

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Розроблення технології автоматичного зварювання коробчастих балок в умовах ТЗОВ «Енергомонтажвентиляція»”**

Виконав: студент IV курсу групи Маш-41

Спеціальності 133 „Галузеве машинобудування”
(шифр і назва)

Богдан ОЛЕКСИН
(Ім'я та прізвище)

Керівник: Олексій ШВЕЦЬ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.

“ _____ ” _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Олексину Богдану Івановичу

1. Тема роботи: “ **Розроблення технології автоматичного зварювання коробчастих балок в умовах ТЗОВ «Енергомонтажвентиляція»** ”

Керівник роботи: Швець Олексій Петрович, к.т.н., в.о. доцента

Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 23.06.2023 року

3. Вихідні дані: паспорт підприємства, типові технології виготовлення зварних балок; літературні джерела за тематикою автоматизованого зварювання металоконструкцій; технічні характеристики зварювального та допоміжного обладнання; методики визначення економічної ефективності впровадження нової технології у виробництво.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз діяльності підприємства та доцільності впровадження нових технологій.

2. Розробка технології автоматичного зварювання коробчастих балок.

3. Аналіз конструкції обладнання для автоматизованого зварювання коробчастих балок.

4. Охорона праці.

5. Економічна ефективність проектних рішень.

Висновки і пропозиції;
Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу

1. Аналіз конструкцій коробчастої балки та технології її виготовлення
2. Технологічний процес автоматичного зварювання коробчастої балки
3. Загальний вигляд установки для автоматичного зварювання коробчастої балки
4. Робоче обладнання
5. Результати розрахунку економічної ефективності проектних рішень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Швець О.П. к.т.н., в.о. доц. кафедри машинобудування			
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри УПБВ			

7. Дата видачі завдання: 30.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	<i>Виконання розділу: «Аналіз діяльності підприємства та доцільності впровадження нових технологій»</i>	23.01.23-17.02.23	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Технологічна частина»</i>	20.02.23-17.03.23	
3.	<i>Виконання третього розділу: «Конструктивна частина»</i>	20.03.23-05.05.23	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці»</i>	08.05.23-26.05.23	
5.	<i>Виконання розділу: «Економічна ефективність проектних рішень»</i>	29.05.23-16.06.23	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому</i>	19.06.23-23.06.23	

Студент _____ Богдан ОЛЕКСИН
(підпис)

Керівник роботи _____ Олексій ШВЕЦЬ
(підпис)

Розроблення технології автоматичного зварювання коробчастих балок в умовах ТзОВ «Енергомонтажвентиляція»

Олексин Б.І. - Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023.

50 с. текст. част., 21 рис., 5 табл., 26 джерел.

Проведено аналіз діяльності підприємства, існуючих технологій виготовлення коробчастих балок та розглянуто конструкцію зварної коробчастої балки, яка використовується в металоконструкції будівель. Обґрунтовано вибір способу зварювання, вибрано зварювальні матеріали, розраховано параметри режиму зварювання. Розроблено маршрут на виробничий процес автоматизованого зварювання балки під шаром флюсу. Підібрано необхідний комплект обладнання та устаткування. Проаналізувано вимоги охорони праці під час автоматичного зварювання та розробили, визначили небезпечні фактори та запропонували шляхи підвищення безпеки праці. Розраховано затрати на виготовлення зварної балки за запропонованою технологією, визначено собівартість виробництва та обґрунтовано ефективність впровадження запропонованої технології.

ЗМІСТ

	ВСТУП	6
1	АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ	7
1.1	Коротка характеристика підприємства	7
1.2	Аналіз технології виготовлення коробчастих балок в одиночному виробництві	9
1.3	Опис та характеристика виробу	12
2	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ КОРОБЧАСТОЇ БАЛКИ	14
2.1	Обґрунтування вибору способу зварювання	14
2.2	Вибір зварювальних матеріалів	15
2.3	Вибір зварювального дроту	16
2.4	Вибір зварювального флюсу	17
2.5	Вибір типу зварного з'єднання	18
2.6	Розрахунок параметрів режиму зварювання	19
2.7	Устаткування для виконання технологічних операцій	22
2.8	Технологічний маршрут зварювання коробчастої балки	25
3	КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА	31
3.1	Конструкція складального стенда	31
3.2	Конструкція зварювальної установки	32
3.3	Конструктивні особливості зварювального візка	34
3.4	Конструктивні особливості ланцюгового кантувача	35
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	37
4.1	Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт	37
4.2	Моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків	39
4.3	Рекомендації щодо покращення безпеки праці	41

5	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ	42
5.1	Розрахунок технологічних норм часу на виконання процесу зварювання	42
5.2	Визначення собівартості виготовлення балки	43
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	47
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	48

ВСТУП

Метою даного дипломного проекту є розробка технології виготовлення за допомогою автоматичного зварювання під флюсом поздовжніх швів.

Предметом розробки є обладнання, спеціалізоване для виконання зварювання балок – зварювальний візок, кантувач, складальний стенд.

Виконання роботи має на меті закріплення, поглиблення, розширення та систематизацію теоретичних знань, а також набуття навичок та досвіду виконання конструкторських та технологічних розрахунків.

Зварювальне виробництво - комплексне виробництво, що включає в себе основні операції, (складання, зварювання та ін); допоміжні операції (транспортні, контрольні тощо). При здійсненні зварювальних операцій, у тому числі при застосуванні автоматизованих способів зварювання, виконуються допоміжні прийоми зі встановлення та кантування виробів під зварювання, зачищення кромки і швів, збирання флюсу, встановлення автомата спочатку шва, відведення автомата або переміщення виробу та ін. На виконання цих прийомів припадає в середньому 35% трудомісткості зварювальних операцій.

Відомо, що комплексна автоматизація зварювального виробництва має надзвичайно важливе значення, оскільки автоматизація лише самого процесу зварювання не може забезпечити високий рівень автоматизації зварювальних цехів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати специфіку виробничої діяльності підприємства;
- проаналізувати базовий варіант виготовлення балки;
- підібрати та обґрунтувати проектований спосіб зварювання;
- здійснити необхідні розрахунки режимів зварювання;
- вибрати та обґрунтувати зварювальне та складальне обладнання;
- розробити технологію збирання-зварювання балки;
- проаналізувати вимоги охорони праці під час зварювання;
- визначити економічну ефективність проектного рішення.

1 АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ТА ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Коротка характеристика підприємства

Товариство «Енергомонтажвентиляція» – це сучасне підприємство, яке надає послуги у сфері проектування, виготовлення та монтажу металоконструкцій різної складності. Воно також інтенсивно працює в галузі виконання генпідрядних робіт по будівництву будівель та споруд з металевими каркасами (склади, ангари, навіси, офісні центри, перекриття, металеві опори тощо).

Виробничі потужності підприємства розташовані за адресою: вул. Володимира Великого, 77 б, с. Сап'іжанка, Кам'янка-Бузький район, Львівська область.

Підприємство укомплектоване згідно штатного розпису: інженерно-технічними працівниками та виробничим персоналом, працівниками відповідних професій, які виконують роботи та експлуатують технологічне обладнання та устаткування підвищеної небезпеки. Всі працівники навчені та пройшли перевірку на знання вимог з охорони праці.

Для виконання і реалізації технологічних процесів під час виробництва різноманітних видів продукції та надання послуг на підприємстві створена матеріально-технічна база, підготовлені спеціалісти, розроблена та накопичена необхідна нормативна та технологічна документація.

В умовах «Енергомонтажвентиляція» виготовляються металоконструкції для будівництва, зокрема: швидкокомтованих складів; ангарів; металевих каркасів будівель різної складності; модульних будівель; виробничих



Рисунок 1.1 – Головний офіс підприємства

приміщень; навісів; парковок; АЗС. Також підприємство виготовляє металоконструкції з гнутих профілів, балок, ферм, шарнірів та інші елементів.



Рисунок 1.2 – Виробничі приміщення підприємства

На сучасному обладнанні підприємство виготовляє широкий асортимент гнутих профілів. Серед них:

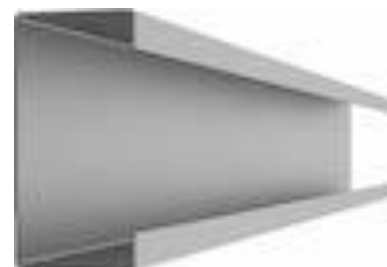
- «L кутник» (рис. 1.3,а), який застосовується в конструкціях вентилязованих фасадів, під час спорудження швидкокомтованих будівель, як стінний настил, ребра жорсткості, підсилюючий несучий елемент та для обрешітки при обшивці конструкцій;



а)



б)



в)

Рисунок 1.3 – Гнуті профілі

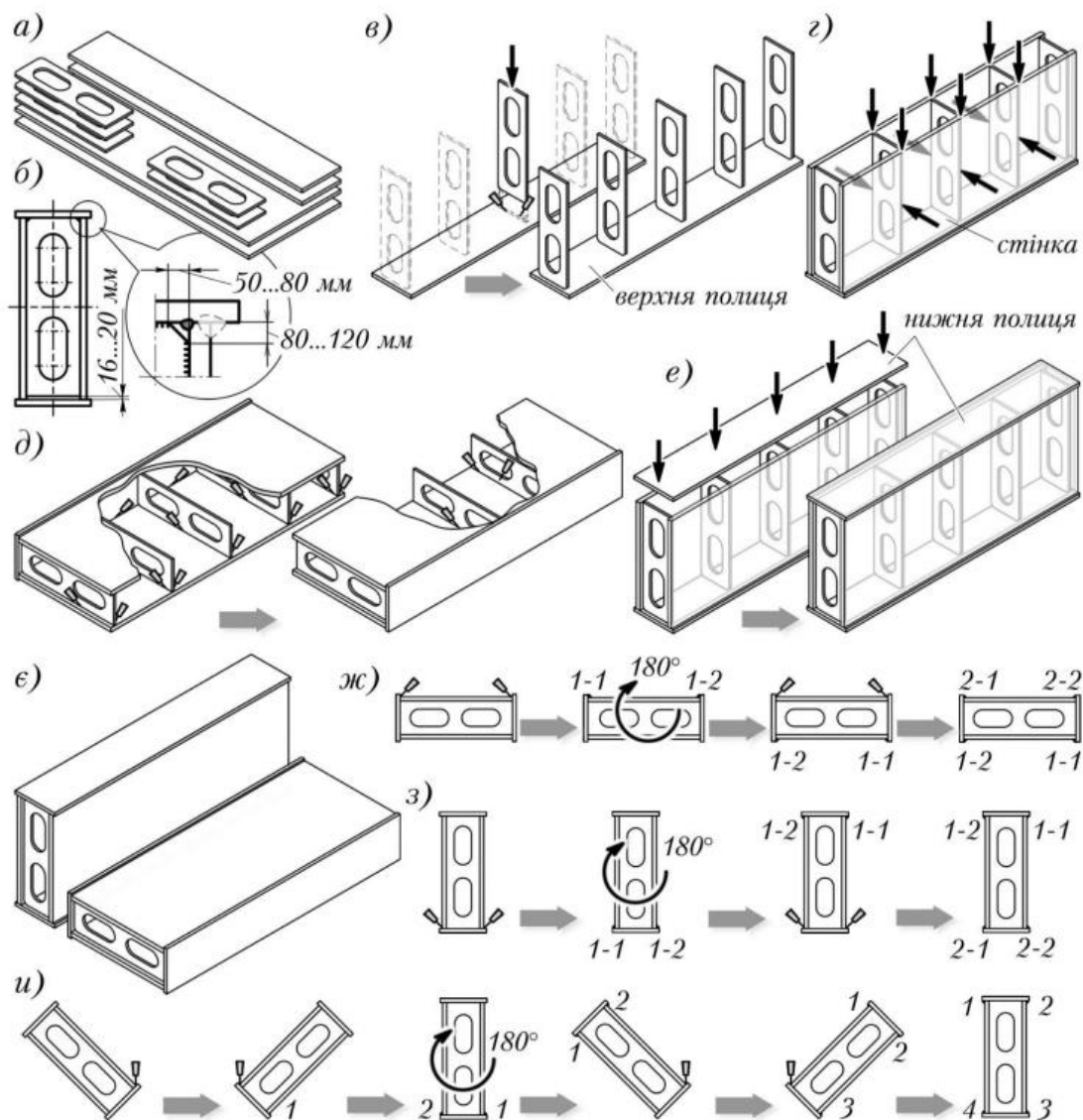
- «П-профіль» (рис. 1.3,б), який є одним з основних в конструкціях швидкокомтованих будівель і використовується як направляючі в панелях зовнішніх і внутрішніх стін, допоміжний елемент в балках перекриття, підвіконні перемички, елемент посилення в стінових прогонах, накладка на С-профіль;
- «С-профіль» (рис. 1.3,в), який є чудовою альтернативою масивним і важким двотавровим балкам, застосовується як стійки в панелях зовнішніх і внутрішніх стін, колони, балки перекриття, крокви, пояси і розкоси ферм перекриття і кроквяних ферм, стінові прогони, збірні посилені покрівельні прогони.

