

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена вдосконаленню технологічного процесу виготовлення вил для силосу, які використовуються як змінне навісне обладнання до завантажувача під час виконання сільськогосподарських вантажно-розвантажувальних робіт. У роботі розглянуто конструктивні особливості виробу, його призначення, умови експлуатації та основні навантаження, що виникають під час захоплення, піднімання, транспортування і розвантаження силосу, сіна, соломи та інших об'ємних матеріалів.

В аналітичній частині наведено опис конструкції силосних вил-захвату, визначено основні елементи виробу, зокрема несучу раму, нижні робочі зубці, верхній притискний захват, бокові пластини, монтажні вушка, кронштейни гідроциліндрів і підсилювальні елементи. Обґрунтовано вибір конструкційної сталі S235JR як матеріалу для виготовлення основних деталей, оскільки вона має достатню міцність, пластичність, добру зварюваність і придатна для виготовлення зварних металоконструкцій сільськогосподарського призначення.

У технологічній частині виконано аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу та визначено його основні недоліки, серед яких недостатня точність складання, використання менш продуктивних способів зварювання, потреба у покращенні фіксації деталей і стабілізації якості зварних швів. Для усунення цих недоліків запропоновано вдосконалений технологічний процес, що передбачає застосування сучасного обладнання для очищення, правлення, різання, механічної обробки, складання, зварювання та контролю якості виробу.

Для виготовлення зварних з'єднань прийнято напівавтоматичне MAG-зварювання плавким електродним дротом ОК Autrod 12.51 у середовищі газової суміші $\text{Ar} + \text{CO}_2$. Такий спосіб забезпечує стабільне горіння дуги, якісне формування швів, зменшення розбризкування металу та підвищення

продуктивності зварювальних операцій. У роботі наведено розрахунок режимів зварювання для основних типів з'єднань, які застосовуються під час виготовлення вил-захвату.

У конструкторській частині розглянуто складально-зварювальні пристосування для виготовлення рами вил, встановлення робочих зубців, фіксації боковин і кронштейнів гідроциліндра. Запропоновано застосування спеціалізованих кондукторів, які забезпечують точне базування деталей, однаковий крок зубців, паралельність балок і зменшення зварювальних деформацій. Також проведено розрахунок двостійкового кантувача, призначеного для кінцевого доварювання основної та верхньої частин конструкції у зручному просторовому положенні.

Окрему увагу приділено питанням контролю якості зварних з'єднань. Для перевірки виробу передбачено візуально-вимірний контроль усіх швів, а для найбільш відповідальних вузлів — ультразвуковий контроль. У роботі також розглянуто вимоги з безпеки життєдіяльності, організацію захисту людей у надзвичайних ситуаціях техногенного характеру, порядок проведення рятувальних робіт і заходи пожежної безпеки на виробництві.

Кваліфікаційна робота містить аналітичну, технологічну, конструкторську частини, розділ з безпеки життєдіяльності, висновки, перелік використаних джерел і додатки. Результати роботи можуть бути використані для підвищення технологічності, точності та якості виготовлення силосних вил-захвату в умовах машинобудівного або ремонтно-виробничого підприємства.

Ключові слова: СИЛОСНІ ВИЛА, ВИЛА-ЗАХВАТ, ЗВАРНА КОНСТРУКЦІЯ, МАГ-ЗВАРЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, СКЛАДАЛЬНО-ЗВАРЮВАЛЬНИЙ КОНДУКТОР.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Опис конструкції виробу.....	9
1.2 Характеристика матеріалу виробу.....	13
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу.....	16
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу.....	23
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	28
2.1 Обґрунтування способу зварювання	28
2.3 Вибір методу контролю якості виробу.....	45
2.4 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення силосних вил-захвату.....	51
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	61
3.1 Опис складально-зварювальних пристосувань.....	61
3.2 Розрахунок двостійкового кантувача для доварювання силосних вил- захвату.....	66
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	70
4.1 Захист людей в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру.....	70
4.2 Проведення рятувальних робіт	71
4.3 Забезпечення пожежної безпеки	73
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	78
ДОДАТОК.....	81

ВСТУП

Зварювання є одним із найважливіших і найбільш ефективних технологічних процесів отримання нероз'ємних з'єднань, що широко застосовується у промисловості, машинобудуванні, будівництві, транспортному виробництві та багатьох інших галузях. Завдяки високій продуктивності, економічності та можливості створення міцних металевих конструкцій складної форми зварювальне виробництво постійно розвивається і вдосконалюється.

Сучасне зварювальне виробництво характеризується широким використанням прогресивного обладнання, автоматизованих і роботизованих комплексів, а також новітніх технологічних рішень. Значна частина зварювальних процесів виконується із застосуванням концентрованих джерел теплової енергії, які забезпечують локальне нагрівання матеріалу до необхідного температурного стану. При цьому в зоні зварювання відбуваються складні фізико-хімічні, теплові та металургійні процеси, що безпосередньо впливають на формування структури металу шва, якість з'єднання та експлуатаційну надійність готової конструкції.

Процес зварювання є досить складним, оскільки охоплює велику кількість способів, які ґрунтуються на різних фізичних принципах дії. До них належать дугове, газове, контактне, електрошлакове, лазерне, електронно-променеве, плазмове та інші види зварювання. Кожен із цих методів має свої технологічні особливості, сферу застосування, переваги та обмеження. Завдяки цьому зварювання може використовуватися для з'єднання не лише металів і сплавів, а й окремих неметалевих матеріалів, зокрема пластмас, кераміки та скла.

Особливістю зварювальних технологій є їх універсальність і можливість застосування в різноманітних умовах експлуатації та виробництва. Зварювальні роботи виконують не тільки в наземних умовах, а й під водою, у важкодоступних місцях, у вакуумі та навіть у космічному просторі. При цьому

діапазон товщин зварюваних елементів є надзвичайно широким — від мікрометрових розмірів у приладобудуванні та мікроелектроніці до масивних металоконструкцій великої товщини, що застосовуються у важкому машинобудуванні, суднобудуванні та будівництві.

У багатьох випадках зварювання є найбільш раціональним, а інколи й єдино можливим способом отримання міцного та надійного нероз'ємного з'єднання конструкційних матеріалів. Його використання дає змогу зменшити витрати металу, скоротити трудомісткість виготовлення виробів, підвищити рівень механізації та автоматизації виробничих процесів. Крім того, зварювання дозволяє отримувати заготовки та конструкції, форма яких максимально наближена до геометрії готового виробу, що сприяє підвищенню ресурсозбереження та ефективності виробництва. [1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Об'єктом розроблення є вила для силосу до завантажувача, які належать до змінного навісного робочого обладнання та призначені для механізованого виконання вантажно-розвантажувальних робіт у сільському господарстві. Загальний вигляд виробу наведено на рисунках 1.1 та 1.2.



Рис. 1.1 – Навантажувач з вилами [2]

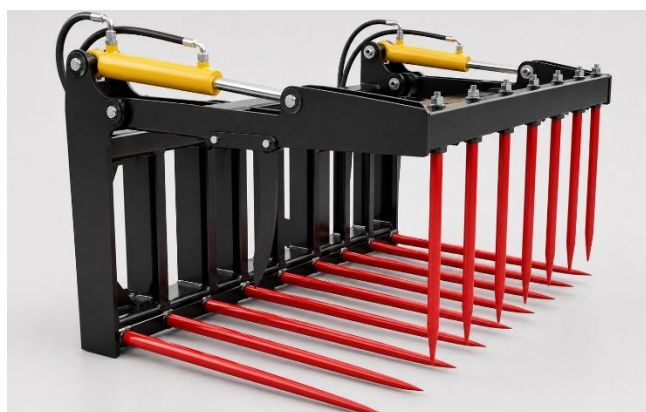


Рис. 1.2 Конструкція навантажувальних вил [2]

Основне призначення вил полягає у захопленні, підніманні, переміщенні та завантаженні силосу, сіна, соломи, тюків, органічних добрив, рослинних решток та інших об'ємних сільськогосподарських матеріалів. Використання такого обладнання дозволяє суттєво зменшити частку ручної праці,

підвищити продуктивність виконання технологічних операцій і забезпечити більш раціональну організацію робіт під час заготівлі, транспортування та складування кормів.

