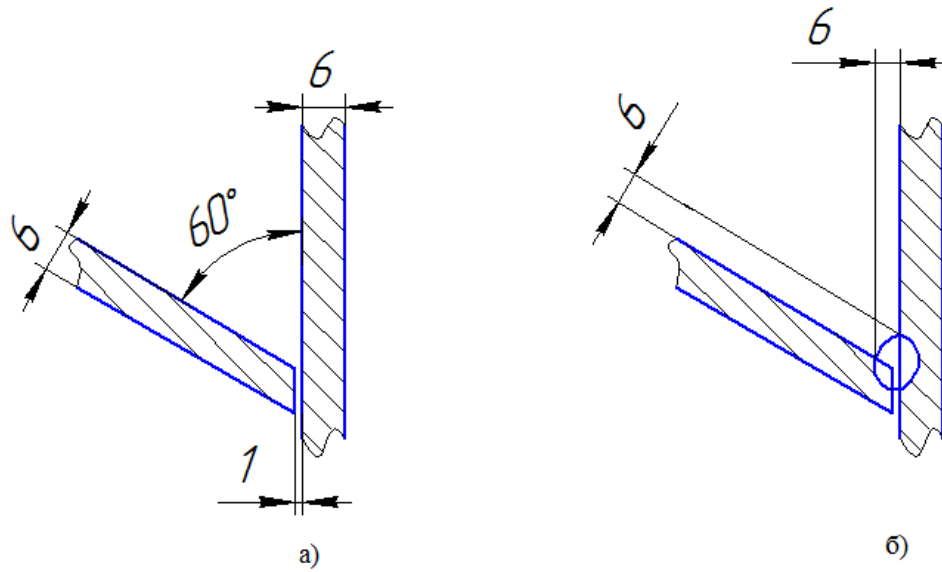
$$G_H = 0,5 \cdot 32 \cdot 7,8 = 124 \text{ г}$$

$$t_0 = \frac{124}{300 \cdot 13,5} = 0,03 \text{ год} = 1,8 \text{ хв}$$

$$T = \frac{0,03}{0,57} = 0,05 \text{ год} = 3 \text{ хв.}$$

$$A = \frac{35 \cdot 300}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,03 + 3 \cdot (0,05 - 0,03) = 0,51 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Виконуємо обчислення умов для таврового з'єднання з гострим кутом N4 (Т5 з товщиною 6 мм та довжиною 3674 мм) (рис.3.4).



а) – розробка кромки; б) – зварне з'єднання.

Рис. 3.4 - Конструктивна схема з'єднання N4

$$F_H = \frac{6^2}{2} = 18 \text{ мм}$$

$$h_H = \sqrt{18} = 4,24 \text{ мм.}$$

$$e = \sqrt{6^2 + 6^2} = 8,5 \text{ мм.}$$

$$H = \frac{8,5}{0.8} = 10,6 \text{ мм}$$

$$h_0 = 10,6 - 4,24 = 6,36 \text{ мм.}$$

$$I_{36} = \frac{6,34}{1.75} \cdot 100 = 363.$$

$$d_{зв.дп} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{363}{130}} = 1,6.$$

$$U_D = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{1,6^{0.5}} 363 \pm 1 = 34B.$$

$$V_{нд} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 363}{3,14 \cdot (1,6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7800} = 290 \frac{м}{год}.$$

$$V_{зв} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 363}{18 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 31 \frac{м}{год}.$$

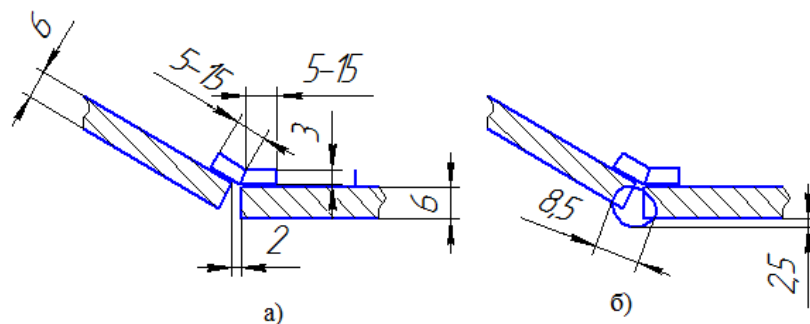
$$G_H = 0,5 \cdot 367,4 \cdot 7,8 = 1433 \text{ г}$$

$$t_0 = \frac{1433}{363 \cdot 19} = 0,2 \text{ год} = 12 \text{ хв}$$

$$T = \frac{0,2}{0,57} = 0,35 \text{ год} = 21 \text{ хв}$$

$$A = \frac{34 \cdot 363}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,2 + 3 \cdot (0,35 - 0,2) = 4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Виконання обчислень режимів для виконання таврового з'єднання з тупим кутом N5 (У1 з товщиною матеріалу 6 мм та довжиною 1564 мм) (рис. 3.5).



а) – розробка кромки; б) – зварне з'єднання.

Рис. 3.5 - Конструктивна схема з'єднання N5

Враховуючи те, що товщина з'єднаних кромок ідентична зварному шву N2, тому будемо застосовувати режими ті ж самі. Однак проведемо розрахунки тільки витрат матеріалів та електроенергії.

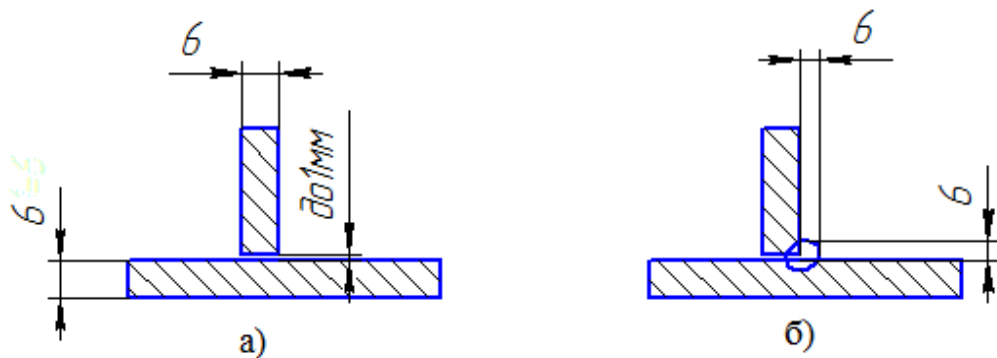
$$G_H = 0,5 \cdot 156,4 \cdot 7,8 = 610 \text{ г}$$

$$t_0 = \frac{610}{363 \cdot 19} = 0,09 \text{ год} = 5,4 \text{ хв}$$

$$T = \frac{0,09}{0,57} = 0,16 \text{ год} = 9,6 \text{ хв}$$

$$A = \frac{34 \cdot 363}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,09 + 3 \cdot (0,16 - 0,09) = 1,8 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Теж саме стосується і для шва N6 (T5, з товщиною 6 мм та довжиною 917 мм) (рис. 3.6).



а)-розробка кромок; б)-зварне з'єднання.

а) – розробка кромок; б) – зварне з'єднання.

Рис. 3.6 - Конструктивна схема з'єднання N6

$$G_H = 0,5 \cdot 91,7 \cdot 7,8 = 358 \text{ г}$$

$$t_0 = \frac{358}{363 \cdot 19} = 0,05 \text{ год} = 3 \text{ хв}$$

$$T = \frac{0,05}{0,57} = 0,09 \text{ год} = 5,4 \text{ хв}$$

$$A = \frac{34 \cdot 363}{0,7 \cdot 1000} \cdot 0,05 + 3 \cdot (0,09 - 0,05) = 1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Усі параметри зварювання, які застосовуються при виготовленні кришки котла, представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Режими зварювання кришки котла.

Номер шва	Сила струму $I_{зв}$, А	Напруга на дузі U_d , В	Діаметр дроту d_e , мм	Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/ГОД	Швидкість подачі дроту $V_{п.д.}$, м/ГОД
N ₁	261	25	1,6	16	196,5
N ₂	182	27	1,4	62	182
N ₃	300	35	1,6	46	147
N ₄	363	34	1,6	31	290
N ₅	363	34	1,6	31	290

Підбір обладнання для зварювання здійснюється з урахуванням стандартних параметрів зварювального процесу та техніко-економічних показників устаткування.

Для автоматизованого зварювання в атмосфері CO₂ вибір робимо на користь зварювального апарату А-1406 (див. рис.3.7).

Цей автомат пропонує різні методи зварювання: у захисному газовому середовищі; за допомогою порошкового дроту та стрічки з відкритою дугою; застосуванням суцільного дроту під флюсом; а також з розділеним електродом у відкритій дузі (на замовлення) [11].

Зварювання виконується за допомогою постійного струму, із швидкостями зварювання та подачі електродного дроту, незалежними від параметрів дуги. Автомат ефективний для зварювання зовнішніх і внутрішніх циліндричних, конічних поверхонь, а також горизонтальних площин. Технічні деталі автомата А-1406 представлені в таблиці 3.7. [11]



Рис. 3.7 - Зварювальна головка А-1406

Живлення автомату здійснюється зварювальним випрямлячем ВДУ-1201К (КИУ-1201) (рис. 3.8).