1.2 Аналіз технології виготовлення коробчастих балок в одиничному виробництві

В одиничному і малосерійному виробництвах виготовлення коробчастих балкових конструкцій зазвичай виконується за розміткою на стелажах з використання різних елементів складального оснащення. Типовий технологічний процес виготовлення коробчастих балок з листових елементів здійснюється в такій послідовності (рис. 1.4) [11, 16].

Спочатку на місце виготовлення коробчастої балки доставляються всі деталі, що входять до складу зварної конструкції (рис. 1.4, а). Часто через значну довжину коробчастої балки попередньо необхідно зробити з'єднання деталей стінок і полиць, що здійснюється зварюванням двобічним стиковим швом, який, як правило, виконується автоматичним дуговим зварюванням під флюсом (SAW). Потім на стелажі укладається верхня полиця, розмічаються, розставляються, прихоплюються і приварюються діафрагми (рис. 1.4, в). Після складання-зварювання верхньої стінки з діафрагмами (так званої «гребінки») встановлюються, притискаються до діафрагм та прихоплюються обидві бічні стінки коробчастої балки (рис. 1.4, г). Складена під зварювання конструкція кантується на 90° , встановлюється на одну із стінок і всередині конструкції кутовими швами діафрагми зварюються із стінками, спочатку з однією, а після кантування на 180° - з другою (рис. 1.4, д). Складання балки під зварювання

поясних швів завершується установленням і прихоплюванням нижньої полиці (рис. 1.4, е).



а - деталі балки; б - конструктивні особливості встановлення ребер жорсткості, в - установка ребер жорсткості на верхню полицю (складання-зварювання «гребінки»); г - установка (бічних) стінок; д - зварювання стінок з ребрами жорсткості; е - встановлення нижньої полиці (пояса); є - коробчасті балки, складені під зварювання поясних швів; ж, з, и - спосіб і послідовність зварювання поясних швів

Рисунок 1.4 – Схема виготовлення зварної балки коробчастого перерізу:

Зварювання поясних швів може здійснюватись як в положенні «в човник» (рис. 1.4, и, рис. 1.5), так і без обертання в положення «в човник». Можливість

зварювання поясних швів похилими електродами за горизонтального (рис. 1.4, є...ж) або за вертикального (рис. 1.4, є...з) положення стінки балки пов'язана з тим, що для коробчастих балок підріз поясного шва менш небезпечний, ніж для двотаврової балки, оскільки в балках коробчастого перерізу зосереджені зусилля передаються з полиці на стінку не безпосередньо, а головним чином, через поперечні діафрагми.



Рисунок 1.5 – Зварювання «в човник» поясних швів коробчастої балки

За необхідністю встановлення в двотавровій балці поздовжніх ребер жорсткості вони також складаються та прихоплюються за розміткою. Зазвичай поздовжні ребра жорсткості встановлюються і зварюються із стінками до установлення нижньої полиці. Однак якщо переріз балки дозволяє, якщо в діафрагмах (тобто поперечних ребрах жорсткості) звареної коробчастої балки є отвори достатніх розмірів, тоді деякі елементи жорсткості можуть встановлюватись під час виконання складально-зварювальних робіт усередині порожнини балки [13].

Для виготовлення коробчастих балок в одиничному виробництві зазвичай використовуються потокові лінії. Характерною особливістю потокової лінії складання-зварювання головних балок коробчатого перерізу є застосування зварювальної установки, у якій є встановлені попарно на траверсах чотири головки для зварювання вертикальних швів (для механізації зварювання діафрагм внутрішніми швами використовується спосіб зварювання

вертикальних швів у вуглекислому газі з примусовим формуванням металу швів). У кожній зварювальній головці є копіювальні ролики і зварювальні головки розміщуються так, що одночасно здійснюється зварювання однобічними швами двох діафрагм до двох стінок. При цьому для зниження рівня залишкових зварювальних деформацій обидва шва, що з'єднують діафрагму із стінкою, розташовуються з протилежних боків щодо діафрагми.

1.3 Опис та характеристика виробу

Зварна балка закритого перерізу складається з двох полиць та двох боковин (рис. 1.6). Вона має наступні габаритні розміри: 4622x218x320

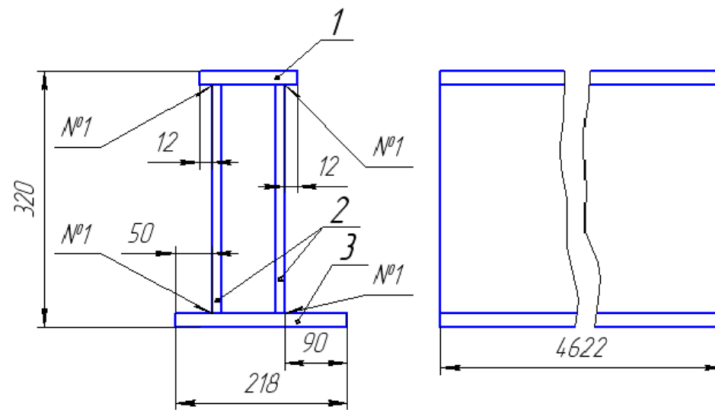


Рисунок 1.6 – Ескіз зварної коробчастої балки

Таблиця 1.1 – Специфікація зварної коробчастої балки

№ поз.	Найменування		Розміри	Кількість, шт.	Маса, кг
1	Полиця		4622x102x15	1	92,2
2	Боковина		4622x290x10	2	208,4
3	Полиця		4622x218x15	1	249,2

Зварні коробчасті балки, які використовуються в конструкціях будівель, мостів тощо можуть піддаватися знакозмінним несиметричним динамічним навантаженням. Тому основним матеріалом, який використовується для їх виготовлення є сталь 10Г2С1.

Сталь 10Г2С1 за ДСТУ 8541 –це конструкційна низьколегована сталь, яка застосовується для виробництва деталей та елементів зварних конструкцій, які працюють за температур від -70°C до $+425^{\circ}\text{C}$ за умови виникнення знакозмінних навантажень і тисків.

Дана сталь зварюється без обмежень та не схильна до появи відпускнуї крихкості. Для виконання технологічних процесів можуть застосовуватись такі способи зварювання: РДЗ, МДЗ в середовищі захисних газів, АДЗ під флюсом та в захисних газах, ЕШЗ.

Хімічний склад сталі 10Г2С1 за ДСТУ 8541 наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад сталі 10Г2С1

Хімічний елемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	N	As	Cu
Вміст, %	Не більше 0,12	Від 0,5 до 0,9	Від 1,3 до 1,7	Не більше 0,09	Не більше 0,035	Не більше 0,3	Не більше 0,3	Не більше 0,008	Не більше 0,08	Не більше 0,3

Сталь 10Г2С1 згідно з ДСТУ 8541 має наступні механічні властивості:

- межа міцності, $\sigma_{\text{в}} = 485 \text{ МПа}$;
- межа текучості, $\sigma_{\text{т}} = 320 \text{ МПа}$;
- відносне видовження, $\delta = 21 \%$;
- ударна в'язкість КСУ за температури: $+ 20^{\circ}\text{C} - 3,5 \text{ МДж/м}^2$;
- $40^{\circ}\text{C} - 0,6 \text{ МДж/м}^2$;
- $70^{\circ}\text{C} - 0,3 \text{ МДж/м}^2$.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ КОРОБЧАСТОЇ БАЛКИ

2.1 Обґрунтування вибору способу зварювання

Для виконання кутових швів коробчастої балки у зв'язку з високими вимогами до якості виробу, протяжністю швів та масовістю виробництва слід розглядати механізовані або автоматичні способи зварювання. В нашому випадку можливим є застосування наступних способів зварювання: механізованого дугового зварювання плавким електродом у захисних газах, автоматизованого дугового зварювання під флюсом, автоматизованого дугового зварювання у захисних газах.

Механізоване дугове зварювання плавким електродом у захисних газах характеризується універсальністю процесу, можливістю зварювання у всіх просторових положеннях, на виробах складної геометричної форми без застосування будь-яких спеціальних пристроїв. Після зварювання не потребує виконання очистки від шлакової кірки, що збільшує його продуктивність.

Однак продуктивність обмежується діапазоном зварювального струму. Збільшення струму призводить до більш сильного розбризкування наплавленого металу та погіршення формування шва. Крім того, даний спосіб зварювання характеризується досить високою швидкістю охолодження металу, що несприятливо впливає на сталій, схильні до утворення холодних тріщин.

У нашому випадку виконання швів, довжиною 4622 мм зварювальником механізованим способом не доцільне як з погляду продуктивності, так із погляду стабільності якості шва.

Автоматизоване дугове зварювання під флюсом не настільки універсальне з огляду позиції виконання зварювання в різних просторових положеннях, однак для зварювання у нижньому просторовому положенні застосовується дуже широко. Порівняно з механізованим дуговим зварюванням в захисних газах, автоматичне дугове зварювання під флюсом характеризується більш високою продуктивністю, мінімальним (0,5 – 3%) коефіцієнтом втрат

електродного металу, надійнішим захистом зони зварювання, забезпечує металургійну обробку металу шва під час зварювання [3, 10]. Крім того, скрите горіння дуги дозволяє уникнути застосування будь-яких додаткових засобів захисту зварювальника від її теплового та світлового випромінювання, бризок та можливих виплесків металу зварювальної ванни. Невисока швидкість охолодження дозволяє отримати сприятливу структуру металу. Зварювання на підвищених режимах дозволяє виконати шов при значних товщинах металу за один прохід.

Автоматизоване дугове зварювання в захисних газах має ті ж недоліки, що й механізоване дугове зварювання в захисних газах (крім використання ручної праці). Продуктивність при цьому способі зварювання на рівні автоматизованого дугового зварювання під флюсом, але при цьому не потрібно проводити зачищення виробу від шлакової кірки. Слід враховувати, що під час застосуванні автоматизованого дугового зварювання в захисних газах відбувається вигорання елементів, чого можна уникнути при використанні автоматизованого дугового зварювання під флюсом [10, 12].

Виходячи з усього перерахованого вище, для зварювання коробчастої балки пропонується вибрати автоматизоване дугове зварювання під флюсом. Для якісного формування шва зварювання буде виконуватися в положенні «в човник» згідно ДСТУ 2092-92 Це дозволить отримати симетричний шов, що дуже важливо для виробів, які працюють за знакозмінних динамічних навантаженнях.