Конструктивно вила для силосу являють собою зварну металеву конструкцію, що складається з чотирьох робочих зубців, поперечної несучої балки, елементів кріплення до завантажувача, підсилювальних пластин, ребер жорсткості та допоміжних з'єднувальних деталей. Усі елементи виробу об'єднані між собою зварними швами, що забезпечує необхідну жорсткість і міцність конструкції під час експлуатації.

Несуча частина вил-захвату виготовляється з профільного металопрокату квадратного або прямокутного перерізу, що забезпечує необхідну міцність і просторову жорсткість конструкції. Для виготовлення верхньої та нижньої поперечних балок доцільно застосовувати профільні труби розміром 100×100 мм, 100×80 мм або 120×80 мм із товщиною стінки 4–6 мм. Використання таких профілів дає змогу забезпечити стійкість рами до згину, кручення та локальних деформацій, які виникають під час роботи з об'ємними сільськогосподарськими матеріалами. Крім того, поперечні балки виконують роль базових елементів, до яких приварюються робочі зубці, вертикальні стійки, бокові пластини, шарнірні кронштейни та інші деталі конструкції.

Вертикальні елементи задньої рами виконуються з профільних труб меншого перерізу, зокрема 60×40 мм або 80×40 мм із товщиною стінки 3–5 мм. Їх основним призначенням є підвищення жорсткості просторової системи та запобігання перекосу рами під час захоплення, піднімання й транспортування силосної маси. Крім несучої функції, вертикальні стійки утворюють захисну решітку, яка обмежує переміщення матеріалу в напрямку завантажувача та підвищує безпечність експлуатації обладнання.

Нижні робочі зубці є основними елементами, які безпосередньо взаємодіють із силосом, сіном, соломом або іншими волокнистими

матеріалами. У розглянутій конструкції передбачено дев'ять нижніх зубців, рівномірно розташованих по ширині виробу. Таке компонування забезпечує рівномірне сприйняття навантаження та покращує умови захоплення матеріалу. Зубці виготовляються з круглого сталевго прутка діаметром 30–40 мм, а їх передня частина виконується загостреною. Завдяки цьому зменшується опір під час входження зубців у щільну масу матеріалу, а також підвищується стійкість елементів до ударних навантажень і локального згину.

Довжина кожного нижнього зубця становить приблизно 1200 мм. Такий розмір забезпечує достатню глибину входження у силосну масу та дає змогу захоплювати необхідний об'єм матеріалу за один робочий цикл. Зона приєднання зубців до нижньої поперечної балки є найбільш навантаженою, оскільки саме в ній концентруються згинальні зусилля та реакції від вантажу. Тому в цих місцях доцільно передбачати підсилювальні накладки, втулки або додаткові елементи жорсткості, які зменшують ризик деформації та підвищують довговічність зварного вузла.

Верхній притискний захват також виконується з металопрокату і має власну рухому раму, яка працює від гідравлічного приводу. Основна поперечина верхнього захвату може виготовлятися з профільної труби 80×80 мм або 100×80 мм із товщиною стінки 4–5 мм. До цієї поперечини кріпляться верхні притискні зубці, які під час закривання входять у матеріал зверху та притискають його до нижніх вил. Верхні зубці доцільно виготовляти з круглого сталевго прутка діаметром 25–35 мм. Їх форма та розташування повинні забезпечувати надійне утримання об'ємного матеріалу без надмірного подрібнення, розривання або висипання під час переміщення.

Бокові пластини, монтажні вушка та кронштейни шарнірних з'єднань виготовляються з листової сталі товщиною 8–12 мм. Ці елементи сприймають значні зусилля від рухомого захвату, гідроциліндрів і навантаження, що передається на раму. У місцях встановлення пальців і шарнірів доцільно

застосовувати втулки або додаткові накладки, які зменшують інтенсивність зношування отворів і підвищують ресурс вузлів. Монтажні пластини, за допомогою яких вила-захват приєднуються до завантажувача, рекомендується виконувати зі сталі товщиною близько 10 мм, а підсилювальні косинки та ребра жорсткості — з листового прокату товщиною приблизно 8 мм.

Гідравлічний привід верхнього захвату складається з двох гідроциліндрів, які шарнірно з'єднані з боковими елементами основної рами та рухомою частиною притискного механізму. Корпуси гідроциліндрів виготовляються зі сталевих труб, а штоки — з високоміцної сталі з хромованим покриттям, що знижує тертя, зменшує зношування та захищає поверхню від корозії. Подача робочої рідини до гідроциліндрів здійснюється через рукави високого тиску, штуцери та з'єднувальні елементи, які підключаються до гідравлічної системи базового навантажувача.

Таблиця 1.1 Конструктивні дані основних елементів вил

Елемент конструкції	Матеріал / профіль	Орієнтовні розміри
Верхня поперечна балка рами	профільна труба	100×80 або 100×100 мм
Нижня поперечна балка рами	профільна труба	100×80 або 100×100 мм
Вертикальні стійки рами	профільна труба	60×40 або 80×40 мм
Нижні робочі зубці	круглий сталевий прут	Ø35–40 мм
Верхні притискні зубці	круглий сталевий прут	Ø25–35 мм
Бокові пластини	листова сталь	8–12 мм
Монтажні пластини та вушка	листова сталь	близько 10 мм
Підсилювальні косинки	листова сталь	близько 8 мм
Втулки шарнірів	конструкційна сталь	відповідно до діаметра пальців
Пальці шарнірів	сталь підвищеної міцності	відповідно до конструкції вузла
Гідроциліндри	сталевий корпус, хромований шток	2 шт.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення вил-захвату до завантажувача доцільно застосувати конструкційну сталь S235JR. Цей матеріал належить до групи нелегованих конструкційних сталей загального призначення і широко використовується у виробництві зварних металевих конструкцій, які працюють під дією статичних, змінних і помірних ударних навантажень.

Сталь S235JR є близьким сучасним аналогом сталей типу Ст3, що традиційно застосовуються у машинобудуванні, будівельних металоконструкціях і сільськогосподарському машинобудуванні. Її використання для виготовлення вил-захвату є технічно обґрунтованим, оскільки матеріал поєднує достатню міцність, пластичність, добру зварюваність і доступність у вигляді листового, сортового та профільного прокату.

Позначення сталі S235JR характеризує її основні властивості. Літера S вказує на конструкційне призначення сталі, число 235 означає мінімальне значення границі текучості 235 МПа для прокату певної товщини, а індекс JR свідчить про нормовану ударну в'язкість матеріалу за кімнатної температури. Завдяки цьому сталь може використовуватися для виготовлення деталей, які під час експлуатації зазнають згинальних навантажень, ударних впливів і вібрацій.

У конструкції вил-захвату дана сталь може застосовуватися для виготовлення основної несучої рами, поперечних балок, вертикальних стійок, бокових пластин, монтажних кронштейнів, вушок шарнірних з'єднань і підсилювальних елементів. Для нижніх та верхніх робочих зубців також може використовуватися сталь S235JR, однак у разі роботи з ущільненими матеріалами або підвищеними ударними навантаженнями доцільно передбачати збільшений діаметр прутка або застосування сталі з вищою міцністю для найбільш навантажених елементів. Хімічний склад сталі S235JR наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі S235JR, % [3]

C	Mn	Si	P	S	N	Cu
до 0,17	до 1,40	до 0,35	до 0,035	до 0,035	до 0,012	до 0,55

Низький вміст вуглецю у сталі S235JR позитивно впливає на її технологічні властивості. Зокрема, така сталь добре піддається зварюванню, не має значної схильності до утворення загартованих крихких структур у зоні термічного впливу та зазвичай не потребує складної термічної підготовки перед зварюванням. Марганець у складі сталі сприяє підвищенню міцності та покращує якість металу, а обмежений вміст сірки й фосфору зменшує ризик зниження пластичності та появи дефектів у зварних з'єднаннях. Механічні властивості сталі S235JR наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні механічні властивості сталі S235JR [3]

Марка сталі	Стан матеріалу	Границя текучості R_e , МПа	Тимчасовий опір розриву R_m , МПа	Відносне видовження A , %	Ударна в'язкість
S235JR	Гарячекатаний прокат	не менше 235	360–510	не менше 24–26	27 Дж за +20 °C

Наведені властивості свідчать, що сталь S235JR має достатній рівень міцності для виготовлення несучих елементів вил-захвату. Границя текучості не менше 235 МПа забезпечує опір залишковим деформаціям під час дії робочих навантажень, а тимчасовий опір розриву в межах 360–510 МПа характеризує здатність матеріалу витримувати значні силові впливи без руйнування. Висока пластичність сталі є важливою перевагою для деталей, які під час експлуатації можуть зазнавати ударів, вібрацій і нерівномірного навантаження.