Багатофункціональний зварювальний випрямляч розрахований для виконання автоматизованого та напіваавтоматичного зварювання у присутності інертних газів та під флюсовим покриттям, а також для проведення ручного електродугового зварювання з використанням електродів різних типів.



Рис. 3.8 – Джерело живлення ВДУ-1201К (КИУ-1201)

Таблиця 3.7- Характеристика автомата А-1406 [11]

Параметр	Значення
	з ВДУ1201
Номінальна напруга мережі, В	380
Номінальний зварювальний струм, А	1000
Діапазон регулювання зварювального струму, А	250...1250
Кількість електродів, шт	1
Діаметр електродного дроту, мм: - суцільного - порошкового	1,2...2,0 2,0...3,0
Межі плавного регулювання швидкості подачі електродного дроту, м/год	17...553
Вертикальне переміщення зварювальної головки: - хід, мм - швидкість, м/год	500 29,4
Поперечне переміщення зварювальної головки: - хід, мм - швидкість, м/год	±70 ручне
Регулювання кута нахилу електрода (мундштука), град	±30 ручне
Амплітуда коливання електрода при наплавленні порошковим дротом діаметром до 3 мм., мм	10...70
Флюсоапаратура: - об'єм, дм ³ - витрата повітря, м ³ /год - висота всмоктування флюсу, м	40 20 2
Маса, кг: - зварювальної головки - джерела живлення	185 550
Габаритні розміри, мм: - зварювальної головки - джерела живлення	1010x890x1725 960x680x890

Цей випрямний апарат володіє добрими характеристиками зварювання: неперервне горіння дуги, низький рівень розпилення металу, висока якість

звареного з'єднання. Він також обладнаний додатковими функціями для збільшення обсягу технічних рішень. Технічні дані наведено в табл. 3.8.

Для зварювання зливних елементів та вушок використовуємо напівавтоматичний зварювальний апарат ПДГ-421 (рис. 3.9). Технічні характеристики півавтомата приведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.8 – Технічні дані ВДУ-1201К (КИУ-1201)

Найменування параметра	Норма
Номінальна напруга, В	3x380
Номінальний зварювальний струм при ПВ=100%, А	1250
Частота струму в мережі, Гц	50
Границя плавного регулювання струму, А	Падаюча 200-1250 Жорстка 250-1250
Границя плавного регулювання робочої напруги, В	Падаюча 28-56 Жорстка 20-56
Активна максимальна еквівалентна споживана потужність (з урахуванням ПВ), кВт	84
Напруга холостого ходу, В	85
Вага, кг	550
Габаритні розміри, мм	960x680x890



Рис. 3.9 – Напівавтомат ПДГ-421.

Таблиця 3.9 – Технічні дані ПДГ–421 [11].

Найменування параметра	Значення
Напруга живильної мережі, В	27
Номінальний зварювальний струм, А	400
Кількість роликів, шт	2 або 4
Діаметр електродного дроту, мм	0,8...1,4
Швидкість подачі електродного дроту, м/год	45...960
Розмір зварювальної касети, мм	200
Маса, кг	11
Габарити, мм, не більш	450x175x295

Сучасні напівавтоматичні зварювальні машини оснащуються самостійними газовими горілками та гнучкими шлангами. Максимальна довжина цих шлангів не повинна перевищувати 5 метрів. На горілці розташована кнопка, що активує механізм подачі. Для зварювання елементів кришки застосовуємо зварювальний пальник TECH MS 400 (рис. 3.10). Даний пальник призначений на максимальний струм 400А і діаметр дроту 1,0...1,6 мм.



Рис. 3.10 – Зварювальний пальник TECH MS 400

Для живлення напівавтомата беремо зварювальний випрямляч ВС-600 (рис. 3.11), який розроблений для оснащення напівавтоматичних дугових зварювальних систем, що працюють в атмосфері захисних газів. Його технічні дані в табл. 3.10.



Рис. 3.11 – Випрямляч BC-600 .

Таблиця 3.10 – Технічні дані BC-600 [11]

Параметр	Значення
	BC-600
Напруга мережі живлення, В	3 x380
Частота мережі живлення, Гц	50
Номінальний зварювальний струм, А (при ТВ,%)	315 (85%) 290 (100%)
Межі регулювання зварювального струму, А	50...350
Номінальна робоча напруга, В	32
Напруга холостого ходу, В не більше	45
Межі регулювання робочої напруги, В	19 ... 45
Кількість ступенів регулювання	20
Споживана потужність, кВА	16
Маса, кг, не більше	110
Габаритні розміри, мм	400x830x710

2.2 Опис запропонованого технологічного процесу

Компоненти для складання частин кришок теплових котлів створюють з листової сталі та різних типів профілів. Перед ініціацією виробництва

компонентів здійснюється вибір металевих матеріалів, враховуючи вимоги до розміру, форми перетину та сорту сталі.

Технологічний процес виготовлення включає в себе декілька етапів, кожен з яких проводиться для окремих елементів кришки, охоплюючи всі етапи від початкової обробки до збірки кінцевої конструкції. Виробництво кришки відбувається у певній послідовності та включає низку специфічних процесів.

Розглянемо більш детально кожний етапу технологічного процесу:

- Підготовчі: на цьому етапі відбувається обробка матеріалів, що надійшли на виробництво, таких як листовая сталь і труби. Для цього використовують машини багатовалкового вирівнювання. Враховуючи товщину листового прокату 3 - 6 мм застосовуємо листопрямильну машину BPSM 25/08 2500 (рис. 3.12).



Рис. 3.12 - Машина листопрямильна BPSM 25/08 2500 [12]

Після процесу вирівнювання металопрокат надходить на етап розкрою. Основні компоненти кришки, які виготовлені з листового прокату, розрізають за допомогою верстата для гідроабразивного різання з ЧПУ-1525 (рис. 3.13). Для розкрою інших елементів конструкції кришки, а також труби діаметром 1194 мм для виготовлення ободу діаметром 1194 мм висотою 170мм, здійснюють плазмове різання, використовуючи при цьому верстат KT7 Easy PRO (рис. 3.14).

Також за допомогою даного верстату проводять вирізання двох отворів в ободі для пальникових патрубків.



Рис. 3.13 - Верстат для гідроабразивного різання з ЧПУ-1525 [12]



Рис. 3.14 - Верстат KT7 Easy PRO [12]

Для забезпечення вимог, щодо якості поверхонь які поступають на зварювання, проводять очищення порізаних елементів кришки котла за допомогою дробоструменевого очищення установкою прохідного типу SK-5 ÇETİNGİL (рис. 3.15).



Рис. 3.15 - Установка SK-5 ÇETINGIL [12]

Очищені листови розмірами $6 \times 510 \times 3749$ вальцюється в трубу, а лист $6 \times 390 \times 3711(1564)$ в конус з основами діаметром 1194 мм та 498 мм. Цей процес здійснюється на листозгинальному вальцювальному верстаті 4 OHS 1570X180 OSTAS (рис. 3.16). Звальцьовані елементи пресу поступають на наступну операцію.



Рис. 3.16 - Вальцювальний верстат OHS 4070x400 OSTAS [12]

- Складально-зварювальні.

Складання та зварювання корпусу зовнішньої та внутрішньої кришок. Складання відбувається на стенді за допомогою прихваток. Звальцьовані конуси кришки встановлюється в складальний стенд, в якому за допомогою притискачів здійснюють складання стика та здійснюють прихоплення. Складений конус переміщують за допомогою кран-балки в установку SWC 1.0 (рис. 3.17), в якій здійснюють зварювання стикового шва. Дана операція повторюється для двох конусів кришки. В даній установці встановлений конус притискається до рами стенду. Після цього здійснюють автоматичне зварювання. Для прихоплення елементів стику конуса та інших елементів кришки котла застосовують напівавтомат ПДГ-421.



Рис. 3.16 – Установка SWC 1.0 [12]

Наступним етапом є складання та зварювання внутрішньої кришки (конуса) до ободу, виготовленого із труби. Складання даних елементів здійснюється за допомогою спеціального стапеля, який вмонтовується на

зварювальний обертач УСМ-3000 (рис. 3.17), який входить в зварювальну установку зварювання кільцевих швів. Після цього на тій же установці здійснюють приварювання кільця до внутрішньої кришки. Зварювання проводять автоматом А-1406 змонтованим на глагольному візку ГТ-2.

Зварена внутрішня кришка із ободом та кільцем поступає на складання її із зовнішньою кришкою. Операції складання і зварювання повторюються з використанням того ж обладнання.

Операції зварювання здійснюються в такій послідовності:

- приварювання патрубків та провудин до ободу;
- приварювання внутрішньої кришки (конуса) до ободу;
- приварювання кільця до внутрішньої кришки;
- приварювання пальникового патрубка до кільця;
- приварювання зовнішньої кришки (конуса) до ободу;
- приварювання кільця до зовнішньої кришки;
- приварювання кільця до пальникового патрубка.