2.2 Вибір зварювальних матеріалів

На механічні та фізико-хімічні властивості металу шва істотно впливає його хімічний склад. Тому для отримання властивостей, які задовольняють вимогам надійності конструкції під час експлуатації, дуже важливим є правильний вибір зварювальних матеріалів. Відповідно до цього, першою умовою під час вибору зварювальних матеріалів є отримання щільних безпористих швів. Другою умовою для вибору зварювальних матеріалів є

отримання металу шва, який володіє високою технологічною міцністю, тобто не схильного до утворення гарячих тріщин. Третьою умовою є одержання металу шва, який має необхідну експлуатаційну міцність. І останньою умовою є одержання металу шва, який володіє комплексом спеціальних заходів (наприклад, висока корозійна стійкість, жароміцність).

В нашому випадку, під час зварювання коробчастої балки жодних спеціальних вимог до металу шва не висувається.

2.3 Вибір зварювального дроту

Вибір марки електродного дроту для зварювання – це один з головних елементів розробки технології автоматизованого дугового зварювання під флюсом.

Хімічний склад електродного дроту визначає склад металу шва, а отже його механічні властивості. Для зварюванні сталі 10Г2С1 можна використовувати такі марки дроту, як Св-08А, Св-08ГС за [7].

Дріт Св-08А призначений для зварювання (наплавлення) виробів з вуглецевих конструкційних сталей у захисних газових сумішах та для зварювання під флюсом. Він забезпечує високі зварювально-технологічні властивості, стабільність механічних властивостей металу шва та надійність зварних з'єднань. Однак, під час зварювання відповідальних навантажених конструкцій основним завданням є забезпечення рівноміцності металу шва основному металу. При використанні ж цього дроту механічні властивості шва будуть нижчими, ніж механічні властивості основного металу, оскільки він не має у своєму складі кремнію, який впливає на характеристики міцності зварного з'єднання.

Дріт Св-08ГС має схожий хімічний склад з основним металом, що забезпечить рівноміцність зварного шва з основним металом. Він також гарантує високі зварювально-технологічні властивості, стабільність механічних властивостей металу шва та надійність зварних з'єднань. З цих міркувань для зварювання балки ми пропонуємо застосовувати дріт Св-08ГС.

Хімічний склад зварювального дроту Св-08ГС наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад зварювального дроту Св-08ГС

Хімічний елемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Вміст, %	До 0,1	До 0,85	Від 0,35 до 0,6	Не більше 0,025	Не більше 0,03	До 0,2	До 0,25

2.4 Вибір зварювального флюсу

Для зварювання сталей слід застосовувати флюси, які задовольняють наступні основні вимоги: забезпечення стійкості процесу зварювання, відсутність кристалізаційних тріщин і пор у шві, забезпечення необхідних механічних властивостей металу шва, хороше формування шва, легке відокремлення шлакової кірки, мінімальне виділення шкідливих газів під час зварювання, низька вартість флюсу. Найбільш повно цим вимогам відповідають плавлені низькокремністі слабоокислювальні флюси марок: АН-22, АН-47, АН-67.

Під час зварювання низьколегованих сталей із застосуванням флюсів АН-22, АН-67 забезпечується необхідний рівень механічних властивостей, проте існує ряд істотних технологічних недоліків: незадовільно формуються шви, утруднене видалення шлакової кірки з поверхні швів, шви мають підвищену пористість.

Уникнути перерахованих недоліків можливо, якщо використовувати для зварювання флюс АН-47, який забезпечує більш якісне формування швів, легке відділення шлакової кірки, високу стійкість швів проти кристалізаційних тріщин. Високі зварювально-технологічні властивості флюсу АН-47 забезпечуються введенням до його складу поряд з оксидами Al_2O_3 , ZrO_2 оксиду

TiO₂, який знижує інтенсивність виділення летких фторидів при зварюванні, зменшує вміст кисню у металі шва.

Вибране поєднання зварювального дроту та флюсу гарантує виконання всіх вимог щодо механічних та фізико-хімічних властивостей, а також вимог надійності конструкції під час експлуатації.

2.5 Вибір типу зварного з'єднання

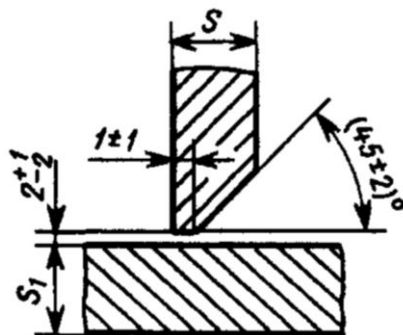
У більшості конструкцій зварних сталевих балок застосовується тип зварного з'єднання T1. Однак цей тип з'єднання має деякі недоліки, зокрема:

- велика частка використання основного металу, що дає високий вміст вуглецю в металі шва, а отже схильність металу шва до утворення холодних тріщин;

- конструктивний надріз і неповне проплавлення, які неприпустимі для конструкцій, які працюють при динамічних знакозмінних навантаженнях.

Зважаючи на конструктивні особливості виробу виконати двосторонній шов не є можливим.

Виходячи з усього перерахованого вище, для забезпечення наскрізного проплавлення і провару кореня шва, пропонується замінити тип з'єднання T1 на нестандартний шов за типом T7 за ДСТУ EN ISO 9692-2:2014, з мінімальним зазором між зварюваними полицею і боковиною і максимальним притупленням скосу кромки. Це дозволить уникнути пропалів.



$$s_1 \geq 0,5 s$$

Рисунок 2.1 – Ескіз зварного з'єднання T7

2.6 Розрахунок параметрів режиму зварювання

Режимом зварювання називають сукупність основних характеристик зварювального процесу, які забезпечують отримання зварних швів заданих розмірів, форми та якості. При дуговому зварюванні такими характеристиками є зварювальний струм, напруга на дузі, діаметр електрода, швидкість зварювання та інші.

Першою умовою при виборі режиму зварювання є отримання швів з оптимальними розмірами і формою, які забезпечують як високу технологічну міцність, так і високі експлуатаційні характеристики, тобто такі, що забезпечують хороше формування шва. Другою умовою вибору раціонального режиму зварювання є забезпечення такого термічного циклу, який забезпечував би оптимальні властивості зони термічного впливу та металу шва.

Розрахунок режимів зварювання та розмірів шва для автоматичного зварювання під флюсом виконується за методикою [21].

Вихідні дані для розрахунків:

Товщина полиці, $S_l = 15$ мм;

Товщина боковини $S = 10$ мм;

Кут скосу кромки $\alpha = 45^\circ \pm 2$;

Притуплення кромки $c = 2 \pm 0,5$ мм;

Зазор, $b = 0,5-0,5$ мм;

Ширина шва, $e = 14$ мм;

Висота підсилення, $g = 2$ мм;

Діаметр електродного дроту вибираємо за таблицею 2.2 [21].

Таблиця 2.2 - Обмеження $d_{e,d}$ при дуговому зварюванні під флюсом

Діаметри електродного дроту (мм) при зварюванні	
автоматичне	механізоване
1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6	1,6; 2

Визначаємо загальну площу наплавленого металу та вихідні геометричні параметри зварного шва:

$$F_n = F_1 + F_2 + F_3 \quad (2.1)$$

де F_1 – площа наплавленого металу, мм^2 ;

F_2 – площа обробки, мм^2 ;

F_3 – площа зазору, мм^2 .

$$F_1 = 0,73 \cdot e \cdot g \quad (2.2)$$

$$F_1 = 0,73 \cdot 14 \cdot 2 = 20,44 \text{ мм}^2$$

$$F_2 = f^2/2 \cdot \text{tg}\alpha \quad (2.3)$$

де $f = S - c \quad (2.4)$

$$f = 10 - 2 = 8 \text{ мм}$$

$$F_2 = 8^2/2 \cdot \text{tg}45 = 32 \text{ мм}^2$$

$$F_3 = S \cdot b \quad (2.5)$$

$$F_3 = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ мм}^2$$

$$F_n = 20,44 + 32 + 5 = 57,44 \text{ мм}^2$$

Визначаємо вихідну глибину проплавлення, мм:

$$h_p = 0,7 \cdot S - 0,5 \cdot b \quad (2.6)$$

$$h_p = 0,7 \cdot 10 - 0,5 \cdot 0,5 = 6,75 \text{ мм}$$

Розрахуємо діаметр зварювального дроту:

$$d_{ed} = F_n \cdot K_d \quad (2.7)$$

$$d_{ed} = (0,036 \dots 0,16) \cdot 57,24 = 2,06 \dots 9,16 \text{ мм}$$

$$K_d = 0,036 \dots 0,16 \text{ [19].}$$

З отриманого розрахункового діапазону, та згідно табл. 2.2 вибираємо $d_{ed} = 4 \text{ мм}$.

Визначимо величину зварювального струму, А:

$$I_{зв} = h_p / K_h \cdot 100 \quad (2.8)$$

де K_h – коефіцієнт пропорційності, величина, яка залежить від умов виконання зварювання. Приймаємо $K_h = 11$ [19].

$$I_{зв} = 6,75 / 1,1 \cdot 100 = 614 \text{ А}$$

Приймаємо значення зварювального струму $I_{зв} = 615 \text{ А}$.

Розрахуємо коефіцієнт наплавлення, $\text{г} \cdot \text{А} / \text{год}$:

$$\alpha_n \approx \alpha_n = 6,8 + 0,0702 \cdot I_{зв} \cdot d_{ed}^{(-1,505)}, \text{ г} \cdot \text{А} / \text{год} \quad (2.9)$$

$$\alpha_n \approx \alpha_n = 6,8 + 0,0702 \cdot 615 \cdot 4^{(-1,505)} = 12,16, \text{ г} \cdot \text{А} / \text{год}$$

Визначаємо виліт електрода, мм:

$$l_e = 10 \cdot d_{e0} \pm 2 \cdot d_{e0} \quad (2.10)$$

$$l_e = 10 \cdot 4 \pm 2 \cdot 4 = 40 \pm 8 \text{ мм}$$

Розраховуємо швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_H \cdot I_{зв}}{3600 \cdot \rho \cdot F_H} \quad (2.11)$$

де ρ - щільність металу (для вуглецевих і низьколегованих сталей $\rho = 7,82$);

F_H - площа наплавленого металу, см^2 .

$$V_{зв} = \frac{12,16 \cdot 615}{3600 \cdot 7,82 \cdot 0,57} = 0,48 \text{ см/с} = 17,3 \text{ м/год}$$

Приймаємо $V_{зв} = 17 \text{ м/год}$.

Визначаємо величину напруги дуги, В:

$$U_d = 20 + (0,05 / d^{0,5}) \cdot I_{зв} \quad (2.12)$$

де d - діаметр електродного дроту, мм.

$$U_d = 20 + (0,05/40,5) \cdot 615 = 35,38 \text{ В}$$

Приймаємо напругу на дузі $U_d = 35 \text{ В}$.

Розраховуємо швидкість подачі дроту м/год:

$$V_d = \frac{4 \cdot V_{зв} \cdot F_H (1 + 0,01 \cdot \psi)}{\pi \cdot d_{ед}^2} \quad (2.13)$$

$$V_d = \frac{4 \cdot 17 \cdot 57,44 \cdot (1 + 0,01 \cdot 1,9)}{3,14 \cdot 4^2} = 80 \text{ м/год}$$

Розраховуємо погонну енергію, Дж/см:

$$V_d = \frac{I_{зв} \cdot U_d \cdot \eta}{V_{зв}} \quad (2.14)$$

$$V_d = \frac{615 \cdot 35 \cdot 0,85}{0,48} = 38117 \text{ Дж/см}$$

Розраховуємо щільність струму, А/мм²:

$$j = \frac{4 \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_{ед}^2} \quad (2.15)$$

$$j = \frac{4 \cdot 615}{3,14 \cdot 4^2} = 50 \text{ А/мм}^2$$

При щільності струму менше 120 А/мм² у електрода більшого діаметра глибина проплавлення зменшується та знижується ризик пропалу.