Під час роботи вил-захвату найбільші навантаження виникають у місцях кріплення робочих зубців до нижньої поперечної балки, у шарнірних вузлах верхнього притискного механізму, на бокових пластинах, монтажних вушках

і кронштейнах гідроциліндрів. Тому для цих ділянок важливо не лише правильно вибрати матеріал, а й забезпечити достатню товщину металу, якісне зварювання та наявність підсилювальних пластин або ребер жорсткості.

Однією з основних причин вибору сталі S235JR є її добра зварюваність. Під зварюваністю розуміють здатність металу утворювати якісне нероз'ємне з'єднання без істотного погіршення властивостей основного металу, металу шва та зони термічного впливу. Для зварних сільськогосподарських конструкцій це має особливе значення, оскільки виріб працює в умовах змінних навантажень, контакту з вологим органічним середовищем і періодичних ударних впливів.

Попередню оцінку зварюваності сталі виконують за еквівалентним вмістом вуглецю. Цей показник враховує вплив вуглецю та інших хімічних елементів на схильність сталі до утворення твердих структур і тріщин у зоні термічного впливу [4-7].

Еквівалент вуглецю можна визначити за формулою [4]:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

де C, Mn, Cr, Mo, V, Ni, Cu — масова частка відповідних елементів у сталі, %.

$$C_e = 0,17 + \frac{1,40}{6} + \frac{0,55}{15} = 0,440.$$

Одержане значення знаходиться в межах, характерних для сталей із задовільною та доброю зварюваністю. Для більшості конструктивних елементів вил-захвату зі сталі S235JR зварювання може виконуватися без складної термічної підготовки. Водночас під час зварювання деталей значної товщини, масивних монтажних пластин або вузлів із підвищеною жорсткістю доцільно контролювати тепловкладення, уникати надмірного охолодження металу та забезпечувати якісну підготовку поверхонь.

Для отримання якісних зварних з'єднань необхідно дотримуватися встановлених режимів зварювання, забезпечувати правильне положення

деталей під час складання, контролювати розміри зазорів і виконувати прихватки у технологічно обґрунтованій послідовності. Після завершення зварювальних робіт доцільно провести візуальний контроль швів, перевірити відсутність тріщин, підрізів, непроварів, пор і шлакових включень, а також проконтролювати геометричні параметри конструкції.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Матеріали, що застосовуються для виготовлення вил-захвату до завантажувача, повинні забезпечувати необхідну міцність, пластичність, зварюваність і працездатність конструкції в умовах експлуатаційних навантажень. Оскільки виріб працює під час захоплення, піднімання та транспортування силосу, сіна, соломи й інших об'ємних матеріалів, до якості металу та напівфабрикатів висуваються підвищені вимоги.

Для виготовлення основних елементів конструкції допускається застосування конструкційних сталей, придатних для зварювання, з гарантованими показниками хімічного складу та механічних властивостей. Матеріали повинні відповідати вимогам чинних стандартів, технічних умов і робочої конструкторської документації. Якість прокату має підтверджуватися сертифікатом підприємства-виробника або постачальника, у якому зазначаються марка сталі, номер плавки, хімічний склад, механічні характеристики, вид прокату та результати контролю.

Профільний, листовий і сортовий металопрокат, що надходить у виробництво, не повинен мати дефектів, які можуть знизити несучу здатність або довговічність виробу. До таких дефектів належать тріщини, розшарування, значна корозія, глибокі риси, раковини, забоїни, розриви кромки і місцеві пошкодження, що виводять розміри заготовок за допустимі межі. Незначні поверхневі дефекти можуть бути усунені зачищенням або шліфуванням за умови збереження встановленої товщини та геометричних параметрів деталі [8-9].

Перед складанням і зварюванням заготовки повинні бути очищені від окалини, іржі, мастила, фарби, вологи, пилу та інших забруднень. Особливо ретельно необхідно готувати зони майбутніх зварних швів, оскільки сторонні домішки можуть спричинити пористість, непровари, шлакові вclusions або зниження міцності металу шва. Ділянки, які підлягають зварюванню, доцільно очищати до металевого блиску на ширину, достатню для якісного формування шва та прилеглої зони термічного впливу.

Для деталей, які працюють у шарнірних вузлах, зокрема пальців, втулок, монтажних вушок і кронштейнів гідроциліндрів, необхідно забезпечити підвищену точність виготовлення та відповідність матеріалу умовам роботи. У місцях тертя або обертання доцільно передбачати втулки, змащування або конструктивні рішення, що зменшують зношування отворів і збільшують ресурс вузла.

Додаткові вимоги до матеріалів, зокрема щодо ударної в'язкості, класу міцності, стану поверхні, виду прокату, допустимих відхилень і способу контролю, повинні зазначатися в технічній документації на виріб.

Геометрична точність вил-захвату має забезпечувати правильне встановлення виробу на завантажувач, рівномірне навантаження робочих зубців і безпечну роботу верхнього притискного механізму. Основними контрольованими параметрами є загальна ширина виробу, довжина нижніх зубців, крок між зубцями, висота монтажної частини, паралельність і прямолінійність елементів, а також співвісність отворів у шарнірних з'єднаннях.

Відхилення габаритних і приєднувальних розмірів не повинні перевищувати значень, установлених кресленнями та технічними умовами. Для монтажних елементів, які забезпечують приєднання вил-захвату до базової машини, точність виготовлення має особливе значення, оскільки навіть незначне зміщення отворів або перекіс кронштейнів може ускладнити

встановлення виробу, викликати нерівномірне передавання навантаження або призвести до прискореного зношування пальців.

Робочі зубці повинні бути розташовані рівномірно по ширині конструкції. Не допускається їх помітне відхилення від заданого напрямку, перекіс у вертикальній або горизонтальній площині, а також місцеве викривлення, яке може погіршити входження зубців у силосну масу. Верхній притискний захват повинен вільно переміщуватися у всьому робочому діапазоні без заїдань, перекосів і контакту з нерухомими елементами рами.

Шорсткість поверхонь більшості деталей вил-захвату не є визначальним показником працездатності, оскільки виріб не належить до високоточних механізмів. Для необроблюваних і зварних поверхонь допускається технічна шорсткість, характерна для листового, сортового та профільного прокату. Водночас поверхні отворів під пальці, втулки й шарнірні з'єднання повинні мати якість оброблення, достатню для нормальної роботи рухомих вузлів і запобігання інтенсивному зношуванню.

Після виконання зварювання необхідно контролювати залишкові деформації конструкції. Особливу увагу слід приділяти паралельності зубців, симетричності бокових пластин, положенню монтажних вушок, прямолінійності поперечних балок і правильності встановлення кронштейнів гідроциліндрів. За потреби допускається виправлення деформацій механічним способом, якщо воно не погіршує властивості металу та не порушує цілісність зварних з'єднань.

Зварні з'єднання вил-захвату повинні забезпечувати надійне передавання робочих зусиль між елементами конструкції. Розташування швів необхідно передбачати таким чином, щоб забезпечити доступність для виконання зварювання, очищення, візуального огляду, контролю якості та можливого ремонту [10-12].

Під час проектування та виготовлення зварних вузлів слід уникати різких переходів перерізу, гострих вирізів, надмірного скупчення швів в одній

зоні та конструктивних рішень, що спричиняють концентрацію напружень. У найбільш навантажених ділянках — біля основи нижніх зубців, у вузлах кріплення верхнього захвату, у місцях встановлення гідроциліндрів і монтажних пластин — доцільно передбачати підсилювальні косинки, накладки або плавні переходи.