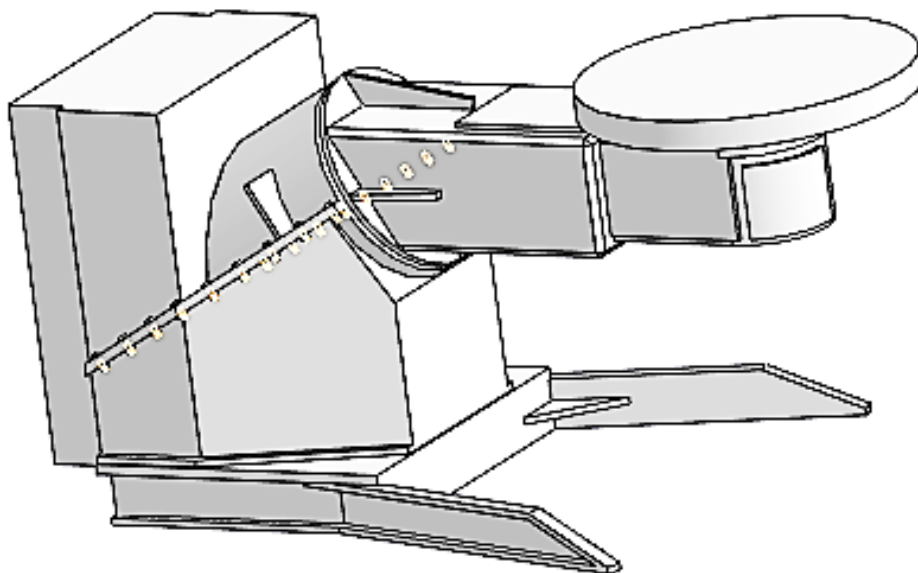


Рис. 3.17 – Універсальний зварювальний маніпулятор УСМ-3000

- Опоряджувальні. Здійснюють зачищення кромки металу та прилеглої сторони перед кожною операцією складання та зварювання. Після виконання

приварювання кожного елемента кришки котла проводять очищення швів, при цьому використовують куто-шліфувальні машини та металеві щітки.

- Контроль якості. Високу якість зварювальних робіт на зварювально-складальних ділянках забезпечуються доброю організацією робіт і контролем зварювального виробництва. Під контролем якості зварювання розуміють перевірку умов і порядок виконання зварювальних робіт, а також визначення якості зварних з'єднань у відповідності з технічними вимогами [13].

За допомогою візуально – оптичного методу проводиться контроль якості наявності зовнішніх дефектів. Контроль якості проводиться за допомогою телескопічної лупи типу ТЛА.

Ультразвуковий контроль - це неруйнівний контроль, що ґрунтується на застосуванні пружних коливань, які збуджуються чи виникають в об'єкті контролю (ДСТУ 2865 - 94).

На рисунку 3.18 показана загальна схема ультразвукового контролю (УЗК).

Акустична хвиля, випромінена акустичним перетворювачем 1 у зварну деталь 4, стикаючись із перешкодою у вигляді дефекту 2, частково відбивається назад, де її можна зафіксувати за допомогою перетворювача (в режимі прийому), а частково - відбивається від дефекту під різними кутами і може вловлюється перетворювачем-приймачем 3. Використання перетворювача-приймача 5 дозволяє реєструвати ослаблення акустичної хвилі.

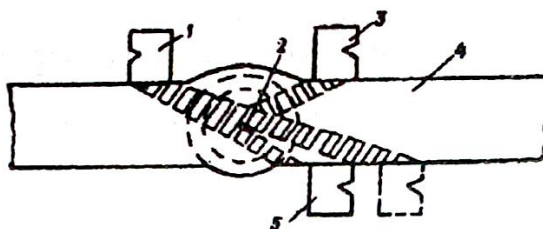


Рис. 3.18 - Схема УЗД швів

Для контролю зварних швів застосовують мікропроцесорний компактний малогабаритний дефектоскоп NOVOTEST УД-1 (рис.3.19) [14], що дозволяють

проводити багатопараметрову обробку відображеного сигналу що підвищує інформативність контролю.

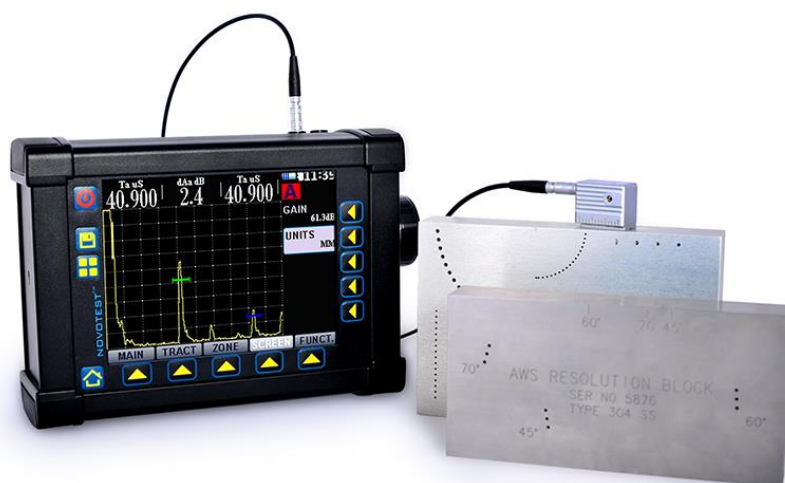


Рис. 3.19 – Ультразвуковий дефектоскоп NOVOTEST УД-1 [14]

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Обґрунтування типу складально-зварювальних пристосувань

Основна задача складальних робіт у процесі створення зварних конструкцій полягає у забезпеченні коректного взаєморозміщення та фіксації компонентів збірного виробу.

Застосування спеціалізованих складальних пристроїв сприяє покращенню умов праці та підвищенню рівня якості монтажу. Базисом для монтажного пристрою служить міцний рамний каркас із опорами. Утримання монтажних компонентів виконується за допомогою зажимних пристроїв. У такому стані, монтажний вузол має забезпечувати адекватну міцність для зниження деформацій під час зварювання [15].

При застосуванні монтажно-зварювального устаткування процес зварювання здійснюється після монтажу, не витягуючи виріб з устаткування.

Для виробництва кришки бойлера необхідно використовувати зварювальний інструментарій. Правильний вибір інструментарію підвищує ефективність роботи, скорочує час на виробництво продукції та автоматизує процес зварювання.

Для виконання зварювання кільцевих швів за допомогою нерухомої зварювальної головки використовуємо рейковий візок ГТ-2 (рис. 4.1), вторинний інструмент для монтажно-зварювальних дій (рис. 4.2) та маніпулятор УСМ-3000 (рис. 4.3).

Конструкція візка включає в себе платформу 6, що рухається по парі рейок, основу 5, опорну колону 4, втулку 2, горизонтальну штангу 3, систему переміщення візка, механізм підняття штанги 1 і її горизонтального переміщення.

Піднімання та спуск штанги відбувається за допомогою електричного приводу зі швидкістю 2 метри за хвилину.

Горизонтальний рух штанги виконується за допомогою електропривода зі швидкістю 1 метр за хвилину.

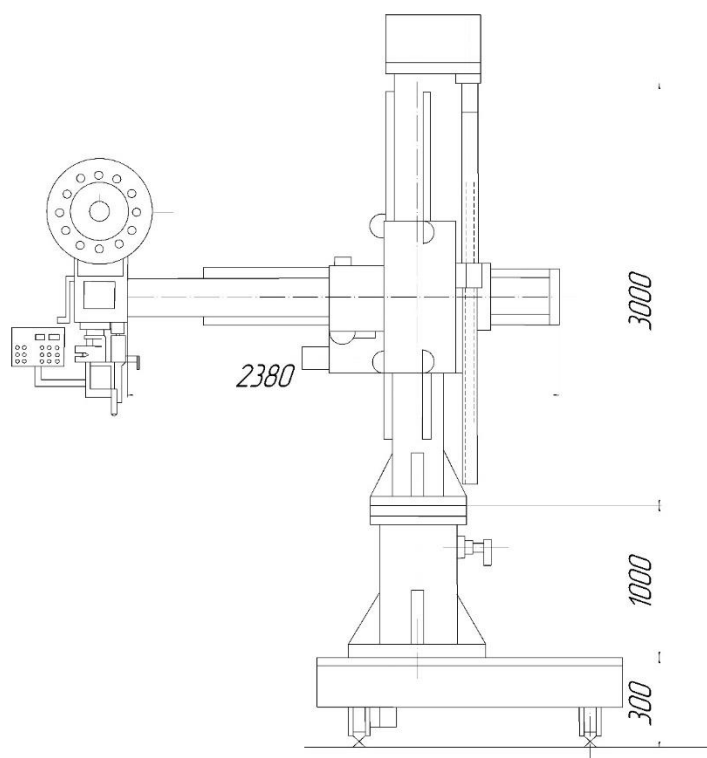
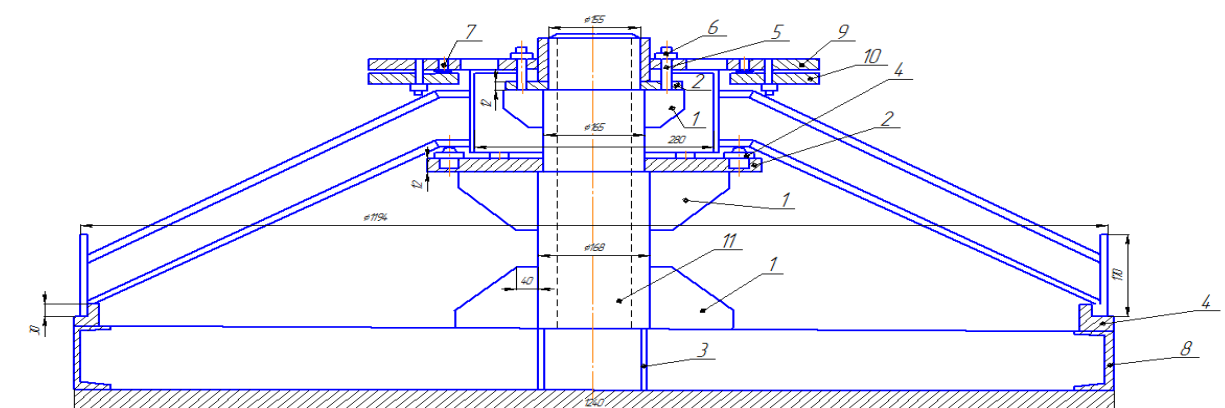