Коефіцієнт форми проплавлення:

$$\psi_{пр} = K' \cdot (19 - 0,01 \cdot I_{зв}) \cdot \frac{d_e \cdot U_d}{I_{зв}} \quad (2.16)$$

де K' - коефіцієнт, при значенні $j > 120$ А/мм² $K' = 0,92$, при значенні $j \leq 120$ А/мм² розраховується за формулою:

$$K' = 0,367 \cdot j^{0,1925} \quad (2.17)$$

$$K' = 0,367 \cdot 50^{0,1925} = 0,77$$

$$\psi_{\text{пр}} = 0,77 \cdot (19 - 0,01 \cdot 615) \cdot \frac{4 \cdot 35}{615} = 3,2$$

Перевірка глибини проплавлення, мм:

$$h = 0,076 \sqrt{\frac{q_n}{\psi_{\text{пр}}}} \quad (2.18)$$

$$h = 0,076 \sqrt{\frac{38117}{3,2}} = 6,1 \text{ мм.}$$

При товщині боковини $S = 10$ мм і скосі кромки під кутом $\alpha = 45^\circ \pm 2$ глибина проплавлення є достатньою.

2.7 Устаткування для виконання технологічних операцій

Для виконання складальних операцій в якості джерело живлення вибираємо зварювальний напівавтомат TeslaWeld MIG/MAG/MMA 500.



Рисунок 2.2 – Зварювальний напівавтомат TeslaWeld MIG/MAG/MMA 500.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики зварювального напівавтомата TeslaWeld MIG/MAG/MMA 500

Зварювальний струм макс. (MIG/MAG), А	500
Зварювальний струм мін. (MIG/MAG), А	40
Робоча напруга на дузі (MIG/MAG), В	16 - 39
Механізм подання дроту	виносний
Кількість ведучих роликів / Усього роликів	2/4
Діаметр дроту, мм	0.8 - 1.0 - 1.2 - 1.6
Маса котушки для зварювального дроту, кг	15
Діаметр котушки зварювального дроту, мм	300
Швидкість подачі дроту, м/хв	1.5 - 24
Напруга холостого ходу (MIG/MAG), В	70
Напруга мережі живлення, В	380
Частота мережі живлення, Гц	50/60
Струм споживання (MIG/MAG), А	37
Споживана потужність (MIG/MAG), кВт	22.9
Вага, кг	62
Розміри (ДхШхВ), мм	640x330x620

До складу установки для автоматичного зварювання балки вибираємо джерело живлення на базі інвертора PowerWave AC/DC 1000 (рис. 2.3) [26].



Рисунок 2.4 – Джерело живлення PowerWave AC/DC 1000

PowerWave AC/DC 1000 є джерелом зварювального струму, яке інтегрує систему управління формою хвилі (епюрою) зварювального струму (Wave form Technology TM) з процедурою зварювання під флюсом, включаючи і багатодугове зварювання. Воно дозволяє виконувати зварювання як на постійному струмі будь-якої полярності, так і на змінному струмі (синусоїдальний або прямокутної форми хвилі) без будь-яких додаткових переобладнань.

Джерело зварювального струму PowerWave AC/DC 1000 збудоване на базі інвертора з дуже високим ККД (85%, при коефіцієнті перетворення 95%) та оснащений цифровим керуванням, що дозволяє керувати формою зварювального струму за дуже складним законом у реальному масштабі часу. Джерело дозволяє регулювати частоту та амплітуду, задавати параметри змінної та постійної складових зварювального струму, чим досягається глибоке керування процесом зварювання. Саме за допомогою цих параметрів оптимізується зварювальний процес, точно контролюється величина наплавлення, глибина проплавлення та швидкість ведення шва.

Завдяки модульній конструкції джерела одна дуга може живитися від декількох паралельно включених джерел - у тих випадках, коли потрібно струм більше 1000 ампер при 100% ПВ [26].

При зварюванні багатьма дугами кожна дуга може живитися постійним або змінним струмом, незалежно від інших дуг, а зсув фаз та вихідна частота зварювального струму різних джерел легко синхронізуються за допомогою системного інтерфейсу. Таким чином вдається досягти високої продуктивності зварювальних процедур та їх високої стабільності, суттєво розширюючи область застосування зварювання під флюсом.

Для сполучення з пультом керування, контролерами та іншими периферійними пристроями використовуються цифрові інтерфейси Arc Link та Device Net.

Для програмування форми хвилі зварювального струму, діагностики та конфігурування системи, а також для моніторингу виробництва система може

підключатися до комп'ютера через мережу Ethernet. Для тих же цілей можуть використовуватися стандартні послідовні та ГЧ-порти.

Під час налаштування зварювального процесу, а при необхідності й у процесі виконання зварювання виробів усі зварювальні параметри можуть змінюватися по ходу процесу. При цьому, перелік параметрів, що змінюються, і межа їх зміни можуть бути примусово обмежені.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики джерела живлення

Параметр	Значення
Номінальний зварювальний струм, А	1000
Номінальний режим роботи (ПН), %	100
Номінальна напруга мережі живлення, В	380/400/460/500/575
Межі регулювання зварювального струму, А	10-1000
Номінальна робоча напруга, В	44
Габаритні розміри мм	1250x488x1174
Маса, кг	не більше 363
Число фаз	3

2.8 Технологічний маршрут зварювання коробчастої балки

005 Комплектування

Виконати комплектування деталей для складання згідно специфікації:

Поз.1 Полиця 4622x102x15 - 1 шт.

Поз.2 Полиця 4622x218x15 - 1 шт.

Поз.2 Боковина 4622x290x10 – 2 шт.

010 Вхідний контроль

1. Виконати контроль геометричних розмірів деталей. Відхилення подовжині виробу не більше 2 мм, по ширині виробу не більше 1 мм.

2. Виконати контроль геометричних розмірів скосу кромки згідно рисунку 2.1, однаковий розмір притуплення $2^{+0,5}$ мм по всій довжині деталі.

015 Зачистка

Виконати зачистку поверхні під складання та зварювання від окалини, іржі, бруду, мастил згідно з рисунком 2.5 (зачищати ділянки, виділені товстою лінією):

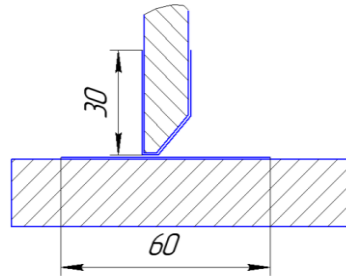


Рисунок 2.5 – Ділянки зачистки заготовок

Інструмент: пневмошліфувальна машина ПП-2106А.

020 Контроль

Виконати контроль якості зачистки поверхні зовнішнім оглядом. Наявність забруднень, іржі, мастила не допускається.

025 Складання

1. Встановити полицю поз.1 на складальний стенд по упорах.
2. Встановити боковини поз. 3 на полицю поз.1 по напрямних згідно рисунку 2.6.
3. Встановити між боковин знімні діафрагми.
4. Зафіксувати боковини за допомогою пневматичних притискачів.

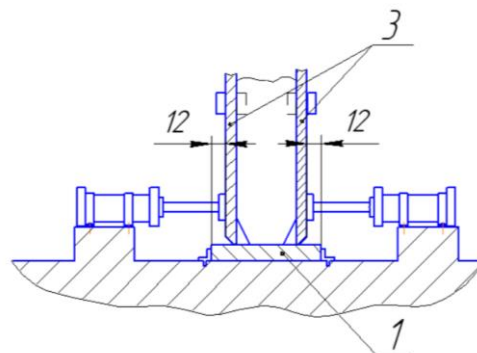


Рисунок 2.6 – Встановлення боковин на полицю поз.1

5. Виконати прихватки боковин з полицею (поз. 1). Довжина прихватки 50 ± 2 мм, відстань між прихватками 200 ± 2 мм. Відстань від краю до першої прихватки не менше 200 ± 1 мм.

Обладнання: кран цеховий, зварювальний апарат TeslaWeld MIG/MAG/MMA 500 EVOLUTION, щиток РНЕ-3 ГОСТ 12.4.035-78, Рукавиці Тр типу ЕГОСТ 12.4.010-75;

Матеріали: дріт зварювальний Св-08Г2С $d=1,6$ мм ГОСТ 2246-75, захисна суміш К18 за ТУ 2114-004-00204760-99;

Параметри режиму: $V_{но} = 50$ м/год, $U_{зв} = 24$ В; $I_{зв} = 200$ А.

6. Звільнити заготовку від пневматичних притискачів, видалити знімнідіафрагми.

7. Кантувати заготовку.

8. Встановити полицю поз.2 на складальний стенд по упорах.

9. Встановити заготовку по напрямних на полицю поз. 2 згідно з рисунком 2.7.

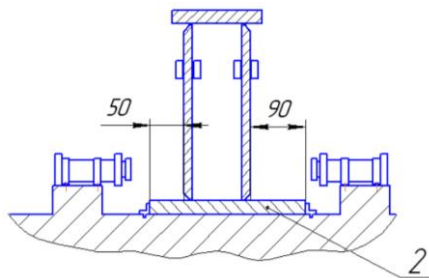


Рисунок 2.7 – Встановлення заготівлі на полицю поз.3

10. Повторити операцію 025.5

11. Зняти заготовку зі складального стенду.

Обладнання: кран цеховий, зварювальний апарат TeslaWeld MIG/MAG/MMA 500 EVOLUTION, щиток РНЕ-3 ГОСТ 12.4.035-78, Рукавиці Тр типу Е ГОСТ 12.4.010-75;

Матеріали: дріт зварювальний Св-08Г2С $d=1,6$ мм ГОСТ 2246-75, захисна суміш К18 за ТУ 2114-004-00204760-99;

Параметри режиму: $V_{но} = 50$ м/год, $U_{зв} = 24$ В; $I_{зв} = 200$ А.

030 Зачистка

Виконати зачистку прихваток та поверхні заготовки від бризок.

Інструменти: шабер; молоток 7850-0122 Ц 15 ГОСТ 2310-77; пневмошліфувальна машина ПП-2106А.

035 Контроль

Виконати контроль якості виконання прихваток зовнішнім оглядом.
Наявність дефектів та забруднень не допускається.

040 Транспортна

Перемістити заготовку зі складального стенду до кантувача.

Обладнання: цеховий кран.

045 Слюсарна

1. Встановити заготовку в кантувач. Зафіксувати її на ланцюгах кантувача.

Обладнання: цеховий кран.

2 Встановити заготовку в положення «в човник» за допомогою зварювального кантувача для виконання шва №1 згідно з рисунком 2.9. Схема накладання швів згідно з рисунком 2.8.

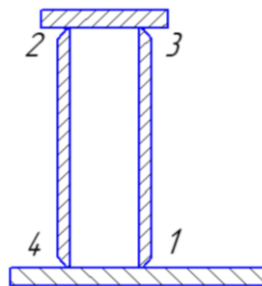


Рисунок 2.8 – Порядок накладання швів

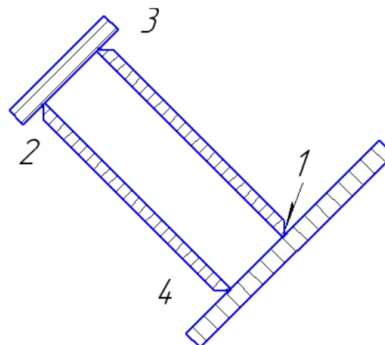


Рисунок 2.9 – Положення заготовки під час зварювання шва №1

Обладнання: ланцюговий зварювальний кантувач.