Типи, розміри та розташування зварних швів повинні відповідати робочим кресленням. Катет кутових швів, довжина зварювання, послідовність накладання швів і вимоги до їх виконання встановлюються з урахуванням товщини металу, характеру навантаження та призначення конкретного вузла.

Для забезпечення стабільної якості зварювання виробництво доцільно організовувати відповідно до принципів системи якості для зварювання плавленням, установлених ДСТУ EN ISO 3834. Для виробу такого типу раціонально приймати стандартний рівень вимог до якості, оскільки конструкція працює під дією змінних навантажень і має відповідальні зварні вузли.

Зварювання повинно виконуватися за затвердженою технологією із застосуванням справного обладнання, відповідних зварювальних матеріалів і підготовленого персоналу. Зварники, які виконують відповідальні шви, повинні мати підтверджену кваліфікацію для зварювання сталей відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 9606-1:2016.

Складання деталей вил-захвату перед зварюванням повинно забезпечувати точне взаємне положення всіх елементів і можливість виконання швів у передбаченій технологічній послідовності. Для цього необхідно застосовувати складально-зварювальні пристосування, шаблони, упори, затискачі або кондуктори, які забезпечують стабільність геометрії виробу під час прихватки та основного зварювання.

Перед складанням необхідно перевірити відповідність заготовок кресленням, відсутність видимих дефектів, правильність підготовки кромки,

чистоту поверхонь і наявність необхідних отворів або посадкових місць. Деталі з пошкодженнями, значними відхиленнями розмірів або дефектами металу не допускаються до складання без попереднього виправлення та повторного контролю.

Зазори між деталями, форма підготовки кромek, величина притуплення та положення елементів повинні відповідати кресленням і технологічним картам. Надмірні зазори або зміщення деталей не допускаються, оскільки вони можуть призвести до збільшення об'єму наплавленого металу, підвищення зварювальних деформацій і зниження якості з'єднання.

Прихватки повинні виконуватися в такій послідовності, щоб запобігти зміщенню деталей і мінімізувати перекіс конструкції. Вони мають бути достатніми за довжиною та перерізом для надійної фіксації заготовок, але не повинні заважати подальшому виконанню основних швів. Якщо прихватки залишаються у складі зварного з'єднання, їх необхідно очищати та контролювати так само, як і основний шов.

До основного зварювання дозволяється переходити лише після перевірки правильності складання. Контролю підлягають положення нижніх зубців, монтажної рами, бокових пластин, шарнірних вушок, кронштейнів гідроциліндрів, верхнього притискного захвату та підсилювальних елементів. Після перевірки конструкція повинна бути закріплена так, щоб під час зварювання не виникло неконтрольованих переміщень.

Якість зварних з'єднань повинна відповідати вимогам конструкторської документації, технологічного процесу та чинних нормативних документів. Під час оцінювання допустимості дефектів доцільно орієнтуватися на ДСТУ EN ISO 5817:2022, який встановлює рівні якості зварних швів під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів залежно від наявних дефектів..

Для вил-захвату, що працюють в умовах сільськогосподарської експлуатації, доцільно приймати не нижче середнього рівня якості для відповідальних зварних з'єднань, а для менш навантажених швів — рівень, визначений технічною документацією. Найбільш відповідальні шви в місцях кріплення робочих зубців, монтажних пластин, шарнірних вушок і кронштейнів гідроциліндрів повинні підлягати ретельнішому контролю.

У зварних з'єднаннях не допускаються тріщини будь-якого типу й напрямку, незаварені кратери, грубі подрізи, значні напливи, пропали, непровари, скупчення пор, шлакові включення та інші дефекти, які знижують міцність або можуть стати початком руйнування. Поверхня шва повинна бути рівномірною, без різких переходів до основного металу, а його форма та розміри мають відповідати кресленню.

Контроль якості зварювання необхідно проводити поетапно. До зварювання перевіряють якість підготовки деталей, чистоту поверхонь, відповідність зазорів і правильність складання. Під час виконання робіт контролюють режим зварювання, послідовність накладання швів, справність обладнання та стан зварювальних матеріалів. Після завершення зварювання виконують візуальний і вимірювальний контроль швів, а для відповідальних вузлів за потреби можуть застосовуватися додаткові методи неруйнівного контролю.

У разі виявлення недопустимих дефектів дефектна ділянка повинна бути видалена механічним способом до чистого металу з подальшим повторним заварюванням. Після ремонту зона зварювання підлягає повторному контролю. Не допускається залишати дефекти в місцях, які працюють під дією згинальних, ударних або змінних навантажень.

Оскільки вила-захват експлуатуються в умовах контакту з вологими органічними матеріалами, ґрунтом, атмосферними опадами та залишками добрив, конструкція повинна мати захисне покриття. Після завершення зварювання та контролю якості поверхні виробу необхідно очистити від

бризок металу, шлаку, окалини, іржі, пилу та залишків технологічних забруднень.

Перед нанесенням лакофарбового покриття поверхню доцільно знежирити та за потреби обробити механічним або абразивним способом. Захисне покриття повинно забезпечувати стійкість металу до корозії протягом установленого строку експлуатації. Особливу увагу необхідно приділяти важкодоступним зонам, стикам, кутам, місцям біля зварних швів і ділянкам навколо кронштейнів, де може накопичуватися волога та органічні залишки.

Робочі зубці можуть мати посилене або зносостійке покриття, якщо це передбачено умовами експлуатації. Допускається фарбування конструкції в сигнальні кольори для кращої видимості робочих елементів під час експлуатації. Гідроциліндри, рукави високого тиску, пальці та шарнірні з'єднання повинні бути змонтовані так, щоб не порушити цілісність захисного покриття та забезпечити можливість подальшого технічного обслуговування.

Конструкція вил-захвату повинна забезпечувати безпечне виконання робіт під час захоплення, піднімання, транспортування та розвантаження матеріалу. Усі елементи, які сприймають робочі навантаження, повинні мати достатній запас міцності та жорсткості. Не допускається наявність гострих задирок, незачищених кромek, виступів або дефектів, які можуть травмувати персонал під час монтажу, обслуговування чи ремонту.

Шарнірні з'єднання верхнього захвату повинні працювати плавно, без заклинювання та надмірного люфту. Пальці мають бути зафіксовані від самовільного випадання. Рукави високого тиску необхідно прокладати так, щоб під час руху захвату вони не перегиналися, не затискалися між елементами конструкції та не контактували з гострими кромками.

Перед введенням виробу в експлуатацію необхідно перевірити надійність кріплення вил-захвату до завантажувача, працездатність гідроциліндрів, відсутність витоків робочої рідини, справність шарнірів,

правильність закривання верхнього захвату та відповідність геометрії конструкції робочим кресленням. У процесі експлуатації необхідно періодично оглядати стан зварних швів, зубців, монтажних пластин, гідравлічних рукавів і шарнірних вузлів.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу

Основа вил-захвату до завантажувача є зварною металевою конструкцією, що складається з окремих профільних, листових і сортових елементів, жорстко з'єднаних між собою. До складу виробу входять робочі зубці, поперечні балки, бокові пластини, монтажні кронштейни, підсилювальні косинки, елементи верхнього притискного захвату та деталі шарнірних вузлів. Надійність такої конструкції значною мірою залежить від точності виготовлення заготовок, правильності їх взаємного розташування під час складання та якості виконання зварних з'єднань.

Існуючий технологічний процес виготовлення вил-захвату передбачає послідовне виконання комплексу заготівельних, складальних, зварювальних і контрольних операцій. На початковому етапі здійснюють підготовку металопрокату, його розмічування та різання на заготовки відповідно до розмірів, зазначених у робочій документації. Для виготовлення основних елементів використовують профільні труби, круглий пруток для робочих зубців, а також листовий прокат для пластин, вушок, кронштейнів і підсилювальних деталей.

Після підготовки заготовок виконують виготовлення окремих складових частин конструкції. Насамперед формують поперечні балки та елементи монтажної рами, які є базою для подальшого складання виробу. Окремо виготовляють нижні робочі зубці, верхні притискні зубці, бокові пластини та деталі шарнірного кріплення. Листові елементи вирізають відповідно до заданої конфігурації, після чого за необхідності виконують

свердління отворів, зачищення кромek і підготовку поверхонь до зварювання.