Рис. 4.1 – Рейковий візок ГТ-2

Функцією вторинного інструменту є забезпечення прецизійного монтажу деталей перед зварюванням. Деталі виробу монтується та зварюються етапами, шарами. Після завершення зварювання одного вузла, вторинні компоненти демонтуються, а потім відбувається монтаж та зварювання наступного вузла.



1-косинка; 2-фланець; 3-ребро; 4-опора; 5-шпилька; 6-гайка з шайбою; 7-упор; 8-корпус; 9-прижин; 10-прихват; 11-вісь

Рис. 4.2 – Вторинний інструмент

Маніпулятор типу консольного призначений для виконання автоматичного чи ручного зварювання кільцевих з'єднань.

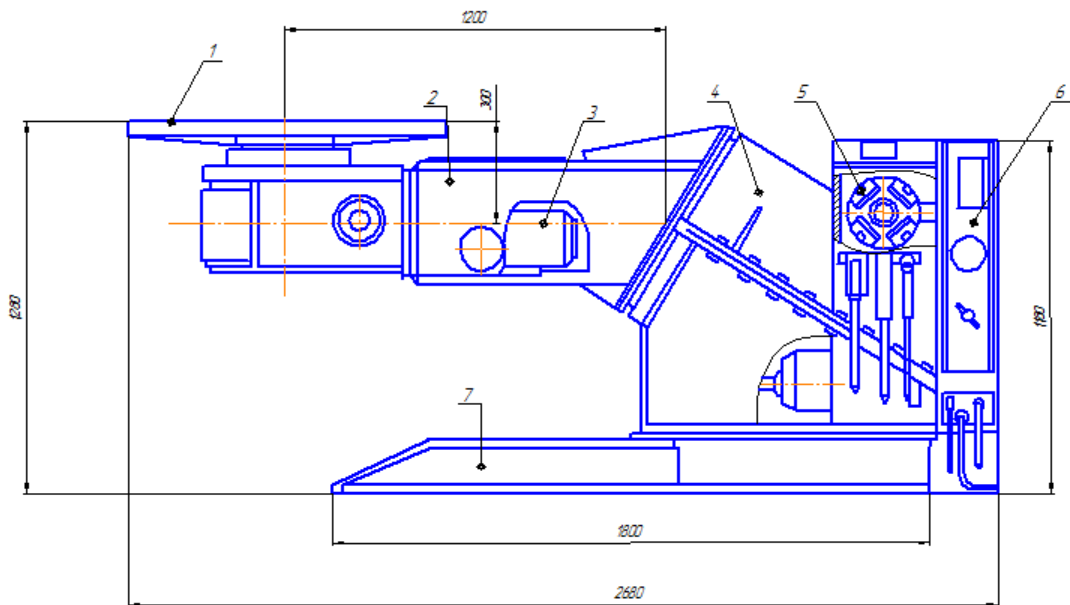
Цей маніпулятор складається з основи 7, обертової платформи 1, виступу 2 та механізмів для приводу обертової платформи 3 та приводу виступу 4.

Зварювальний елемент фіксується на обертовій платформі або на спеціальному кріпленні (крестовині) за допомогою стискачів.

Маніпулятор забезпечує обертання деталі навколо осі обертової платформи з робочою та пересувною швидкістю, а також здійснює підняття та нахил деталі при обертанні виступу.

Обертова платформа приводиться в рух двигуном постійного струму (живлення двигуна відбувається через електромеханічний підсилювач 5) за допомогою ремінної передачі та дворівневої черв'ячної трансмісії. Швидкість обертання платформи можна плавно налаштовувати за допомогою потенціометра, встановленого на панелі управління.

Поворот виступу виконується за допомогою електромотора через дворівневу черв'ячну трансмісію. Управління маніпулятором здійснюється з фіксованої панелі управління 6, яка розміщена на основі.



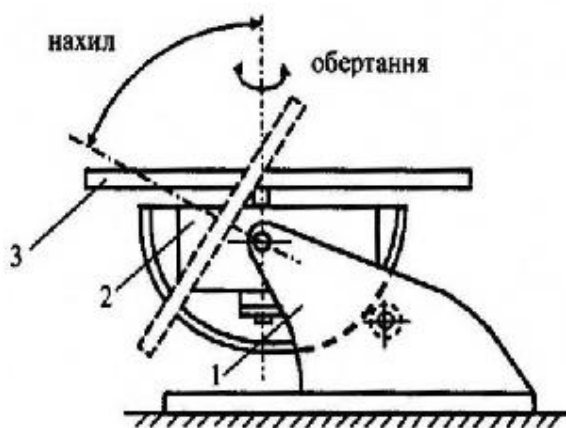
1-планшайба; 2-консоль; 3-привід планшайби; 4-привід консолі; 5-електромашинний підсилювач; 6-стаціонарний пульт; 7-станина

Рис. 4.3 – Маніпулятор УСМ-3000

4.2 Загальна характеристика механічного устаткування

Механізоване зварювальне устаткування (вторинне) - призначене для виконання підтримуючих зварювальних дій, спрямованих на поліпшення виробничого процесу зварних конструкцій та зниження робочого зусилля. Це включає устаткування для монтажу, фіксації, повороту, вращення зварних елементів, а також для утримання та переміщення зварювальних установок. Зазвичай таке устаткування не виробляється масово, а розробляється і виготовляється на місцях, де відбувається виробництво зварних конструкцій. Залежно від довжини, розташування та доступності зварних швів, а також типу виробництва, найкращі технічно-економічні результати можна отримати за допомогою автоматизованого електродугового зварювання у середовищі CO_2 .

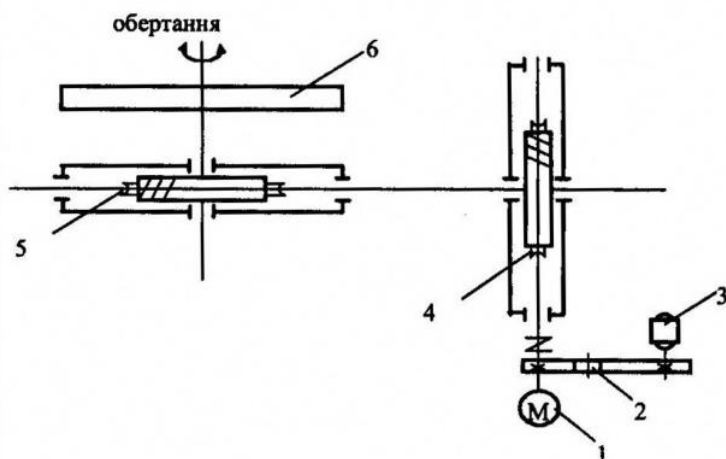
Серед основного механізованого устаткування є маніпулятор УСМ-3000, який використовується для ротації об'єкта під час зварювання кільцевих з'єднань у позицію, оптимальну для зварювання, що досягається завдяки різним кутам нахилу вісі ротації. Компоненти маніпулятора включають (рис. 4.4) корпус 1 з механізмом нахилу обертової платформи, підставку (траверсу) 2 з обертовою платформою 3 і механізмом ротації [16].



1-корпус; 2-стіл; 3-планшайба

Рис. 4.4- Основний вигляд маніпулятора

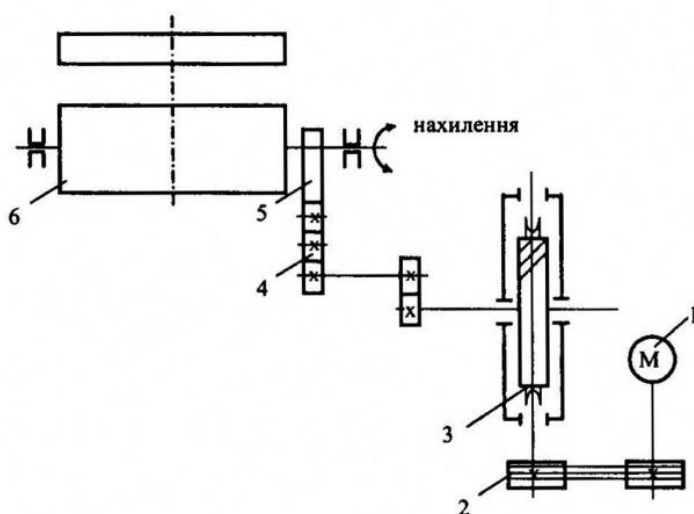
Стандартні схеми руху для механізмів повороту та нахилу обертової платформи демонструються на рис. 4.5 та 4.6.