3. Під час виконання швів №2-4 встановити флюсоутримувальний пристрій згідно з рисунком 2.10.

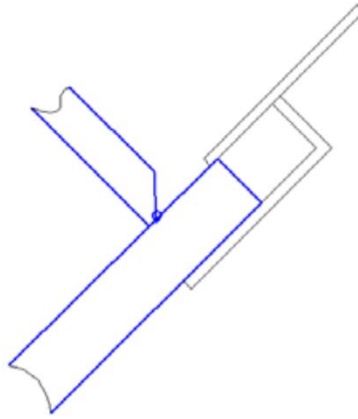


Рисунок 2.10 – Флюсоутримувальний пристрій

050 Зварювання

1. Виконати автоматизоване дугове зварювання під флюсом шва №1 Т7 за [4, 11].

Параметри режиму: $I_{зв} = 615$ А; $U_{зв} = 35$ В; $V_{зв} = 17$ м/год; $V_{нд} = 80$ м/год; $d_{др} = 4$ мм.

Обладнання: зварювальний візок велосипедного типу ВТ-1, зварювальний апарат PowerWave AC/DC 1000, щиток РНЕ-3 ГОСТ 12.4.035-78, Рукавиці Тр типу Е ГОСТ 12.4.010-75.

Матеріали: зварювальний дріт Св-08Г2С $d=4$ мм згідно з ДСТУ ISO 14171:2008;

Флюс зварювальний АН-47 згідно з ДСТУ EN ISO 14174:2015.

055 Кантування

Виконати кантування заготовки у положення для зварювання шва №2. Схема кантування згідно з рисунком 2.11.

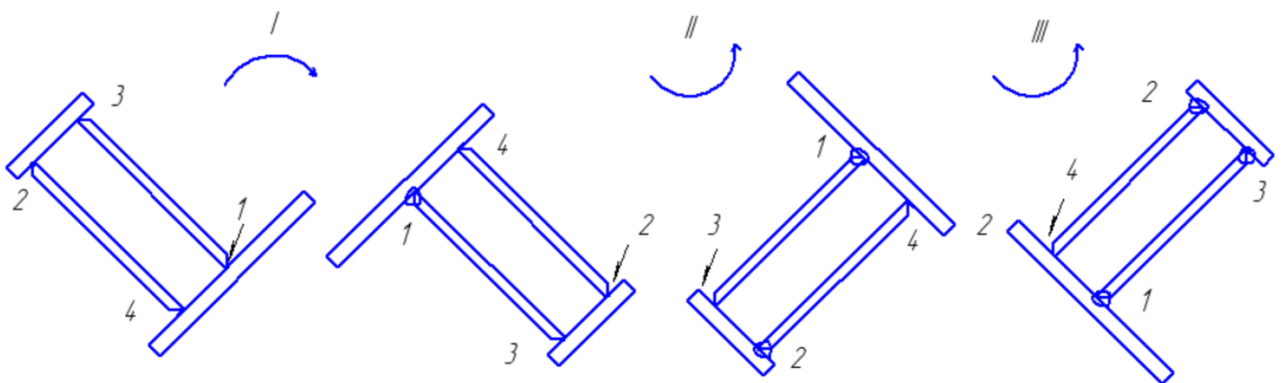


Рисунок 2.11 – Схема кантування

Обладнання: зварювальний кантувач КЦР-8.

060 повторити операцію 050

065 повторити операцію 055

070 повторити операцію 050

075 повторити операцію 055

080 повторити операцію 050

085 Зачистка

Виконати зачищення швів від шлакової кірки.

Інструменти: шабер; молоток 7850-0122 Ц 15 ГОСТ 2310-77; пневмошліфувальна машина ПП-2106А; окуляри захисні ГОСТ 12.4.010-75; респіратор РМП-62 ТУ 1-01-0517-78.

090 Контроль

1. Виконати контроль геометричних параметрів зварного шва.

Інструменти: косинець УШ-2-250 ГОСТ 3749-77; лінійка 300мм ГОСТ 427-75; набір катетомірів;

2. Виконати контроль геометричних параметрів виробу згідно з рисунком 1.6. Відхилення від розмірів по ширині та висоті виробу не більше 1 мм, довжині трохи більше 2 мм.

3. Виконати ультразвуковий контроль зварних швів обсягом 100%.

Схема контролю згідно з рисунком 21.

Обладнання: пневмошліфувальна машина ПП-2106А; ультразвуковий дефектоскоп УД 2-12; пензлик.

Матеріали: рідина пропіленгліколь; ганчір'я.

095 Маркування

Виконати маркування виробу.

Інструмент: молоток 7850-0122 Ц 15 ГОСТ 2310-77; комплект клейм Г24 ГОСТ 25726-83 буквені та цифрові.

3 КОНСТРУКТИВНА ЧАСТИНА

3.1 Конструкція складального станда

Для виконання складальних операцій в технологічному процесі виготовлення зварної коробчастої балки використовується складальний стэнд, який зображений на рисунку 3.1.

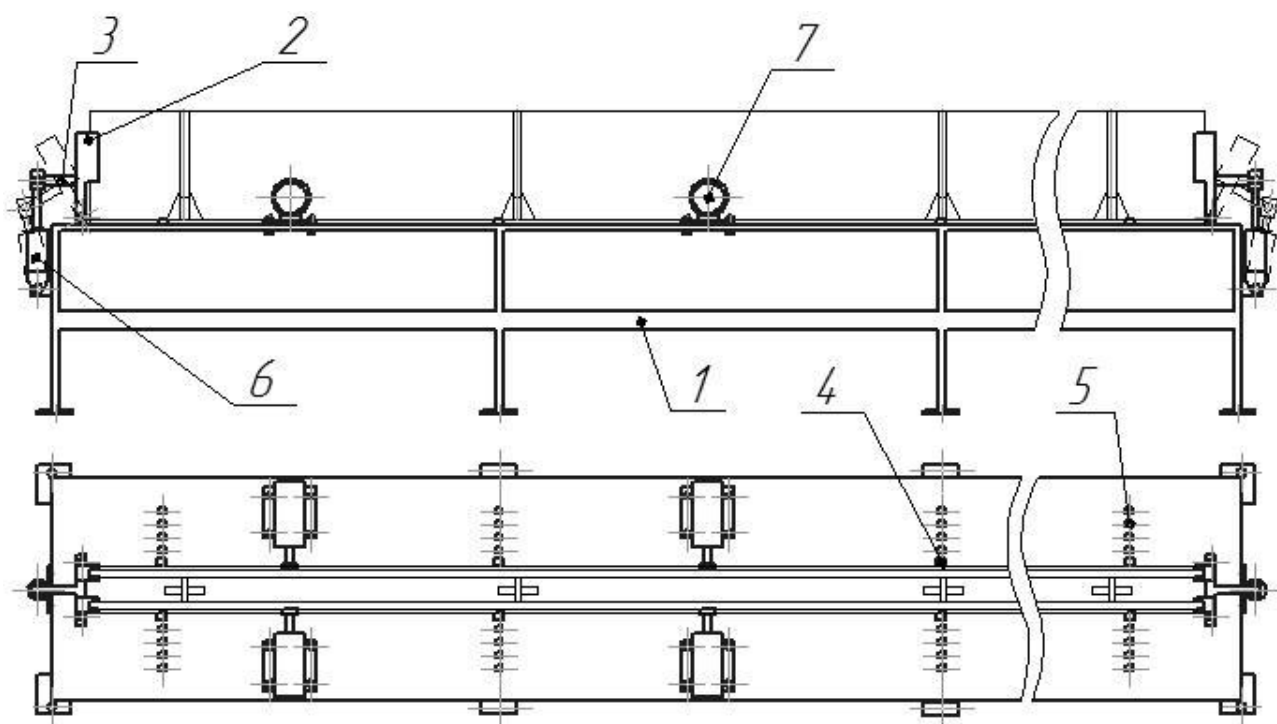


Рисунок 3.1 – Складальний стэнд

Стэнд складається зі зварної рами 1, напрямних 2 та притискних пневмоциліндрів 7.

Процес складання відбувається наступним чином. Полиця балки встановлюється на стіл станда і фіксується упорами 4, які встановлюються в отвори 5 на площині стола. Відстань між отворами становить 50 мм. Далі на полицю встановлюють боковини і фіксують їх напрямними 2, які приводяться в рух пневмоциліндрами 6 через тягу 3.

Відстань між боковинами забезпечується за допомогою встановлення між ними дистанційних вставок. Також між ними можуть встановлюватись додаткові ребра жорсткості.

Для забезпечення паралельності боковин виконують їх підтискання з боків пневмоциліндрами 7 (рис. 3.2).

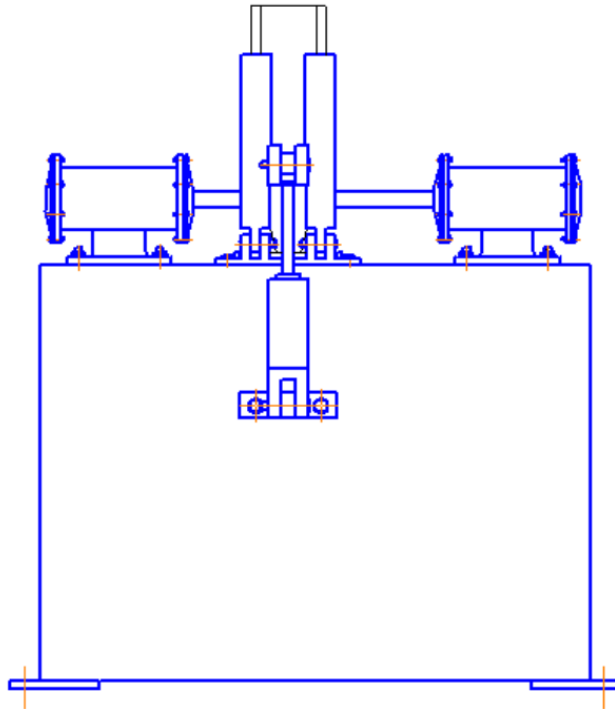


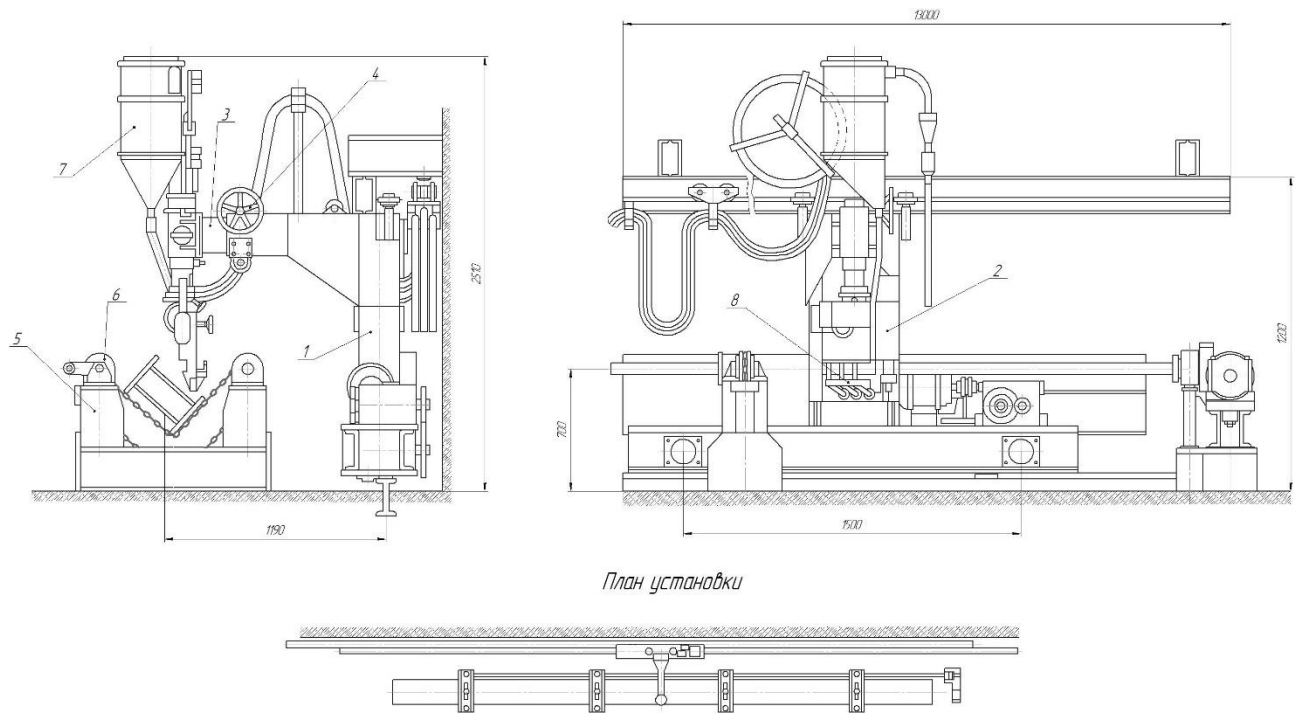
Рисунок 3.2 – Складальний стенд, вид збоку

Після складання заготовок на столі виконують їх зварювання прихватками за допомогою півавтомата в ручному режимі.