Наступним етапом є складання основи вил-захвату. Для цього заготовки встановлюють у складально-зварювальне пристосування або кондуктор, який забезпечує правильне взаємне положення деталей. У кондукторі фіксують поперечні балки, робочі зубці, бокові елементи та підсилювальні пластини. Після перевірки геометричних параметрів виконують прихватки, які забезпечують тимчасове закріплення деталей перед основним зварюванням.

При виготовленні подібних решітчастих і рамних конструкцій у виробничих умовах часто застосовують метод складання за копіром. Його суть полягає в тому, що перший зразок конструкції складають за розміткою та закріплюють на робочому стелажі. Надалі він використовується як базовий шаблон для складання наступних однотипних виробів. Деталі кожної наступної конструкції розміщують відносно копірного зразка, суміщають за основними базовими лініями та фіксують прихватками.

Після прихвачування складену частину конструкції знімають із копіра, встановлюють на стелаж, за потреби повертають у зручне положення та доповнюють відсутніми парними елементами. Після цього виконують остаточне прихвачування, перевіряють розміри та передають виріб на основне зварювання. Такий спосіб є відносно простим і не потребує складного оснащення, однак він не завжди забезпечує достатню точність розташування деталей, особливо у вузлах із монтажними отворами, шарнірними з'єднаннями та кронштейнами приєднання до навантажувача.

Основним недоліком складання за копіром є накопичення похибок під час багаторазового повторення операцій. Навіть незначне зміщення базових елементів може призвести до порушення міжосьових відстаней, перекосу монтажних пластин, нерівномірного розташування зубців або відхилення рами від заданої геометрії. Для вил-захвату це особливо важливо, оскільки

виріб повинен точно приєднуватися до навісної системи завантажувача, а верхній притискний захват має працювати без заїдань і перекосів.

Для підвищення точності складання доцільно застосовувати спеціалізований складально-зварювальний кондуктор із базовими упорами, притискачами та змінними фіксаторами. Такі елементи дозволяють точно задавати положення робочих зубців, монтажних вушок, бокових пластин, кронштейнів гідроциліндрів і шарнірних отворів. Використання фіксаторів особливо важливе для деталей із монтажними отворами, оскільки саме вони визначають правильність встановлення виробу на базову машину.

Після складання і прихвачування виконують основне зварювання конструкції. У наявному технологічному процесі зварювання може виконуватися ручним або напівавтоматичним способом без достатнього обґрунтування режимів. При цьому якість з'єднань значною мірою залежить від кваліфікації зварника, стабільності параметрів процесу, положення виробу під час зварювання та правильності послідовності накладання швів. У разі нераціонального вибору режимів можливе утворення надмірних деформацій, підрізів, непроварів, пористості або нерівномірного формування шва.

Контроль якості в існуючому процесі переважно здійснюється візуально. Такий контроль дає змогу виявити зовнішні дефекти, зокрема тріщини, підрізи, напливи, незаварені кратери, нерівномірність шва та помітні відхилення геометрії. Однак лише візуального контролю недостатньо для відповідальних вузлів, які працюють під дією змінних і ударних навантажень. До таких зон належать місця кріплення нижніх зубців до поперечної балки, монтажні пластини, шарнірні вушка верхнього захвату та кронштейни гідроциліндрів.

Аналіз існуючого технологічного процесу показує, що він має низку недоліків, які можуть негативно впливати на якість і продуктивність виготовлення виробу. До основних проблем належать використання

морально застарілого обладнання, недостатня точність складальних операцій, обмежене застосування спеціалізованих пристосувань, нераціональний вибір способу зварювання та відсутність достатньо обґрунтованих параметрів режиму зварювання. Крім того, не завжди забезпечується стабільна повторюваність геометричних розмірів виробу під час серійного виготовлення.

З метою вдосконалення технологічного процесу виготовлення вил-захвату необхідно передбачити комплекс технічних і технологічних заходів. Насамперед доцільно розробити більш раціональну послідовність складально-зварювальних операцій, яка дозволить зменшити залишкові деформації та підвищити точність конструкції. Важливим напрямом є застосування спеціального кондуктора, що забезпечить фіксацію деталей у проектному положенні та скоротить час складання.

Для підвищення якості зварних з'єднань необхідно виконати вибір і розрахунок параметрів режиму зварювання з урахуванням товщини металу, типу з'єднання, просторового положення шва та марки сталі. До таких параметрів належать сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість зварювання, діаметр електродного дроту або електрода, витрата захисного газу, кількість проходів і послідовність накладання швів.

Раціональним напрямом удосконалення є впровадження напівавтоматичного зварювання в середовищі захисних газів, що забезпечує вищу продуктивність, стабільніше формування шва, меншу трудомісткість і кращу повторюваність якості порівняно з ручним дуговим зварюванням. Для серійного виготовлення виробу також доцільно застосовувати сучасне зварювальне обладнання з можливістю регулювання режимів, стабілізації дуги та контролю основних параметрів процесу.

У межах роботи необхідно вирішити такі основні завдання:

— проаналізувати конструкцію вил-захвату та визначити найбільш відповідальні зварні вузли;

- уточнити послідовність виготовлення заготовок, складання та зварювання виробу;
- вибрати раціональний спосіб зварювання з урахуванням матеріалу, товщини елементів і умов виробництва;
- розрахувати параметри режиму зварювання для основних з'єднань;
- запропонувати складально-зварювальне пристосування для забезпечення точності складання;
- зменшити вплив зварювальних деформацій за рахунок правильної послідовності накладання швів;
- передбачити контроль якості зварних з'єднань і геометричних параметрів виробу;
- підвищити технологічність, продуктивність і стабільність виготовлення вил-захвату.

Удосконалення існуючого технологічного процесу повинно бути спрямоване на підвищення точності складання, забезпечення стабільної якості зварних з'єднань, зменшення трудомісткості виготовлення та впровадження більш ефективного зварювального обладнання.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Раціональний вибір способу зварювання є важливою умовою забезпечення міцності, надійності та технологічності виготовлення вил-захвату до завантажувача. Оскільки виріб є просторовою зварною металоконструкцією, що складається з профільного, листового та сортового прокату, технологія зварювання повинна забезпечувати стабільну якість швів, достатню продуктивність і можливість виконання з'єднань у різних просторових положеннях.

Конструкція вил-захвату включає несучу раму, нижні робочі зубці, верхній притискний механізм, бокові пластини, монтажні кронштейни, шарнірні вушка, підсилювальні косинки та вузли кріплення гідроциліндрів. У більшості випадків ці елементи з'єднуються кутовими, тавровими та нахлестковими швами. Частина швів має невелику довжину, частина виконується на деталях різної товщини, а окремі з'єднання розташовані в місцях з обмеженим доступом. Тому обраний спосіб зварювання повинен бути універсальним і придатним для виготовлення всієї конструкції без суттєвого ускладнення технологічного процесу.

Для виготовлення таких виробів можуть застосовуватися ручне дугове зварювання покритими електродами, зварювання під шаром флюсу, газове зварювання, плазмове зварювання та механізоване зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів. Кожен із цих способів має свої технологічні особливості, однак їх доцільність для даної конструкції є різною.

Ручне дугове зварювання покритими електродами характеризується простотою обладнання та можливістю виконання швів у важкодоступних місцях. Проте для виготовлення вил-захвату цей спосіб не є найбільш раціональним, оскільки має порівняно низьку продуктивність, потребує

періодичної заміни електродів і видалення шлаку, а якість шва значною мірою залежить від кваліфікації зварника. При значній кількості однотипних швів це ускладнює забезпечення стабільної якості виробу [5].

Зварювання під шаром флюсу забезпечує високу продуктивність і надійний захист зварювальної ванни. Однак цей спосіб найбільш ефективний для довгих прямолінійних швів, які виконуються переважно в нижньому положенні. Конструкція вил-захвату містить багато коротких швів, кронштейнів, косинок, монтажних пластин і просторово розміщених вузлів, тому використання зварювання під флюсом у цьому випадку є недостатньо зручним і технологічно обмеженим [5].