1 – двигун постійного струму; 2 – паразитна шестерня; 3 – тахогенератор; 4 та 5 – черв'ячні редуктори; 6 – планшайба

Рис. 4.5 – Схема руху механізму повороту

Механізм повороту обертової платформи у багатоцільовому поворотному пристрої (маніпуляторі) оснащений електричним приводом на постійному струмі з електромеханічним підсилювачем, що дозволяє здійснювати ротацію зварюваного об'єкта в широкому спектрі швидкостей зварювання. Поворотний механізм обертової платформи оснащений електроприводом на змінному струмі та забезпечує обертання зварюваного об'єкта з певною швидкістю, достатньою для розміщення зварюваної конструкції у зручному положенні для проведення зварювальних робіт [16].



1 – асинхронний двигун; 2 – клинопасова передача; 3 – черв'ячний редуктор; 4 – набір шестерень; 5 – зубчастий сектор; 6 – стіл планшайби

Рис. 4.6 – Схема руху механізму нахилу

Перевірка умови міцності маніпулятора УСМ-3000. Вихідними даними для перевірки міцності маніпулятора є:

G – вага виробу з кріпильними пристроями;

e – ексцентриситет;

h - відстань від центра ваги до найбільш навантаженої опори

$d_{ш}$ – діаметр шпинделя.

Виконуємо відповідно до критерію міцності перевірку вала

$$\sigma = \frac{10 \cdot G \cdot \sqrt{h^2 + e^2}}{d^3} + \frac{1,3 \cdot G \cdot e}{d^2 \cdot \sqrt{h^2 + e^2}} \leq [\sigma] \quad (4.1)$$

$$\sigma = \frac{10 \cdot 700 \cdot \sqrt{1^2 + 0,33^2}}{0,3^3} + \frac{1,3 \cdot 700 \cdot 0,33}{0,3^2 \cdot \sqrt{1^2 + 0,33^2}} = 276348 \text{ Па} = 0,276348 \text{ МПа}$$

Цей маніпулятор підходить для зварювання передньої кришки, оскільки він відповідає вимогам.

4.3 Розрахунок потужності приводу механізму обертання

Визначаємо потужність двигуна.

$$N = \frac{(M_{кр} + M_{тр}) \cdot \omega}{\eta_0}, \quad (4.2)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент;

$M_{тр}$ – момент сили тертя у підшипниках

Обчислюємо крутний момент

$$M_{кр} = G \cdot e \quad (4.3)$$

$$M_{кр} = 700 \cdot 0 = 0$$

Силу тертя в підшипниках

$$M_{mp} = 0,5 \cdot f \cdot (R_A \cdot d_A + R_B \cdot d_B) \quad (4.4)$$

Визначаємо опорні реакції R_A та R_B

$$R_A = \frac{G}{l} \cdot (l + h) \quad (4.5)$$

$$R_B = \frac{G}{l} \cdot h \quad (4.6)$$

d_A та d_B розраховуємо виходячи з моменту згину в опорі А.

Момент згину в опорі А

$$M_3 = G \cdot h \quad (4.7)$$

Обчислюємо реакції d_A та d_B

$$d_A = d_B = 3 \sqrt{\frac{10 \cdot M_3}{[\sigma]}} \quad (4.8)$$

$$R_A = \frac{700}{0,36} \cdot (0,36 + 1) = 2644H$$

$$R_B = \frac{700}{0,36} \cdot 1 = 1944H$$

Момент згину у опорі А

$$M_3 = 700 \cdot 1 = 700Hm$$

Обчислюємо реакції d_A та d_B

$$d_A = d_B = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 700}{85}} = 4,3 \text{ м}$$

Сила тертя у підшипниках

$$M_{тр} = 0,5 \cdot 0,02 \cdot (2644 \cdot 4,3 + 1944 \cdot 4,3) = 197 \text{ Нм}$$

Визначаємо потужність двигуна

$$N = \frac{(0 + 197) \cdot 0,8}{0,66} = 239 \text{ Вт}$$

4.4 Розрахунок механізму обертання планшайби

Схема розрахунку механізму повороту представлена на рис. 4.7 [16].

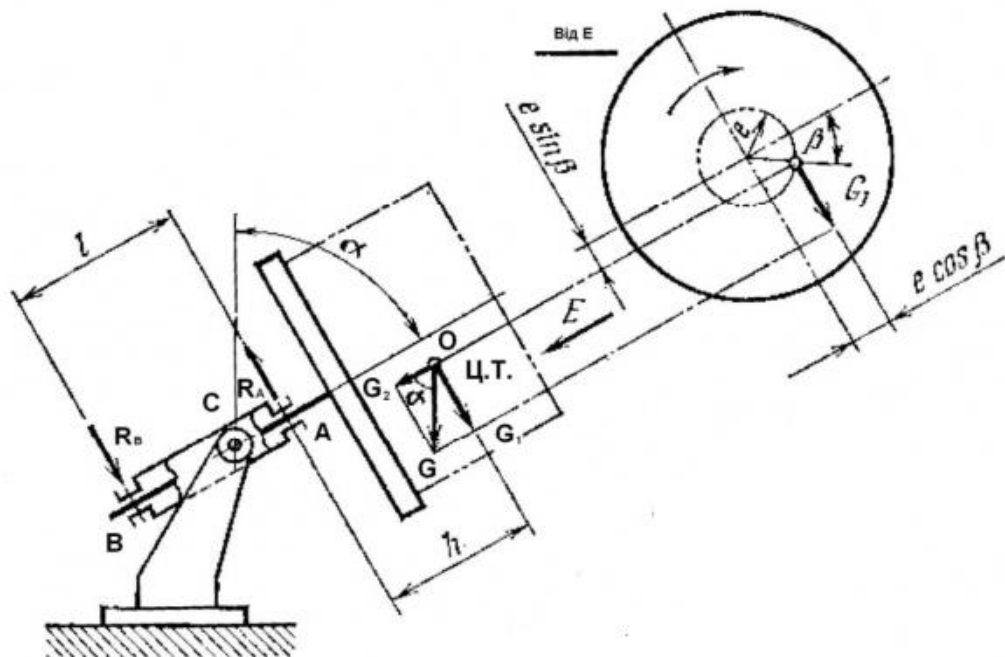


Рис. 4.7 – Розрахункова схема механізму повороту

Обертова платформа маніпулятора розташована таким чином, що центр тяжкості виробу перебуває у найнижчій точці. Зубчасте коло закріплене на обертовій платформі. Крутний момент зумовлений лише моментом сил тертя в підшипниках, отже, обертальний навантаження на зубчастому колі:

$$Q = \frac{M_{mp}}{R}; \quad (4.9)$$

де R – радіус початкової окружності зубчастого вінця.

$$Q = 0.$$

На вал у опорі А одночасно впливають три моменти згину: два (M_1 та M_2 від сил G_1 і G_2) у вертикальній площині та один (M_n від кругового навантаження Q на зубчастому кільці обертової платформи) у нахиленій площині [16].

Обидва моменти.

$$M_1 = G_1 \cdot h = G \cdot h \cdot \sin \alpha; \quad (4.10)$$

$$M_2 = 560 \cdot 0,3 \cdot \cos 55 = 100H \cdot m$$

$$M_2 = G_2 \cdot e = G \cdot e \cdot \cos \alpha; \quad (4.11)$$

Ці моменти впливають у тій же вертикальній площині, тому вони сумуються за алгебраїчним принципом, а не геометричним:

$$M_B = M_1 + M_2 = G \cdot (h \cdot \sin \alpha + e \cdot \cos \alpha); \quad (4.12)$$

$$M_B = M_1 + M_2 = 560 \cdot (0,6 \cdot \sin 55 + 0,3 \cdot \cos 55) = 375 H \cdot m$$

Момент згину, який впливає в площині, перпендикулярній до нахиленої:

$$M_n = Q \cdot K; \quad (4.13)$$

$$M_n = 0.$$

Результивний момент згину, що впливає на вал у опорі А:

$$M_u = \sqrt{M_e^2 + M_n^2} = \sqrt{G^2 \cdot (h \cdot \sin \alpha + e \cdot \cos \alpha)^2 + Q^2 \cdot K^2}; \quad (4.14)$$

$$M_u = \sqrt{375^2 + 0} = 375H \cdot m.$$

При ігноруванні тертя в підшипниках (зокрема, у випадку кочення підшипників), у даному стані поворотного пристрою $M_{кр}=0$, $Q=0$, $M_n=0$.

$$M_n \approx M_B = G \cdot (h \cdot \sin \alpha + e \cdot \cos \alpha) \quad (4.15)$$

$$M_n \approx M_e = 0.$$

Радіальні реакції опори А та В, які розташовані у вертикальній площині та виникають через зовнішню силу G_1 та момент $M=G_2 \cdot e$, що прикладається до обертової платформи.