Для з'єднання отриманої заготовки з іншою полицею за допомогою цехового крана або кран-балки встановлюють другу заготовку, позиціонують її на боковинах витримавши необхідні розміри та виконують прихватки.

3.2 Конструкція зварювальної установки

Для виготовлення зварних балок пропонується використовувати установку для автоматизованого зварювання під флюсом. Загальний вигляд установки представлений на рисунку 3.3.



- 1 – зварювальний візок ВТ-1; 2 – зварювальний автомат; 3 – консоль;
 4 – механізм регулювання положення зварювального апарата по висоті;
 5 – кантувач; 6 – привід кантувача; 7 – бункер з флюсом; 8 – система відбору
 невідпрацьованого флюсу

Рисунок 3.3 – Загальний вид зварювальної установки

До складу зварювальної установки також входить механізм подачі дроту та джерело живлення Power Wave AC/DC 1000.

Після збирання заготовок на складальному стенді зібрана балка за допомогою цехового крана подається до зварювальної установки, де відбувається її фіксація на підтримуючих ланцюгах кантувача.

За допомогою кантувача заготовка встановлюється в необхідне положення для зварювання "в човник" першого шва. Процес зварювання під флюсом виконується автоматом для дугового зварювання А-1416, який пересувається вздовж осі шва по направляючій зварювального візка ВТ-1.

Для виконання зварювання наступних швів заготовка встановлюється в положення для зварювання за допомогою кантувача, а зварювальний автомат встановлюється в необхідне вихідне положення шляхом його поздовжнього переміщення вздовж осі шва по напрямних, а також за допомогою поперечного переміщення.

3.3 Конструктивні особливості зварювального візка

В загальному велосипедний візок являє комплект устаткування, де на двоколісний самохідний візок установлена поворотна колона.

Велосипедний візок переміщуються по двох рейках, розташованих у вертикальній площині одна над одною. Він складається з колони, встановленої на самохідній двоколісній платформі, яка переміщається по нижній рейці. У верхній частині колони розташовані ролики, які переміщуються по верхній рейці і утримують візок від перекидання.

Такі візки займають порівняно невелику виробничу площу, але можуть встановлюватися тільки біля стін цеху, оскільки для їхнього розміщення в середині цеху потрібно монтувати спеціальної металоконструкції для кріплення верхньої рейки. У деяких випадках верхня рейка може закріплюватися на цехових колонах.

Велосипедний візок ВТ - 1 (рис. 3.4) складається з платформи 9, стояка 8, консолі 5, каретки 7 і трьох електроприводів - пересування візка, вертикального і горизонтального переміщення консолі. Візок переміщається електродвигуном 11 через редуктор 10, зубчасту 17 та черв'ячну 18 передачі, що встановлені на платформі. Візок рухається по нижній рейці на котках 12 і верхніх напрямних, закріплених на колонах.

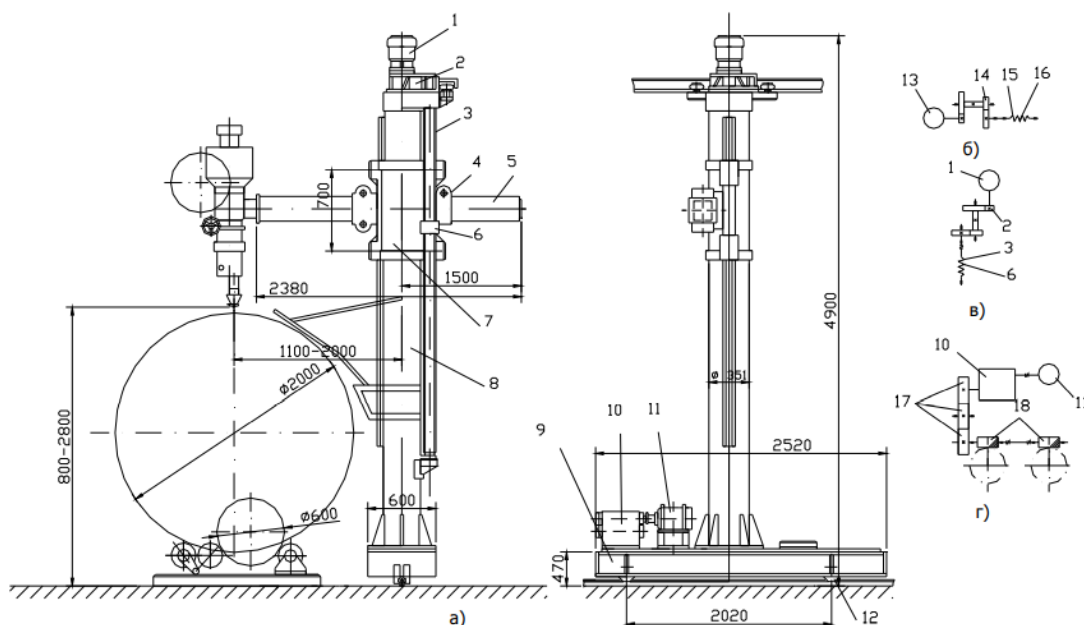


Рисунок 3.4 - Конструкція велосипедного візка ВТ-1

Візок може переміщуватися з робочою зварювальною і маршовою швидкостями. Робоча швидкість плавно регулюється зміною частоти обертання електродвигуна постійного струму за допомогою реостату. Перемикання руху з робочої швидкості на маршову здійснюється за допомогою електромагнітної муфти з дистанційним керуванням. Вертикальне переміщення каретки з консоллю виконується електродвигуном 1 через двоступінчасту зубчасту передачу 2, ходовий гвинт 3 і гайку 6, закріплену на каретці (рис. 3.4,в). Каретка переміщується по вертикальним напрямним стійки на чотирьох роликах. Горизонтальне переміщення консолі здійснюється електродвигуном 13, через двоступінчасту передачу 14, ходовий гвинт 15 і гайку 16, закріплену на напрямній 4 (рис. 3.4,б). Консоль переміщається по напрямній на роликах.

Прямолінійні шви можна зварювати за рахунок переміщення візка разом зі зварювальним апаратом по рейковому шляху з робочою швидкістю зварювання. Кільцеві шви зварюють без переміщення візка при обертанні виробу, встановленому на обертачі або роликовому стенді з робочою швидкістю зварювання.

3.4 Конструктивні особливості ланцюгового кантувача

Для кантування довгих зварних балкових конструкцій, форма та габарити яких близькі до квадрата застосовують безцентрові ланцюгові кантувачі. Вони дозволяють обертати зварну балку навколо її довшої осі на 360° .

Загальний вигляд стаціонарного ланцюгового кантувача, який застосовується для зварювання повздовжніх швів балок до $500 \text{ мм} \times 500 \text{ мм}$, наведено на рис. 3.5.

Кантувач складається з кількох розташованих на рівних відстанях опорних стійок 6 (рис. 3.5), кожна з яких оснащена трьома ланцюговими блоками 1, 4 і 7. Ці блоки охоплює замкнутий ланцюг 2. Між стійками ланцюг утворює вільну петлю, в яку вкладається зварювана балка. Один з верхніх блоків виконує функцію провідної ланцюгової зірочки 4. Ланцюги всіх стояків кантувача рухаються синхронно під дією загального приводного вала.

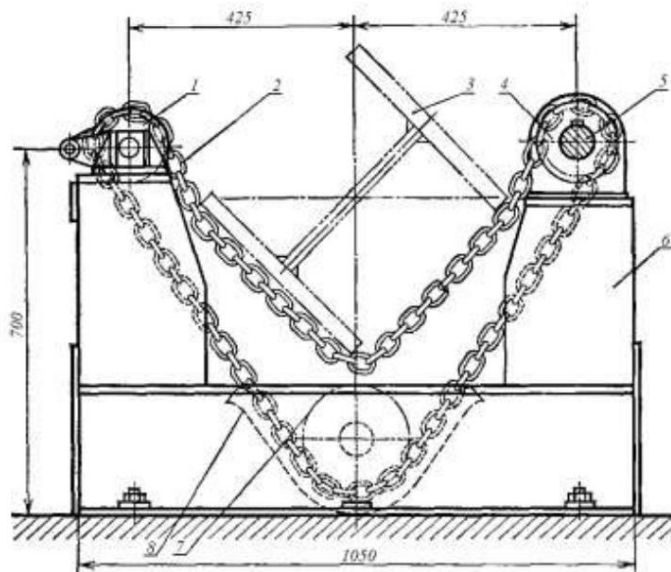


Рисунок 3.5 – Стійка ланцюгового кантувача

Для спрямування ланцюга в нижній блок 7 в конструкції стійки передбачено направляючий жолоб 8, який також захищає ланцюг від зіскакування з блоку. Привід кантувача може також здійснюватися через нижні зірочки стояків, коли всі вони з'єднуються загальним валом.

В кантувачах використовують прості зварні ланцюги з маловуглецевої сталі Ст2, Ст3 та сталі 10, які мають границю міцності 370...450 МПа. Після зварювання та калібрування ланцюги відпалюють та випробовують на розрив під навантаженням, рівному 50 % від руйнівного.

Зірочки кантувача виготовляються методом лиття з чавуну або сталі. Для них застосовують чавун марок СЧ 15, СЧ 18 або сталь 35Л.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз вимог техніки безпеки під час зварювальних робіт

До роботи зварювальником допускати осіб, які досягли 18-річного віку, навчені і атестовані на II кваліфікаційну групу з електробезпеки, пройшли медичний огляд, вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці, які вже оволоділи безпечними методами виконання робіт і пройшли перевірку знань вимог охорони праці.

Зварювальник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту відповідно до типових норм.

Перебуваючи у зварювально-монтажному цеху, необхідно:

- звертати увагу на сигнали, що подаються з вантажопідіймальних кранів, кантувачів і рухомого транспорту;

- не стояти і не проходити під вантажем, піднятим краном, а також між верстатами, колонами, огорожами, стінами будівлі і ін., близько розташованими до пересувного вантажу;

- під час руху по цеху користуватися тільки встановленими проходами, що не перелазити через конвеєри, рольганги і т.п.

Перед початком роботи обов'язково слід одягти спецодяг, перевірити справність обладнання, електропроводки, трубопроводів та газової арматури, наявність і справність заземлення.

Витяжна вентиляція повинна бути встановлена над столом для зварювання.