Газове зварювання для даної конструкції також є малоефективним через невисоку продуктивність, значну зону термічного впливу та підвищену ймовірність виникнення деформацій. Плазмове зварювання має високу концентрацію теплової енергії, однак потребує складнішого обладнання та є економічно невиправданим для виробу, у якому переважають типові кутові й таврові шви на деталях середньої товщини [5].

Найбільш доцільним для виготовлення вил-захвату є механізоване зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів, тобто напівавтоматичне MAG-зварювання. При цьому способі електродний дріт безперервно подається в зону дуги, розплавляється разом з основним металом і формує зварний шов. Захисний газ ізолює розплавлений метал від дії кисню, азоту та вологи повітря, що сприяє отриманню якісного зварного з'єднання.

Перевагою MAG-зварювання є поєднання високої продуктивності, стабільного горіння дуги та доброго формування шва. Цей спосіб дає змогу виконувати з'єднання на профільних трубах, листових деталях, кронштейнах, підсилювальних косинках і монтажних елементах без значного ускладнення технологічного процесу. Крім того, зварник має можливість безпосередньо

спостерігати за дугою та зварювальною ванною, що полегшує керування процесом і підвищує якість виконання шва [5].

Для виготовлення вил-захвату приймається напівавтоматичне МАГ-зварювання в середовищі захисної газової суміші. Такий спосіб забезпечує необхідну міцність з'єднань, зменшує трудомісткість зварювальних робіт, скорочує обсяг післязварювального очищення та дозволяє отримувати стабільні за якістю шви на різних елементах конструкції.

Оскільки вила-захват виготовляються зі сталі S235JR або близької за властивостями конструкційної низьковуглецевої сталі, метал шва повинен мати достатню міцність, пластичність і стійкість до утворення дефектів.

Для зварювання конструкції доцільно застосовувати суцільний оміднений зварювальний дріт ОК Autrod 12.51. Цей дріт призначений для МАГ-зварювання нелегованих і низьколегованих конструкційних сталей та добре підходить для з'єднання деталей зі сталі S235JR. Його використання забезпечує стабільне горіння дуги, якісне формування шва та необхідні механічні властивості наплавленого металу.

Дріт ОК Autrod 12.51 містить марганець і кремній, які покращують перебіг металургійних процесів у зварювальній ванні. Марганець сприяє підвищенню міцності металу шва та зменшує негативний вплив сірки, а кремній виконує роль розкислювача, покращує формування валика й знижує ймовірність появи пористості. Завдяки цьому забезпечується якісне зварювання як профільних труб, так і листових елементів, монтажних пластин, кронштейнів та підсилювальних деталей [14-15].

Орієнтовний хімічний склад дроту ОК Autrod 12.51 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Орієнтовний хімічний склад дроту ОК Autrod 12.51, % [14]

Марка дроту	C	Mn	Si	S	P
ОК Autrod 12.51	0,06– 0,14	1,40– 1,60	0,80– 1,00	не більше 0,025	не більше 0,025

Діаметр зварювального дроту вибирають залежно від товщини деталей, типу зварного з'єднання, просторового положення шва та параметрів режиму зварювання. Для елементів рами, монтажних пластин, підсилювальних косинок і вузлів кріплення робочих зубців доцільним є застосування дроту діаметром 1,0–1,2 мм. Такий діапазон забезпечує стабільну подачу дроту, достатню продуктивність наплавлення та можливість якісного формування кутових і таврових швів.

Як захисне середовище для MAG-зварювання приймається газова суміш M21 ($\text{Ar} + 18\text{--}20\% \text{CO}_2$). Порівняно з чистим вуглекислим газом така суміш забезпечує стабільніше горіння дуги, зменшує розбризкування металу, покращує зовнішній вигляд шва та знижує трудомісткість очищення виробу після зварювання. Це важливо для конструкції, яка після завершення зварювальних робіт підлягає очищенню, ґрунтуванню та фарбуванню [5-19].

Використання чистого CO_2 є економічно дешевшим, однак воно часто супроводжується більшим розбризкуванням, грубішим формуванням шва та збільшенням обсягу зачищення. Тому для виготовлення вил-захвату більш раціональним є застосування газової суміші на основі аргону з додаванням вуглекислого газу, яка забезпечує кращу стабільність процесу та вищу якість поверхні шва.

Зварювальний дріт повинен постачатися з документом про якість, у якому зазначаються його марка, хімічний склад, діаметр, номер партії та відповідність нормативним вимогам. Перед використанням необхідно перевірити стан поверхні дроту. Не допускається наявність іржі, мастила, вологи, пилу або механічних пошкоджень, оскільки такі дефекти можуть порушити стабільність подачі, погіршити горіння дуги та спричинити появу пор у металі шва.

Зберігати дріт необхідно в сухому приміщенні, у заводській упаковці або в умовах, які унеможливають його зволоження та забруднення. Перед установленням котушки в механізм подачі потрібно перевірити її стан, а

також справність подавальних роликів, контактного наконечника, газового сопла та рукава пальника. Стабільна подача дроту і рівномірний газовий захист є необхідними умовами отримання якісного зварного з'єднання.

Для виготовлення вил-захвату до завантажувача приймається напівавтоматичне MAG-зварювання дротом ОК Autrod 12.51 у середовищі газової суміші M21 ($\text{Ar} + 18\text{--}20\% \text{CO}_2$). Таке рішення забезпечує раціональне поєднання продуктивності, якості зварних з'єднань, технологічної зручності та економічної доцільності для виготовлення просторової зварної конструкції сільськогосподарського призначення.

Для забезпечення необхідної якості зварних з'єднань силосних вил-захвату необхідно правильно підібрати основні параметри режиму зварювання. До таких параметрів належать діаметр електродного дроту, сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість подачі дроту, швидкість зварювання, виліт електродного дроту та витрата захисного газу. Розрахунок виконуємо згідно джерела [17].

У виробі переважно застосовуються таврові, кутові та напусткові з'єднання. Найбільш відповідальними є шви в місцях кріплення робочих зубців до поперечної балки, з'єднання монтажних пластин із рамою, шви підсилювальних косинок і кронштейнів гідроциліндрів.

Для розрахунку приймаємо зварювальний дріт ОК Autrod 12.51. Орієнтовний діаметр дроту для більшості з'єднань даної конструкції приймаємо: $d_d = 1,2 \text{ мм}$.

Зварювання виконується в середовищі газової суміші $\text{Ar} + 18\text{--}20\% \text{CO}_2$. Коефіцієнт корисної дії дуги приймаємо: $\eta = 0,75$

Виліт електродного дроту приймаємо за залежністю:

$$L_{\text{ед}} = 10d_d = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ мм}$$

1. Розрахунок режиму зварювання стикового з'єднання профільних елементів рами

Стикові з'єднання можуть застосовуватися під час виготовлення окремих елементів рами, поперечин або профільних деталей. Для розрахунку приймаємо з'єднання типу С2 для металу товщиною $S = S_1 = 4$ мм

Конструктивні параметри з'єднання: $b = 1$ мм; $c = 2$ мм; $g = 1,5$ мм

Розрахункова глибина проплавлення визначається за формулою:

$$h_p = S - 0,5b$$

$$h_p = 4 - 0,5 \cdot 1 = 3,5 \text{ мм}$$

Орієнтовний діаметр електродного дроту можна визначити за залежністю:

$$d_e = \sqrt[4]{h_p} \pm 0,05h_p$$

$$d_e = \sqrt[4]{3,5} \pm 0,05 \cdot 3,5 = 1,37 \pm 0,175 \text{ мм}$$

З урахуванням прийнятого способу зварювання та уніфікації технологічного процесу приймаємо $d_d = 1,2$ мм.