$$A = G_1 \cdot \frac{l+h}{l} + G_2 \cdot \frac{e}{l} = \frac{G}{l} \cdot [(l+h) \cdot \sin \alpha + e \cdot \cos \alpha]; \quad (4.16)$$

$$A = \frac{560}{0,21} \cdot [(0,21 + 0,6) \cdot \sin 55 + 0,3 \cdot \cos 55] = 186H \cdot m$$

$$B = -(G_1 \cdot \frac{h}{l} + G_2 \cdot \frac{e}{l}) = -\frac{G}{l} \cdot (h \cdot \sin \alpha + e \cdot \cos \alpha); \quad (4.17)$$

$$B = \frac{560}{0,21} \cdot (0,6 \cdot \sin 55 + 0,3 \cdot \cos 55) = 150H \cdot m.$$

Осьова реакція опори:

$$A_{yn} = G_2 = G \cdot \cos \alpha; \quad (4.18)$$

$$A_{yn} = 560 \cdot \cos 55 = 105 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сили тертя в підшипниках

$$M_{mp} = 0,5 \cdot f \cdot (A \cdot d_A + B \cdot d_B) + 0,5 \cdot f_{yn} \cdot A_{yn} \cdot d_{yn}; \quad (4.19)$$

f, f_{yn} – коефіцієнт тертя у підшипниках,
 d_A, d_B, d_{yn} – діаметри підшипників.

$$M_{mp} = 0,5 \cdot 0,9 \cdot (186 \cdot 6,5 + 150 \cdot 6,5) + 0,5 \cdot 0,1 \cdot 105 \cdot 6,5 = 455 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розмір діаметра вала в критичному перетині:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot \sqrt{M_u^2 + M_{mp}^2}}{[\sigma]}}; \quad (4.20)$$

Підшипники вала визначаються або вибираються згідно з раніше розрахованими навантаженнями. A, B, A_{yn} .

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot \sqrt{375^2 + 455^2}}{80 \cdot 10^6}} = 0.0456 \text{ м} = 45,6 \text{ мм}$$

Потужність приводу поворотного пристрою при найнижчому положенні центру ваги буде незначною, тому її обчислення для цієї позиції не є необхідним.

Позиціонування зубчастого колеса між опорами А та В не впливає на обчислювальні формули.

4.5 Розрахунок механізму нахилу стола

Розглянемо стан обертової платформи, коли вона обернута відносно початкового положення на 90 градусів (положення 1). Навантажувальний крутний момент, горизонтальне розташування при $\alpha=90^\circ$ та $\beta=0^\circ$ [16].

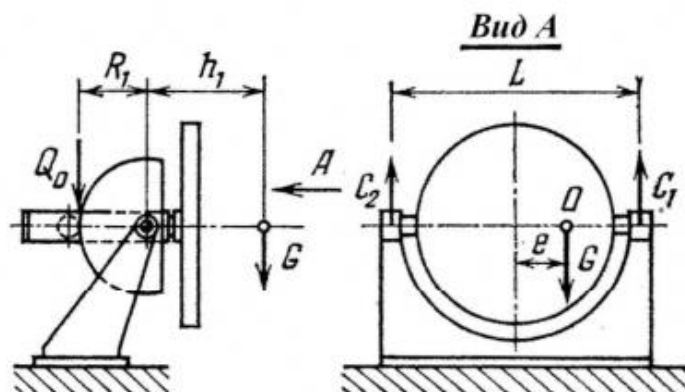


Рис. 4.8 – Розрахункова схема обертової платформи

$$M_2 = G_1 \cdot e = G \cdot e \cdot \sin \alpha; \quad (4.21)$$

$$M_2 = G_1 \cdot e = 560 \cdot 0,3 \cdot \sin 90 = 137 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загальний крутний момент, що впливає на обертову платформу:

$$M_{кр} = M_2 + M_{тр}; \quad (4.22)$$

$$M_{кр} = 137 + 455 = 592 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Кругове навантаження на зубчастому колесі:

$$Q = \frac{M_{кр}}{R}; \quad (4.23)$$

$$Q = \frac{M_{кр}}{R} = \frac{G \cdot e \cdot \sin \alpha}{R}; \quad (4.24)$$

R – радіус початкової округлості колеса.

$$Q = \frac{560 \cdot 0.3 \cdot \sin 90}{0.6} = 228H \cdot \text{м}.$$

На вал у його критичному перетині А впливають наступні моменти згину:

У вертикальній площині

$$M_1 = G_1 \cdot h = G \cdot h \cdot \sin \alpha ; \quad (4.25)$$

$$M_1 = 560 \cdot 0.6 \cdot \sin 55 = 275H \cdot \text{м} .$$

У площині, перпендикулярній до нахиленої

$$M_2 = G_2 \cdot e + Q \cdot k = G \cdot e \cdot \cos \alpha + \frac{M_{kp}}{R} \cdot k ; \quad (4.26)$$

або

$$M_2 = G \cdot e \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{R} \right) . \quad (4.27)$$

$$M_2 = 560 \cdot 0.3 \cdot \left(\cos 90 + \frac{\sin 90}{0.6} \right) = 255H \cdot \text{м}$$

Загальний момент згину в точці А.

$$M_u = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = \sqrt{(G \cdot h \cdot \sin \alpha)^2 + \left(G \cdot e \cdot \cos \alpha + \frac{M_{kp}}{R} \cdot k \right)^2} ; \quad (4.28)$$

$$M_u = G \cdot \sqrt{(h \cdot \sin \alpha)^2 + e^2 \cdot \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha}{R} \right)^2} . \quad (4.29)$$

$$M_u = 560 \cdot \sqrt{(0.6 \cdot \sin 55)^2 + 0.3^2 \cdot (\cos 55 + \frac{\sin 55}{0.6})^2} = 535 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

У другій позиції обертової платформи, коли вона обернена на 90 градусів, рис. 4.9, деякі обчислення змінюються, оскільки кругове навантаження на зубцях та крутний вантажний момент повністю поглинаються валом [14].

Нахилена позиція під кутами $\alpha=90^\circ$ і $\beta=90^\circ$.

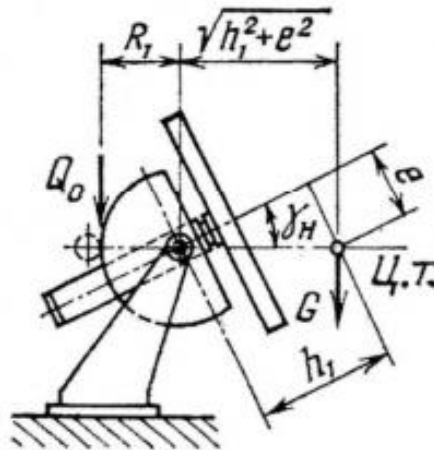


Рис. 4.9 – Розрахункова схема механізму нахилу маніпулятора.

Момент вантажного кручення:

$$M_z = G_1 \cdot e = G \cdot e \cdot \sin \alpha; \quad (4.30)$$

$$M_z = G_1 \cdot e = 560 \cdot 0.3 \cdot \sin 55 = 136 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Загальний момент кручення:

$$M_{кр} = M_z + M_{тр}; \quad (4.31)$$

$$M_{кр} = 136 + 455 = 591 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Кругове навантаження на зубчастому вінці:

$$Q = \frac{M_{кр}}{R}; \quad (4.32)$$

$$Q = \frac{591}{0.6} = 935 H \cdot м$$

У критичному перетині вала на опорі А, момент згину, який впливає на вал у вертикальній площині:

$$M_1 = G_1 \cdot h = G \cdot h \cdot \sin \alpha ; \quad (4.33)$$

$$M_1 = 560 \cdot 0,6 \cdot \sin 55 = 275 H \cdot м .$$

На цій же опорі момент згину, що впливає у площині, перпендикулярній до нахиленої

$$M_2 = G_2 \cdot e = G \cdot e \cdot \cos \alpha ; \quad (4.34)$$

$$M_2 = 560 \cdot 0,3 \cdot \cos 55 = 255 H \cdot м .$$

Загальний момент згину в опорі.

$$M_{u1} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} = G \cdot \sqrt{h^2 \cdot \sin^2 \alpha + e^2 \cdot \cos^2 \alpha}; \quad (4.36)$$

$$M_{u1} = \sqrt{275^2 + 255^2} = 530 H \cdot м .$$

Приблизно, у проміжку між опорами А та В, біля місця установки зубчастого колеса на вал, існує інший критичний перетин вала, де впливає момент згину від кругового навантаження:

$$M_{u2} = Q \cdot \frac{(l - k_1) \cdot k_1}{l}; \quad (4.37)$$

$$M_{u2} = 935 \cdot \frac{(0,21 - 0,13) \cdot 0,13}{0,21} = 463H \cdot m.$$

4.6 Розрахунок потужності приводу маніпулятора

Горизонтальні радіальні реакції опор Аг та Вг, які виникають через комбіновану дію кругового навантаження на зубчастому колесі Q та моменту на виступі [16].