Про всі помічені недоліки, несправності в обладнанні і про виниклі небезпеки повідомити майстру. До роботи можна приступати тільки після усунення всіх несправностей і дозволу майстра.

Не слід дивитися на дугу незахищеними очима. Необхідно користуватися захисною маскою зі світлофільтром.

Забороняється залишати без нагляду установку з підключеними стисненим повітрям і включеним напругою.

Під час роботи забороняється тримати шланги під пахвою, на плечах або затискати ногами. Забороняється допускати зіткнення шлангів з струмопровідними проводами.

При перегрів зварювального апарата робота повинна бути зупинена до повного його охолодження.

Не допускати попадання на шланги іскор, вогню або важких предметів, а також впливу високих температур.

Забороняється приєднання до шлангів вилок, трійників і т.п. для живлення декількох апаратів.

Не допускати проведення ремонту апаратури у робочому стані. У разі несправності негайно припинити роботу і повідомити майстру.

При щоденному обслуговуванні необхідно перевіряти справність підвідних проводів; справність контактних затискачів і роз'ємів на панелі з затискачами; заземлення джерела живлення; заземлення зварної конструкції або столу.

Справність захисних засобів слід перевіряти перед кожним застосуванням. Захисні засоби, у яких закінчився термін чергового випробування, застосовувати забороняється.

Для запобігання виникненню пожеж необхідно дотримуватися таких вимог:

- не захищувати доступи і проходи до протипожежного інвентарю, вогнегасників, гідрантів;
- зберігати горючі та легкозаймісті речовини в спеціально відведених місцях з дотриманням заходів пожежної безпеки;
- палити тільки в спеціально відведених місцях, забезпечених протипожежним інвентарем і урнами;
- використаний обтиральний матеріал зберігати в металевому ящику з щільно закривається кришкою;
- не підходити з відкритим вогнем до шлангів і балонів;
- не чистити і не прати робочий одяг бензином і іншими легкозаймистими рідинами.

При виникненні ситуацій, які можуть привести до аварій і нещасних випадків (наприклад, при пробої ізоляції в ланцюзі, протіканні шлангів), необхідно припинити роботу, відключити подачу електроенергії, вивести з небезпечної зони людей і повідомити про виниклу ситуацію керівнику робіт.

При виникненні аварії негайно вжити заходів з надання потерпілим першої допомоги, викликати машину швидкої допомоги.

При виявленні пожежі негайно повідомити в пожежну охорону по телефону 101, сповістити керівництво і до прибуття пожежних приступити до ліквідації вогнища пожежі наявними засобами в залежності від загорівся матеріалу.

При нещасному випадку надати потерпілому першу долікарську допомогу, повідомити про подію керівництву. По можливості зупинити обстановку, якщо це не призведе до аварії або травмування інших людей. При необхідності викликати бригаду швидкої допомоги по телефону 103 або допомогти доставити потерпілого в медичний заклад.

4.2. Моделювання виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків

Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпечної або аварійної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які між собою можуть бути статистично залежними або незалежними.

Статистично залежні події - це такі, коли поява наступної події неможлива без виникнення попередньої. Якщо кожна з двох подій, що входять до однієї моделі, може з'явитися незалежно одна від одної, то такі події є статистично незалежними. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події одна відносно одної розміщуються паралельно, а залежні – послідовно. Причинно-наслідкові зв'язки зображені стрілками, які, крім того, ще показують напрямок протікання (перебігу) події [2].

Таблиця 4.1 - Логічна модель виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій під час зварювання металоконструкцій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
1	2	3	4	5	6
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех підприємства	НУ ₁ - порушення ізоляцій. НУ ₂ - відсутність заземлення.	НД - Поява струму на корпусі зварювального апарата	НС – Контакт зварювальника з корпусом зварювального апарата	Т - Ураження струмом зварювальника	Заземлення струмоведучих частин і якісна їх ізоляція
НУ ₁ → НУ ₂ → НД→ НС→ Т					
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех підприємства	НУ- відсутність або несправність штучної вентиляції робочого місця	НД - знаходження працівника в загазованій зоні без засобів захисту	НС- вдихання оператором шкідливих газів	Т – отруєння оператора шкідливими газами З – виробниче захворювання	Обладнання робочого місця штучною вентиляцією
НУ→ НД→ НС→ Т (З)					
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех підприємства	НУ – підвищений рівень яскравості світла тощо	НД - робота без засобів індивідуального захисту	НС – вплив спалахів дуги на органи зору зварювальника	З – виробниче захворювання	Робота в засобах індивідуального захисту (окулярах, захисному щитку тощо)
НУ → НД→ НС→ З					
Зварювання металоконструкції, зварювальний цех підприємства	НУ – висока температура деталей та заготовок і обладнання	НД - робота без спеціального одягу	НС – зварювальника гарячими поверхнями	Т – отримання опіків	Робота в спецодезії та рукавицях
НУ → НД→ НС→ З					

Логічна модель може стати основою для розробки графічної моделі виникнення травмонебезпечної чи аварійної ситуації.

4.3 Рекомендації щодо покращення безпеки праці

Для запобігання небезпеки ураження електричним струмом необхідно, щоб джерела живлення мали автоматичні пристрої, що відключають їх при обриві дуги протягом не більше 0,5 с.

З метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом зварювальнику слід дотримуватися наступних заходів [5]:

- надійна ізоляція всіх, проводів, пов'язаних з живленням джерела струму і зварювальної дуги;

- надійний пристрій електродотримача з гарною ізоляцією, яка гарантує, що не буде випадкового контакту струмоведучих частин електродотримача зі зварним виробом або руками зварника;

- робота у справно-сухому спецодязі і рукавицях. При роботі в тісних відсіках і замкнутих просторах обов'язкове використання гумових калош і килимків, джерел освітлення з напругою не більше 6-12 В;

Для запобігання небезпеки ураження бризками розплавленого металу і шлаку використовують спецодяг (брюки, куртку і рукавиці) з брезентової або спеціальної тканини. Куртки при роботі не слід вправляти у штани, а взуття повинне мати гладкий верх, щоб бризки розплавленого металу не потрапляли всередину одягу, так як в цьому випадку можливі важкі опіки.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТНОГО РІШЕННЯ

5.1 Розрахунок технологічних норм часу на виконання процесу зварювання

Загальний час на виконання автоматизованого зварювання балки $T_{шт-к}$ формують декілька компонентів. Його визначають за формулою:

$$T_{шт-к} = t_{осн} + t_{пз} + t_d + t_{обс} + t_{п}, \quad (5.1)$$

де $T_{шт-к}$ - штучно-калькуляційний час на зварювання, год;

$t_{осн}$ - основний час операції, год;

$t_{пз}$ - підготовчо-заклучний час на операцію, год;

t_d - допоміжний час, год;

$t_{обс}$ - час на обслуговування обладнання, год;

$t_{п}$ - час перерв на особисті потреби робітника, год.

Основний час $t_{осн}$ визначають за формулою:

$$t_{осн} = \frac{L_{ш}}{V_{зв}} \quad (5.2)$$

де $L_{ш}$ - сумарна довжина зварного шва, м ($\Sigma L_{ш} = 4,622 \cdot 4 = 18,5$ м);

$V_{зв}$ - швидкість зварювання, м/год, ($V_{зв} = 17$ м/год).

$$t_{осн} = \frac{18,5}{17} = 1,1 \text{ год}$$

Підготовчо-заклучний час на виконання операції $t_{пз}$ включає в себе операції отримання виробничого завдання, інструктажі, отримання обладнання та витратних матеріалів, підготовка обладнання до роботи. Прийmemo: $t_{пз} = 10$ % від $t_{осн}$:

$$t_{пз} = \frac{1,1 \cdot 10}{100} = 0,11 \text{ год}$$

Допоміжний час t_d , це час на заправку установки з електродним дротом t_e , підготовка та очищення зварних кромки $t_{кр}$, очищення швів від шлаку $t_{бр}$, таврування швів t_T , установку і кантування заготовки, її закріплення $t_{уст}$:

$$t_d = t_e + t_{кр} + t_{бр} + t_{уст} + t_T. \quad (5.3)$$

Час на заправку установки електродним дротом приймаємо рівним:

$$t_e = 5 \text{ хв} = 0,083 \text{ год.}$$

Час, який затрачається на підготовку і зачистку кромки деталей $t_{кр}$ розраховують за формулою:

$$t_{кр} = L_{ш} \cdot (0,6 + 1,2 \cdot (n_c - 1)), \quad (5.4)$$

де n_c - кількість шарів шва, які накладаються (приймаємо $n_c = 1$);

$$t_{кр} = 18,5 \cdot (0,6 + 1,2) = 33,3 \text{ хв} = 0,555 \text{ год.}$$

Час на проставлення клейма t_T приймають 0,03 год. на 1 знак,

$$t_T = 4 \cdot 0,03 = 0,12 \text{ год.}$$

Час на встановлення заготовки, кантування і зняття звареної балки з установки $t_{уст}$ залежить від її маси. Його вибирають з таблиць норм часу в залежності від маси виробу. Приймаємо $t_{уст} = 0,18$ год.

Таким чином значення t_d буде рівне:

$$t_d = 0,083 + 0,555 + 0,555 + 0,12 + 0,18 = 1,493 \text{ год.}$$

Час на обслуговування обладнання $t_{обс}$ включає в час на налаштування режиму зварювання, наладку обладнання тощо. Його приймають в межах:

$$t_{обс} = (0,06 \dots 0,08) \cdot t_{осн} \quad (5.5)$$

$$t_{обс} = 0,07 \cdot 1,1 = 0,077 \text{ год.}$$

Час перерв на особисті потреби робітника виду зварювання. Оскільки оператор тільки контролює процес автоматичного зварювання, то його можна прийняти:

$$t_{п} = 0,04 \cdot t_{осн} \quad (5.6)$$

$$t_{п} = 0,04 \cdot 1,1 = 0,044 \text{ год.}$$

Таким чином час на виконання операції зварювання балки становитиме:

$$T_{шт-к} = 1,1 + 0,11 + 1,493 + 0,077 + 0,044 = 2,824 \text{ год.}$$

5.2. Визначення собівартості виготовлення балки

Технологічна собівартість C_T виготовлення зварної балки складається з суми витрат, обумовлених затратами ресурсів під час виконання технологічних операцій:

$$C_T = M_z + Z_e + Z_{пр}, \quad (5.7)$$

До матеріальних витрат відносяться затрати на метал, зварювальні матеріали, енергоресурси на технологічні потреби.

Матеріальні витрати M_3 можна визначити за формулою:

$$M_3 = C_{o.m} + C_{ен} + C_{ін}, \quad (5.8)$$

де $C_{o.m}$ - вартість основних матеріалів з розрахунку на одну балку, грн;

$C_{ен}$ - вартість електроенергії, грн.;

$C_{ін}$ - вартість інших компонентів, з розрахунку на одну балку, грн.

Вартість основних матеріалів $C_{o.m}$ з урахуванням транспортно-заготівельних витрат розраховують за формулою:

$$C_{o.m} = (C_{к.м} + C_{o.m} + C_{зв.пр}) \cdot K_{тр}, \quad (5.9)$$

де $K_{тр}$ - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні затрати (приймаємо $K_{тр} = 1,05 \dots 1,08$).

Вартість конструкційних матеріалів $C_{к.м}$, а саме листової сталі 10Г2С1

$$C_{к.м} = m_k \cdot Ц_{к.м}, \quad (5.10)$$

де m_k - маса конструкції, т;

$Ц_{к.м}$ - ціна однієї тони сталі 10Г2С1 товщиною 15 мм, грн.

$$C_{к.м} = 0,55 \cdot 23107 = 12708,85 \text{ грн.}$$

Розраховуємо витрати на електродний дріт за формулою:

$$C_{з.д} = M_{нм} \cdot \psi \cdot Ц_{з.д} \cdot K_{тр}, \text{ грн.} \quad (5.11)$$

де $M_{нм}$ - маса наплавленого металу, кг;

ψ - коефіцієнт розбризування (приймаємо $\psi = 1,01$).