Силу зварювального струму визначаємо за формулою:

$$I_{зв} = 140d_d^{1,5} + 35$$

$$I_{зв} = 140 \cdot 1,2^{1,5} + 35 = 219 \text{ А}$$

Приймаємо: $I_{зв} = 220 \text{ А}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 15 + 0,05I_{зв}$$

$$U_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 220 = 26 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п,д} = 1,9 \frac{I_{зв}}{d_d^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{I_{зв}^2}{d_d^3}$$

$$V_{п,д} = 1,9 \frac{220}{1,2^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{220^2}{1,2^3} = 360 \text{ м/год}$$

або: $V_{п,д} = 6,0 \text{ м/хв}$

Швидкість зварювання визначаємо за залежністю:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}$$

де $A = (5 \dots 8) \cdot 10^3 \text{ А} \cdot \text{м/год}$. Приймаємо:

$$A = 6 \cdot 10^3 \text{ А м/год}$$

$$V_{зв} = \frac{6000}{220} = 27,3 \text{ м/год}$$

Для забезпечення стабільного формування шва приймаємо:

$$V_{зв} = 25 \dots 27 \text{ м/год}$$

Витрата захисного газу:

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03 I_{зв}$$

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03 \cdot 220 = 10,1 \text{ л/хв}$$

Приймаємо: $q_{з.г} = 10 \dots 12 \text{ л/хв}$

2. Розрахунок режиму зварювання напусткового з'єднання підсилювальних пластин і косинок

Напусткові з'єднання застосовуються під час приварювання підсилювальних косинок, накладок, ребер жорсткості та окремих листових елементів до рами. Для розрахунку приймаємо з'єднання типу Н1.

Вихідні дані: $S = 4 \text{ мм}$; $S_1 = 8 \text{ мм}$; $b = 1 \text{ мм}$; $k = 5 \text{ мм}$

Розрахункова висота шва:

$$h = k - 0,5b$$

$$h = 5 - 0,5 \cdot 1 = 4,5 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр електродного дроту: $d_d = 1,2 \text{ мм}$

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = 140 d_d^{1,5} + 35$$

$$I_{зв} = 140 \cdot 1,2^{1,5} + 35 = 219 \text{ А}$$

Приймаємо: $I_{зв} = 220 \text{ А}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 15 + 0,05 I_{зв}$$

$$U_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 220 = 26 \text{ В}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{п,д} = 1,9 \frac{220}{1,2^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{220^2}{1,2^3}$$

$$V_{п,д} = 360 \text{ м/год} = 6,0 \text{ м/хв}$$

Швидкість зварювання для напусткового з'єднання приймаємо за залежністю:

$$V_{зв} = 21 - 0,175h$$

$$V_{зв} = 21 - 0,175 \cdot 4,5 = 20,2 \text{ м/год}$$

Приймаємо: $V_{зв} = 20 \text{ м/год}$

Витрата захисного газу:

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03I_{зв}$$

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03 \cdot 220 = 10,1 \text{ л/хв}$$

Приймаємо: $q_{з.г} = 10...12 \text{ л/хв}$

3. Розрахунок режиму зварювання таврового з'єднання елементів рами

Таврові з'єднання застосовуються під час приварювання вертикальних стійок до поперечних балок, бокових пластин до рами, а також окремих елементів верхнього притискного захвату. Для розрахунку приймаємо з'єднання типу Т1.

Вихідні дані: $S = 6 \text{ мм}$; $S_1 = 6 \text{ мм}$; $b = 1,5 \text{ мм}$; $k = 6 \text{ мм}$

Розрахункова висота шва:

$$h = k - 0,5b$$

$$h = 6 - 0,5 \cdot 1,5 = 5,25 \text{ мм}$$

Орієнтовний діаметр дроту:

$$d_e = \sqrt[4]{h} \pm 0,05h$$

$$d_e = \sqrt[4]{5,25} \pm 0,05 \cdot 5,25 = 1,51 \pm 0,26 \text{ мм}$$

Для виконання з'єднання приймаємо: $d_d = 1,2 \text{ мм}$

Зварювання шва з катетом 6 мм виконується за один або два проходи залежно від просторового положення та доступу до зони зварювання.

Сила зварювального струму:

$$I_{зв} = 140d_{д}^{1,5} + 35$$

$$I_{зв} = 140 \cdot 1,2^{1,5} + 35 = 219 \text{ А}$$

Приймаємо для даного з'єднання: $I_{зв} = 220 \dots 230 \text{ А}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 15 + 0,05I_{зв}$$

При $I_{зв} = 230 \text{ А}$:

$$U_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 230 = 26,5 \text{ В}$$

Приймаємо: $U_{зв} = 26 \dots 27 \text{ В}$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{п.д} = 1,9 \frac{230}{1,2^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{230^2}{1,2^3} = 380 \text{ м/год}$$

або $V_{п.д} = 6,3 \text{ м/хв}$

Швидкість зварювання приймаємо з урахуванням катета шва та необхідності якісного проплавлення $V_{зв} = 18 \dots 21 \text{ м/год}$

Витрата захисного газу:

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03I_{зв}$$

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03 \cdot 230 = 10,4 \text{ л/хв}$$

Приймаємо: $q_{з.г} = 10 \dots 12 \text{ л/хв}$

4. Розрахунок режиму зварювання вузла кріплення робочих зубців до поперечної балки

Найбільш навантаженим у конструкції силосних вил є вузол кріплення нижніх робочих зубців до поперечної балки. Під час роботи на ці шви діють згинальні, ударні та змінні навантаження. Для цього вузла доцільно застосовувати таврове або кутове з'єднання з підсиленням.

Вихідні дані: $S = 8 \text{ мм}$; $S_1 = 10 \text{ мм}$; $b = 1,5 \text{ мм}$; $k = 8 \text{ мм}$

Розрахункова висота шва:

$$h = k - 0,5b$$

$$h = 8 - 0,5 \cdot 1,5 = 7,25 \text{ мм}$$

Орієнтовний діаметр електродного дроту:

$$d_e = \sqrt[4]{h} \pm 0,05h$$

$$d_e = \sqrt[4]{7,25} \pm 0,05 \cdot 7,25 = 1,64 \pm 0,36 \text{ мм}$$

Для даного вузла приймаємо дрiт: $d_d = 1,2 \text{ мм}$

Оскільки катет шва становить 8 мм, зварювання доцільно виконувати не одним надмірно великим проходом, а у два проходи. Це дозволяє покращити формування шва, зменшити ризик непровару та знизити ймовірність перегріву металу.

Сила зварювального струму для посиленого шва $I_{зв} = 240 \text{ А}$

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 15 + 0,05I_{зв}$$

$$U_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 240 = 27 \text{ В}$$

Швидкість подачі дроту:

$$V_{п.д} = 1,9 \frac{240}{1,2^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{240^2}{1,2^3} = 400 \text{ м/год}$$

або $V_{п.д} = 6,7 \text{ м/хв}$

Швидкість зварювання для відповідального з'єднання приймаємо меншою, ніж для звичайних кутових швів $V_{зв} = 14...17 \text{ м/год}$

Витрата захисного газу:

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03I_{зв}$$

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03 \cdot 240 = 10,7 \text{ л/хв}$$

Приймаємо: $q_{з.г} = 11...13 \text{ л/хв}$

Для даного вузла також необхідно забезпечити симетричну послідовність накладання швів з обох боків зубця, щоб зменшити переки і залишкові деформації.

5. Розрахунок режиму зварювання кронштейнів гідроциліндрів і монтажних вушок

Кронштейни гідроциліндрів, монтажні вушка та бокові пластини сприймають значні зусилля від роботи верхнього притискного захвату. Тому

шви в цих місцях повинні мати достатню несучу здатність і виконуватися з повним дотриманням заданого режиму.