$$M = G_2 \cdot e = G \cdot e \cdot \cos \alpha ,$$

$$A_2 = G \cdot \frac{e}{l} \cdot \cos \alpha + Q \cdot \frac{l - k_1}{l} ; \quad (4.38)$$

$$A_2 = 560 \cdot \frac{0,3}{0,21} \cdot \cos 55 + 935 \frac{0,21 - 0,13}{0,21} = 476H \cdot m ;$$

$$B_2 = G \cdot \frac{e}{l} \cdot \cos \alpha + Q \cdot \frac{k_1}{l} ; \quad (4.39)$$

$$B_2 = 560 \cdot \frac{0,3}{0,21} \cdot \cos 55 + 935 \frac{0,13}{0,21} = 360H \cdot m .$$

Загальні радіальні реакції опор А та В розраховуються шляхом геометричного сумування взаємно перпендикулярних компонентів:

$$A = \sqrt{A_g^2 + A_2^2} ; \quad (4.40)$$

$$B = \sqrt{B_g^2 + B_2^2} ; \quad (4.41)$$

$$A = \sqrt{655^2 + 476^2} = 1131H \cdot m ;$$

$$B = \sqrt{520^2 + 360^2} = 880 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Аксiальна реакцiя A_{yn} , тобто навантаження на пiдпiрний пiдшипник:

$$A_{yn} = G_2 = G \cdot \cos \alpha; \quad (4.42)$$

$$A_{yn} = G_2 = 560 \cdot \cos 55 = 105 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

У другому положеннi планшайби, найбільший крутний момент, що дiє на шпиндель i привiд:

$$M_{кр} = G \cdot e \cdot \cos \alpha + 0,5 \cdot f \cdot (A \cdot d_A + B \cdot d_B) + 0,5 \cdot f_{yn} \cdot A_{yn} \cdot d_{yn}; \quad (4.43)$$

$$M_{кр} = 560 \cdot 0,3 \cdot \cos 55 + 0,5 \cdot 0,1 \cdot (186 \cdot 6,5 + 150 \cdot 6,5) + 0,5 \cdot 105 \cdot 0,015 \cdot 6,5 = 620 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Для розрахунку мiцностi шпинделя i визначення його дiаметру в обох перерiзах, результуючi еквiвалентнi моменти обчислюються як геометричнi суми згинального i крутного моментiв. У випадку перерiзу в опорi А, це виражається:

$$M_{\text{э1}} = \sqrt{M_{u1}^2 + M_{кр}^2}; \quad (4.44)$$

$$M_{\text{э1}} = \sqrt{530^2 + 620^2} = 1150 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Для розрахунку перерiзу шпинделя пiд зубчаткою мiж

$$M_{\text{э2}} = \sqrt{M_{u2}^2 + M_{кр}^2}; \quad (4.45)$$

$$M_{\text{э2}} = \sqrt{463^2 + 620^2} = 1083 \text{ H} \cdot \text{м}$$

Розрахункові діаметри шпинделя

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{\text{э1}}}{[\sigma]}} ; \quad (4.46)$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot M_{\text{э2}}}{[\sigma]}} . \quad (4.47)$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 1150}{80 \cdot 10^6}} = 0.0455 \text{ м} = 45,5 \text{ мм}.$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{10 \cdot 1083}{80 \cdot 10^6}} = 0.0425 \text{ м} = 42,5 \text{ мм}.$$

Потужність електродвигуна приводу

$$N_{\text{дв}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9740 \cdot \eta_0} ; \quad (4.48)$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{620 \cdot \frac{25}{3,14 \cdot 0,56}}{9740 \cdot 0,95 \cdot 0,6} = 2,0 \text{ кВт} .$$

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Розрахунок освітлення складально-зварювальної дільниці

Розраховуємо внутрішнє, штучне, комбіноване освітлення з світильниками, для складально зварювального цеху 42x18x13. Виділяється пил $C=5 \text{ мг/м}^3$. Характеристика зорової роботи відноситься до IV – VIII, висота світильників $h_{\text{св}}=10 \text{ м}$.

Мінімальна необхідна освітленість для даного розряду роботи при комбінованому освітленні $E_{\text{min}}=200 \text{ лк}$.

По виділенню пилу визначають кількість запасу $k=1,5$. Період чистки світильників 4 рази на рік.

Підбір типу світильника найвигідніше визначати відношенням віддалі між світильниками до висоти підвіски світильника [17]:

$$\lambda = \frac{L_{\text{св}}}{h_{\text{св}}} \quad (5.1)$$

Для люмінесцентних ламп $\lambda=1,3-1,5$. Приймаємо 1,3.

З відношення визначаємо:

$$L_{\text{св}} = \lambda \cdot h_{\text{св}} = 1,3 \cdot 10 = 13;$$

При наявності біля стін робочих місць, визначаємо віддаль від крайнього ряду до стіни:

$$L_1 = 0,3L_{\text{св}} = 0,3 \cdot 13 = 3,9\text{м}; \quad (5.2)$$

Визначаємо віддаль між крайніми рядами по цеху:

$$L_2 = b - 2L_1 \quad (5.3)$$

Підставивши вихідні дані отримаємо:

$$L_2 = 18 - 2 \cdot 3,9 = 10,2 \text{ м};$$

Визначаємо кількість рядів, які можуть бути розміщені між крайніми рядами світильників по ширині:

$$n_{\text{св.ш}} = \frac{L_2}{L_{\text{св}}} - 1; \quad (5.4)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$n_{\text{св.ш}} = \frac{10,2}{13} - 1 = 0;$$

8) Загальна кількість рядів світильників складає:

$$n_{\text{св.заг}} = n_{\text{св.ш}} + 2; \quad (5.5)$$

Визначаємо кількість рядів:

$$n_{\text{св.заг}} = 0 + 2 = 2 \text{ ряди};$$

Визначаємо віддаль між крайніми рядами світильників по довжині:

$$L_3 = a - 2L_1; \quad (5.6)$$

$$L_3 = 42 - 2 \cdot 3,9 = 34,2 \text{ м};$$

Визначаємо кількість рядів світильників, які можна розмістити між крайніми рядами світильників по довжині:

$$n_{\text{св.довж.}} = \frac{L_3}{L_{\text{св}}} - 1; \quad (5.7)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$n_{\text{св.довж.}} = \frac{34,2}{13} - 1 = 2 \text{ ряди};$$

Визначаємо загальну кількість рядів світильників по довжині:

$$n_{\text{св.заг.довж}} = n_{\text{св.довж}} + 2; \quad (5.8)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$n_{\text{св.заг.довж}} = 2 + 2 = 4; \quad (5.9)$$

Визначаємо кількість світильників, які необхідно встановити в цеху:

$$n_{\text{св.заг.}} = n_{\text{св.заг.довж}} \cdot n_{\text{св.заг.}} = 2 \cdot 4 = 8; \quad (5.10)$$

По ширині b , довжині a , висоті $h_{\text{св}}$, визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{(a+b) \cdot h_{\text{св}}}; \quad (5.11)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$i = \frac{42 \cdot 18}{(42 + 18) \cdot 10} = 1,3;$$

Згідно ДБН визначаємо із індексу приміщення кількість використання світлового приміщення $\eta=0,62$ та коефіцієнт нерівномірного освітлення $Z=1,1$.

Визначаємо світловий потік однієї лампи:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{min} \cdot k \cdot z \cdot S_n}{n_{св.заг} \cdot \eta}; \quad (5.10)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$\Phi_{л} = \frac{200 \cdot 1,8 \cdot 1,1 \cdot 756}{8 \cdot 0,62} = 60358 \text{лм};$$

Визначаємо дійсну освітлюваність:

$$E_{дійсне} = \frac{\Phi \cdot n_{св.заг}}{k \cdot z \cdot S_n}; \quad (5.11)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$E_{дійсне} = \frac{6000 \cdot 8}{1,8 \cdot 1,1 \cdot 756} = 320 \text{лк}$$

Визначаємо потужність освітлювальної установки:

$$W_{с.у} = n_{св.заг} \cdot W_{л}; \quad (5.12)$$

Підставивши дані, отримаємо:

$$W_{с.у} = 8 \cdot 700 = 5600 \text{Вт};$$

По потужності освітлювальної установки визначаємо силу струму на яку повинна бути розрахована запобіжна вставка:

$$I_{заг} = 1,2 \cdot \frac{W_{с.у}}{v}; \quad (5.13)$$

Підставивши вихідні дані, отримаємо:

$$I_{\text{заг}} = 1,2 \cdot \frac{5600}{380} = 17,7 \text{ А};$$

5.2 Розрахунок захисного заземлення механічного цеху

Загальна споживана потужність обладнання механічного цеху 92 кВт, напруга мережі живлення 380 В.

Згідно ПУЕ допустимий опір заземлення електроустановки до 1000 В, що живиться від джерела живлення $P=100$ кВт повинен бути не більше 4 Ом.

Приймаємо $n=4$ штуки. R_0 - опір групи заземлювачів без врахування впливу полоси зв'язку, рівний по величині допустимому згідно ПУЕ опору заземлюючого пристрою збільшеного в (1,5-3) рази.

Опір розтікання струму прийнятої кількості електродів з врахуванням коефіцієнту їх використання $\eta_{\text{вс}} = 0,83$ [17].