$Ц_{з.д}$ - оптова ціна 1 кг зварювального дроту, грн (6532 грн за 1 катушку 25 кг);

Вихідні дані для розрахунків:

$$L_{шв} = 18,5 \text{ м} = 1850 \text{ см}$$

$$F_{нм} = 57,44 \text{ мм}^2 = 0,5744 \text{ см}^2.$$

$$V_{нм} = L_{шв} \cdot F_{нм} = 1850 \cdot 0,5744 = 1062,64 \text{ см}^3.$$

$$M_{нм} = V_{нм} \cdot \rho = 1062,64 \cdot 7,8 = 8288,592 \text{ г}$$

Приймаємо $M_{нм} = 8,3 \text{ кг}$

Отже, вартість зварювального дроту для виготовлення однієї балки становитиме:

$$C_{e,d} = 8,3 \cdot 1,01 \cdot 261,52 \cdot 1,05 = 2301,94, \text{ грн.}$$

Тоді

$$C_{o,m} = (12708,85 + 2301,94) \cdot 1,08 = 16211,65 \text{ грн}$$

Затрати на енергоресурси $C_{ен}$ включає в себе витрати на всі види енергії, які витрачаються в процесі виробництва продукції. Затрати електроенергію визначаємо за формулою:

$$C_{ен} = \alpha_E \cdot W \cdot C_E, \text{ грн} \quad (5.12)$$

де α_E - питомі витрати електроенергії на 1 кг наплавленого металу, кВт · год/кг;

W - витрати електроенергії, кВт · год;

C_E - ціна за 1 кВт/год; ($C_E = 2,64$ кВт/год.)

Для зварювання під шаром флюсу величину α_E можна приймати на рівню 3 ... 4 кВт · год/кг.

$$C_{ен} = 3 \cdot 16,74 \cdot 2,64 = 132,58, \text{ грн}$$

Отже, матеріальні витрати на виготовлення балки становитимуть:

$$M_3 = 16211,65 + 132,58 = 16344,23 \text{ грн.}$$

Кількість робітників приймається відповідно з урахуванням кількості обладнання. У нашому випадку число основних робітників визначається відповідно до кількості обладнання та можливого суміщення професій. Виходячи з цього, приймаємо сумарну кількість основних робітників $Ч_{ор} = 3$.

Розрахунок заробітної плати робітників та відрахувань на соціальні потреби передбачає визначення основної та додаткової заробітної плати, податкових виплат, які включаються в собівартість.

Витрати на оплату праці $З_{пр}$ розраховуються за формулою:

$$З_{пр} = ЗП_о + ЗП_д, \quad (5.13)$$

де $ЗП_о$ - основна заробітна плата, грн;

$ЗП_д$ - додаткова заробітна плата, грн..

Основна та додаткова заробітна плата робітників з страховими відрахуваннями на виготовлення однієї балки визначається за формулою:

$$З_{пр} = (P_B \cdot K_{пр} \cdot K_d \cdot K_{cc} + D_{шр}) \cdot Ч_{ор}, \quad (5.14)$$

де P_B - сумарна розцінка за одиницю роботи, грн;

$K_{пр}$ - коефіцієнт преміювання працівників, ($K_{пр} = 1,5$);

$D_{\text{шп}}$ – додаткова доплата за шкідливі умови, грн;

$K_{\text{сс}}$ - коефіцієнт, який враховує соціальний внесок, ($K_{\text{сс}} = 1,3$);

$K_{\text{д}}$ - коефіцієнт, який визначає розмір додаткової заробітної плати, ($K_{\text{д}} = 1,2$).

Тарифна ставка $T_{\text{ст}}$ зварника автоматичного зварювання - 93 грн/год.

Сумарна розцінка на виготовлення однієї балки визначається за формулою:

$$P_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60} \quad (5.15)$$

де $T_{\text{ст}}$ - тарифна ставка, грн/год;

$T_{\text{шт-к}}$ - штучно-калькуляційний час виконання робіт під час зварювання однієї балки, хв. ($T_{\text{шт-к}} = 2,824 \text{ год} = 169,44 \text{ хв.}$)

$$P_{\text{в}} = \frac{93 \cdot 169,44}{60} = 262,63 \text{ грн}$$

Доплата за шкідливі умови праці становить:

$$D_{\text{шп}} = \frac{T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{шп}}}{100 \cdot 60} \quad (5.16)$$

де $T_{\text{шп}}$ - час роботи у шкідливих умовах, хв.

$$T_{\text{шп}} = T_{\text{шт-к}} \cdot (0,1 \dots 0,31), \text{ хв.} \quad (5.17)$$

$$D_{\text{шп}} = \frac{93 \cdot 169,44 \cdot 0,2}{100 \cdot 60} = 0,53 \text{ грн}$$

Тоді

$$Z_{\text{пр}} = (262,63 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,3 + 0,53) \cdot 3 = 1845,25 \text{ грн.}$$

Отже, технологічна собівартість виготовлення зварної балки становитиме:

$$C_{\text{т}} = 16211,65 + 132,58 + 1845,25 = 18189,48 \text{ грн} \quad (5.18)$$

Ринкова вартість зварної балки $C_{\text{р}} = 44200 \text{ грн/т.}$

Економічний ефект

$$E = \frac{C_{\text{р}} - C_{\text{т}}}{C_{\text{т}}} \cdot 100 \quad (5.16)$$

$$E = \frac{22,1 - 18,2}{18,2} \cdot 100 = 21,4 \%$$

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз господарської діяльності ТзОВ «Енергомонтажвентиляція» та його спеціалізація свідчить про можливість впровадження на його виробничих потужностях технології автоматизованого зварювання коробчастих балок.

Вибраний спосіб автоматизованого зварювання під шаром флюсу є одним з найбільш ефективніших при виробництві великогабаритних металоконструкцій. Він забезпечує високу якість швів. Головною його перевагою є можливість повної автоматизації процесу зварювання. Також такий метод зварювання гарантує відмінну якість зварювальних з'єднань, оскільки відсутній людський чинник.

В запропонованій технології виробничий процес пропонується виконувати в два етапи: складальні операції, на яких заготовки складаються в одну конструкцію і з'єднуються прихватками способом зварювання в середовищі захисних газів та безпосередньо сам процес автоматизованого зварювання під шаром флюсу, що дає можливість виконати з'єднання деталей товщиною 15 мм кутовим швом за один прохід.

Розроблена технологія та підібране для неї обладнання дозволяє виконувати зварювання зі швидкістю 17 м/год та забезпечити провар на глибину 6,1 мм, що при товщині боковини $S = 10$ мм і скосі кромки під кутом $\alpha = 45^\circ \pm 2$ гарантує необхідну якість з'єднання.

За результатами розрахунку затрат на виготовлення зварної балки за запропонованою технологією встановлено, що собівартість виробництва становить 18189,48 грн. При вазі балки біля 0,5 тони це майже на 20 % менше від вартості аналогічних балок на ринку країни. Це свідчить про ефективність запропонованої технології та доцільність її впровадження у виробництво.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Березін Л.Я., Хоменко М.М., Карпенко А.С. Засоби технологічного оснащення зварювального виробництва. Навчальний посібник. Чернігів: ЧДТУ, 2003. 142 с.
2. Городецький І. В, О. Тимочко. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів: Львівський НАУ, 2011. 16 с.
3. Гуменюк І.В. Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
4. Драган С.В., Лабарткава А.В. Практикум зі зварювання: Навчальний посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 68 с.
5. ДСТУ 2456-94. Зварювання дугове і електрошлакове. Вимоги безпеки. [Чинний від 1995-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1994. 48 с.
6. ДСТУ ISO 14175:2004 Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання (ISO 14175:1997, IDT): http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=50209
7. ДСТУ EN ISO 14171:2015 Зварювальні матеріали. Дроти електродні суцільні й порошкові та комбінації дрiт електродний/флюс для дугового зварювання під флюсом нелегованих та дрібнозернистих сталей. Класифікація (EN ISO 14171:2010, IDT; ISO 14171:2010, IDT): http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82838
8. Зворикін К. О., Гаєвський В. О. Виробництво зварних конструкцій: Практикум (Частина 1) [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізація «Технології та інжиніринг у зварюванні». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 114 с.
9. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. Київ: Арістей, 2006. 272 с.

10. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
11. Кривов Г.О., Зворикін К.О. Виробництво зварних конструкцій: Підручник. Київ: КВІЦ, 2012. 896 с. ISBN 978-966-2003-75-8.
12. Комплексний підхід до вирішення завдань автоматичного та напівавтоматичного зварювання. Welding_Automation_Argus.pdf
(arguslimited.com.ua)
13. Лінія вертикального складання та зварювання балок.
<https://migateh.com.ua/subdirectory-27.html>
14. Лисак В.В. Складально-зварювальне оснащення-2. Проектування складально-зварювальної оснастки. Курсовий проєкт: рекомендації до виконання: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізації «Технології та інжиніринг у зварюванні». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 67 с.
15. Методичні вказівки до виконання практичної роботи №6 «Методика розрахунку ланцюгового кантувача для зварювання прямолінійних швів» з дисципліни «Допоміжне обладнання зварювального виробництва» для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка освітніх програм «Технології та устаткування зварювання» і «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» усіх форм навчання / Укл. М.Ю. Осіпов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 15 с.
16. Особливості технології виготовлення зварних балок коробчатого перерізу. <https://msd.com.ua/tehnologiya-proizvodstva-svarnykh-konstrukcij/osobennosti-tehnologii-izgotovleniya-svarnykh-balok-korobchatogo-secheniya/>
17. Пермяков В.О., Нілов О.О., Шимановський О.В. та ін. Металеві конструкції: підручник. Київ: Видавництво «Сталь», 2008. 812 с. ISBN 978-966-1555-05-0.
18. Складально-зварювальне оснащення. Методичні вказівки та завдання до курсового проектування для студентів спеціальностей 7.05050401,

8.05050401 – Технології та устаткування зварювання. /Укл.: Л.Я.Березін. Чернігів: ЧНТУ, 2015, 60 с.

19. Сливінський О.А. Здатність до зварювання конструкційних матеріалів: навчальний посібник Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 260 с. ISBN 978-966-622-354-1.

20. Чертов І.М. Зварні конструкції: підручник. Київ: Арістей, 2006. 376 с. ISBN 966-8458-88-5.

21. Швець О.П. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему «Вивчення процесу зварювання під шаром флюсу» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт». Львів: ЛНАУ, 2020 р. 8 с.

22. Швець О.П. Технологія зварювання металів і пластмас. Конспект лекцій для студентів ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (Частина 1). Львів: ЛНАУ, 2017. 78 с.

23. Швець О.П., Березовецький С.А., Шеремета Р.Б. Проектування та розрахунок зварних з'єднань» Методичні рекомендації до виконання практичної роботи з дисципліни «Технології та обладнання зварювання металів і пластмас» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Львів: ЛНАУ, 2020. 16 с.

24. Blodgett O.W. Design of Welded Structures. Cleveland, Ohio : The James f. Lincoln Arc Welding Foundation, 1996. 832 p.

25. <https://www.maxima-metall.com.ua/ua/balka/balka-dvotavrova-45m-st1-3ps-sp>

26. POWER WAVE AC/DC 1000 SD CE OPERATOR'S MANUAL. <https://www.lincolnelectric.com/assets/EU/OperatorManuals/IM2064rev01-ENG.pdf>