Довжина полоси зв'язку для умов комбінованого заземлення:

Опір половини зв'язку розтікання струму в ґрунт:

$$R = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot k}{l_k} \lg \frac{2l_n^2}{b \cdot t_0}; \quad (5.14)$$

$$R = \frac{0,366 \cdot 40 \cdot 5}{15} \cdot \lg \frac{2 \cdot 15^2}{0,03 \cdot 0,8} = 20,8 \text{ Ом};$$

Опір розтіканню струму заземлюючого пристрою:

$$R_3 = \frac{R_0 \cdot R_n}{(R_0 + R_n)}; \quad (5.15)$$

$$R_3 = \frac{6,8 \cdot 20,8}{(6,8 + 20,8)} = 5,12 \text{ Ом};$$

Дане значення перевищує допустиму величину майже в 1,3 рази. Для того, щоб спроектований заземлювач існуючим вимогам ПУЕ треба збільшити кількість електродів, і тим самим зменшується коефіцієнт їх використання. Приймаємо $n=7$ штук, тоді:

$$R_g = \frac{22,6}{7 \cdot 0,76} = 4,25 \text{ Ом};$$

$$l_n = 5(7 - 1) = 30 \text{ м};$$

$$R_n = \frac{0,366 \cdot 40 \cdot 5}{30} \lg \frac{2 \cdot 30^2}{0,03 \cdot 0,8} = 11,9 \text{ Ом};$$

$$R_3 = \frac{4,25 \cdot 11,9}{(4,25 + 11,9)} = 3,13 \text{ Ом};$$

$$R_3 < R_g - \text{ умова виконується}$$

5.3 Стійкість роботи підприємства в надзвичайних ситуаціях

Цивільна оборона є складовою частиною соціальних та захисних заходів, які проводяться в мирний і воєнний час з метою захисту населення і народного господарства від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха і сучасних засобів ураження.

Цивільна оборона України організується за територіально-виробничим принципом на всій території і являє собою сукупність структур державного управління, підприємств, організацій і спеціально створених органів керівництва та сил цивільної оборони. Заходи цивільної оборони проводяться на всій території держави, як правило, з врахуванням особливостей кожного району. Кабінет Міністрів України постійно приділяє увагу розвитку цивільної оборони, підвищенню її ролі у захисті населення, підвищенню її

значення, визначає основні принципи її побудови, характер і обсяг завдань, що вирішуються. Територіальний принцип полягає в організації цивільної оборони на території областей, міст і районів, сільських місцевостей відповідно до адміністративного поділу території. Згідно з цим, відповідальність за стан цивільної оборони на цих територіях несуть виконавчі органи влади, а начальниками цивільної оборони, які безпосередньо здійснюють керівництво цивільною обороною є голови виконавчих органів влади.

Виробничий принцип полягає в організації цивільної оборони в кожній установі, підприємстві.

На цивільну оборону підприємства покладені такі основні обов'язки:

- оповіщення працівників та членів їх сімей при загрозі нападу, стихійного лиха і катастроф;
- забезпечення сховищами працюючої зміни, підтримка в сані постійної готовності захисних споруд і спеціальних споруд ЦО;
- проведення заходів, що забезпечують стійкість роботи об'єкту в мирний та воєнний час;
- створення, підготовка і підтримка в постійній готовності сил ЦО об'єкту.

Сучасний типовий комплекс промислового підприємства складають споруди і будівлі, в яких розміщуються виробничі цехи, верстатне і технологічне обладнання, будівлі енергетичного господарства, системи енергопостачання, інженерні і паливні комунікації, окремо розташовані технологічні установки, мережа внутрішнього транспорту, системи зв'язку і управління, складське господарство, різноманітні будівлі і споруди адміністративного, побутового і господарського призначення.

Принципами стійкості роботи промислового підприємства в надзвичайних ситуаціях є єдина нормативна і директивна база, яка включає:

- Конституцію України;
- Закон про цивільну оборону України;
- положення по цивільній обороні;

- нормативні документи по стійкості роботи об'єктів;
- директиви начальника штабу цивільної оборони України [18].

Під стійкістю роботи промислового підприємства розуміють їх можливість в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу виробляти продукцію в запланованому обсязі і номенклатурі, а при слабких пошкодженнях відновлювати виробництво в мінімальні терміни.

Стійкість роботи промислового підприємства складається із:

- 1) стійкості інженерно-технічного комплексу до дій зовнішніх факторів при аваріях, катастрофах, стихійному лихові, а також при застосуванні щодо них сучасної зброї;
- 2) стійкості виробничої діяльності.

Фактори, від яких залежить стійкість роботи об'єктів в надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу:

- 1) надійність захисту робітників і службовців;
- 2) безпечність розташування об'єкту відносно зон можливих зруйнувань;
- 3) можливість інженерно-технічного комплексу протистояти ударній хвилі будь-якого вибуху і уражаючим діям ядерної зброї;
- 4) безперервність постачання електроенергією, паливом, сировиною, газом і всім необхідним для випуску продукції;
- 5) надійність керування виробництвом, силами і засобами цивільної оборони;
- 6) підготовленість підприємства до поновлення виробництва і проведення рятувальних і інших невідкладних робіт [18].

Основними документами для організації дослідження стійкості роботи об'єкту є: наказ керівника підприємства; календарний план основних заходів по підготовці та проведенню дослідження; план проведення.

ВИСНОВКИ

В роботі обґрунтовано параметри технологічного процесу виготовлення кришки котла та запропоновано нове зварювальне устаткування, що дозволяють підвищити продуктивність та якість конструкції.

Досліджено вплив температури і параметрів навантаження і агресивних середовищ на напруження сколювання як одну з основних характеристик матеріалу. Збільшення попередньої пластичної деформації за комбінованого розтягу призводить до зростання напруження сколювання не залежно від температури деформування. Виявлено, що збільшенням розмаху напружень за комбінованого розтягу збільшує напруження сколювання у порівнянні з первісним матеріалом. Зазначимо, що напруження сколювання за статичного розтягу більше порівняно з комбінованим розтягом. Встановлено, що електролітичне наводнювання не впливає на напруження сколювання у випадку, коли метал спочатку деформують, а вже потім наводнюють.

Із зростанням густини дислокацій в малокутових границях, викликаним пластичним деформуванням, незалежно від умов ППД (виду навантаження, температури, пластичної деформації), збільшується напруження сколювання сталі 15X2МФА. Причому, більш істотно зростає напруження сколювання після деформування за температури 623К. Очевидно, це пов'язано з утворенням при ППД за вищої температури та участі процесів термічного повороту таких дислокаційних структур, які за однакової густини дислокацій в малокутових границях утворюють внутрішньозернову субструктуру, що відіграє роль додаткових бар'єрів здатних гальмувати мікротріщину.

Здійснено дослідження, які підтверджують успішність використання запропонованих інженерних рішень для ефективної реалізації вказаного технологічного процесу в практиці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://megavat.com.ua/>
2. <https://chat.openai.com/>
3. <http://www.splav-kharkov.com/>
4. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Технологія та устаткування зварювання плавленням» / М.І. Підгурський, Б.П. Татарин, І.Б. Окіпний, В.С. Сенчишин. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 95 с.
5. Ясній П.В. Пластично деформовані матеріали: втомна і тріщиностійкість. – Львів: Світ, 1998. – 292 с.
6. Hahn G.T., Hoagland R.G., Rosenfeld A.R. The variation of K_{Ic} with temperature and loading rate // Met.Trans.-1971.- 2, No2. – P.537-541.
7. І.В. Окіпний, Р.О. Марuschak, V.I. Zakiev, V.S. Mocharskyi. Fracture Mechanism Analysis of the Heat-Resistant Steel 15Kh2MFA(II) After Laser Shock-Wave Processing // Journal of Failure Analysis and Prevention. – 2014. – P. 668 – 674.
8. Yasniy P.V., Okipnyi I.V., Maruschak P.O., Panin S.V., Konovalenko I.V. Crack tip strain localisation on mechanics of fracture of heat resistant steel after hydrogenation // Theoretical and Applied Fracture Mechanic. – 2013. Vol. 63-64. - P. 63-68.
9. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник. – К.: Основа, 2021. – 400 с.
10. Костін О.М. Зварювальні матеріали: навч. посібник / О.М. Костін – Миколаїв: НУК, 2004. – 225 с.
11. Биковський, О.Г. Довідник зварника: довідник / О.Г. Биковський, І.В. Пінковський. - К.: Техніка, 2002. – 336 с.
12. <https://svartech.com.ua/>
13. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.

14. <https://novotest.ua/ultrazvukovye-tolshinometry/defektoskop-ultrazvukovoy-ud-1.html>
15. Кривов, Г.О. Виробництво зварних конструкцій: підручник для студентів вищих навчальних закладів / Кривов, Г.О., Зворикін, К.О. – К.:КВІЦ, 2012.-896 с.
16. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві / 2-ге видання, переробл. та доповн.: Навч. посібник.- К.: Арістей, 2006. - 272 с.
17. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві Навчальний посібник / О.Г. Левченко – К.: Основа, 2010. – 240 с.
18. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. Підручник. – К.: Знання, 2006 – 487с.

ДОДАТКИ