Вихідні дані: $S = 10$ мм; $S_1 = 8$ мм; $b = 1,5$ мм; $k = 7$ мм

Розрахункова висота шва:

$$h = k - 0,5b$$

$$h = 7 - 0,5 \cdot 1,5 = 6,25 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр дроту: $d_d = 1,2$ мм

Сила зварювального струму: $I_{зв} = 230 \dots 240$ А

Приймаємо: $I_{зв} = 230$ А

Напруга дуги:

$$U_{зв} = 15 + 0,05I_{зв}$$

$$U_{зв} = 15 + 0,05 \cdot 230 = 26,5 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д} = 1,9 \frac{230}{1,2^2} + 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{230^2}{1,2^3} = 380 \text{ м/год} = 6,3 \text{ м/хв}$$

Швидкість зварювання $V_{зв} = 16 \dots 19$ м/год

Витрата захисного газу:

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03I_{зв}$$

$$q_{з.г} = 3,5 + 0,03 \cdot 230 = 10,4 \text{ л/хв}$$

Приймаємо $q_{з.г} = 10 \dots 12$ л/хв

Таблиця 2.2 – Розраховані режими MAG-зварювання для виготовлення силосних вил-захвату

Тип з'єднання	Застосування у конструкції	Товщина елементів, мм	Катет шва, мм	Дріт	$I_{зв}$, А	$U_{зв}$, В	$V_{п.д}$, м/хв	$V_{зв}$, м/год	Витрата газу, л/хв
C2	Стикове з'єднання профільних елементів рами	4 + 4	—	OK Autrod 12.51 Ø1,2 мм	220	26	6,0	25–27	10–12
H1	Приварювання підсилювальни	4 + 8	5	OK Autrod 12.51	220	26	6,0	20	10–12

	х пластин і косинок			Ø1,2 мм					
T1	З'єднання стійок із поперечними балками	6 + 6	6	OK Autrod 12.51 Ø1,2 мм	220– 230	26– 27	6,0– 6,3	18– 21	10–12
T2	Кріплення робочих зубців до поперечної балки	8 + 10	8	OK Autrod 12.51 Ø1,2 мм	240	27	6,7	14– 17	11–13
T3	Кронштейни гідроциліндрів і монтажні вушка	8 + 10	7	OK Autrod 12.51 Ø1,2 мм	230	26,5	6,3	16– 19	10–12

Наведені режими є базовими для технологічного процесу виготовлення силосних вил-захвату. Під час практичного впровадження вони можуть уточнюватися залежно від фактичної товщини деталей, просторового положення шва, довжини з'єднання, типу зварювального обладнання та результатів пробного зварювання контрольних зразків.

2.2 Вибір зварювального устаткування

Для реалізації технологічного процесу виготовлення силосних вил-захвату прийнято напівавтоматичне MAG-зварювання плавким електродним дротом у середовищі захисної газової суміші $\text{Ar} + 18\text{--}20\% \text{CO}_2$. З урахуванням цього зварювальне обладнання повинно забезпечувати стабільне горіння дуги, рівномірну подачу електродного дроту, точне регулювання параметрів режиму та якісний газовий захист зони зварювання.

Оскільки конструкція вил-захвату містить велику кількість кутових, таврових і напусткових з'єднань та шви виконуються на елементах різної товщини, тому джерело живлення повинно мати достатній запас за зварювальним струмом, стабільні характеристики дуги та можливість роботи у тривалому виробничому режимі.

Для виконання зварювальних робіт доцільно застосувати сучасну промислову систему Kemppi X5 FastMig 400 Pulse (рис. 2.1). Це Інверторне обладнання, призначене для високопродуктивного MIG/MAG-зварювання сталей, нержавіючих сталей та алюмінієвих сплавів. Система має модульну будову, може комплектуватися окремим механізмом подачі дроту, пальником відповідного струмового навантаження, транспортним візком, блоком охолодження та газовою апаратурою.



Рис. 2.1 Зварювальна система Kemppi X5 FastMig 400 Pulse [15]

Основною перевагою Kemppi X5 FastMig 400 Pulse є наявність синергетичного та імпульсного керування процесом. Синергетичні режими спрощують налаштування параметрів зварювання, оскільки після вибору типу матеріалу, діаметра дроту та захисного газу апарат автоматично узгоджує струм, напругу та швидкість подачі дроту. Це зменшує ймовірність

помилки під час налаштування, підвищує повторюваність якості швів і скорочує час підготовки до роботи.

Імпульсний режим зварювання є корисним під час виконання швів на деталях різної товщини, а також у вузлах, де необхідно зменшити розбризкування металу та тепловкладення. Для силосних вил-захвату це важливо при зварюванні профільних труб, підсилювальних косинок, кронштейнів і монтажних елементів, оскільки надмірне нагрівання може спричинити деформації рами та порушення геометрії виробу.

Система Kemppi X5 FastMig 400 Pulse має достатній діапазон зварювального струму для виконання розрахованих режимів. Для основних з'єднань вил-захвату прийняті режими знаходяться орієнтовно в межах 220–240 А, тому обладнання з номінальним рівнем 400 А має необхідний технологічний запас і не працює на межі своїх можливостей. Це позитивно впливає на стабільність процесу, ресурс обладнання та якість зварних з'єднань.

Важливим елементом комплексу є механізм подачі дроту. Для виготовлення вил-захвату необхідна рівномірна і стабільна подача дроту ОК Autrod 12.51, оскільки коливання швидкості подачі можуть призвести до нестабільної дуги, розбризкування, нерівномірної висоти шва або появи дефектів. Сучасні подаючі механізми Kemppi забезпечують точне переміщення дроту, що особливо важливо під час виконання коротких і повторюваних швів на рамних конструкціях.

Застосування такого обладнання дозволяє підвищити технологічність виготовлення виробу. Порівняно із застарілими напівавтоматами, сучасна інверторна система забезпечує стабільнішу дугу, менше розбризкування, точніше регулювання режимів і кращі умови для формування шва. Це зменшує трудомісткість подальшого очищення, покращує зовнішній вигляд зварних з'єднань і полегшує підготовку виробу до ґрунтування та

фарбування. Основні технічні параметри рекомендованого обладнання наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика зварювальної системи Kemppi X5 FastMig 400 Pulse [15]

Найменування параметра	Значення
Тип обладнання	інверторна MIG/MAG-система
Основний процес	MIG/MAG, MAG для конструкційних сталей
Режими керування	ручний, синергетичний, імпульсний
Номинальний клас струму	400 А
Варіанти виконання серії	400 А та 500 А
Рекомендований матеріал для даного виробу	сталь S235JR
Рекомендований зварювальний дріт	OK Autrod 12.51
Захисне середовище	Ar + 18–20 % CO ₂
Тип компонування	модульна система з окремим подаючим механізмом
Призначення	промислове MIG/MAG-зварювання металоконструкцій

Важливим елементом зварювального поста для MAG-зварювання є пальник, через який у зону зварювання подається електродний дріт, зварювальний струм і захисний газ. Від його конструкції залежать стабільність горіння дуги, якість газового захисту, зручність роботи зварника, рівномірність формування шва та продуктивність виконання зварювальних операцій.

Для виготовлення силосних вил-захвату доцільно застосувати зварювальний пальник Kemppi Flexlite GX 403G. Він належить до професійної серії пальників Flexlite GX, призначених для ручного MIG/MAG-зварювання. Лінійка Flexlite GX має газоохолоджувані та водоохолоджувані моделі, а також різні серії виконання для професійних умов роботи..

Для даного технологічного процесу доцільно застосувати зварювальний пальник Kemppi Flexlite GX 403G (рис. 2.2). Він призначений для ручного

MIG/MAG-зварювання і належить до професійної серії пальників Flexlite GX. Для цієї моделі передбачене газове охолодження, Euro-підключення, можливість роботи з дротом діаметром у діапазоні, придатному для зварювання конструкційних сталей, а також виконання з довжиною рукавного пакета 3,5 або 5 м. Для виготовлення вил-захвату доцільно прийняти варіант GX 403G5 довжиною 5 м, оскільки він забезпечує більшу зону досяжності під час обварювання габаритної рами та робочих зубців. Номінальне струмове навантаження пальника становить 400 А при роботі в суміші $\text{Ar} + \text{CO}_2$. Це значення є достатнім для прийнятих режимів зварювання силосних вил-захвату, де основні робочі струми орієнтовно перебувають у межах 220–240 А. Таким чином, пальник працює із запасом за навантаженням, що позитивно впливає на його довговічність, стабільність процесу та тепловий режим витратних елементів.



Рис. 2.2 Зварювальний пальник Kemppi Flexlite GX 403G [19]

Газове охолодження для даного виробу є достатнім, оскільки зварювання виконується переважно короткими та середніми швами з перервами на перестановку виробу, перевірку геометрії та очищення окремих ділянок. Застосування водоохолоджуваного пальника в цьому випадку не є обов'язковим, оскільки воно ускладнює зварювальний пост, потребує блока

охолодження та збільшує вартість оснащення. Водночас модель GX 403G має достатній запас для виконання основних операцій MAG-зварювання рамних і навісних конструкцій.

Конструкція пальника повинна забезпечувати якісне формування потоку захисного газу навколо зварювальної ванни. Це особливо важливо при зварюванні сталі S235JR дротом OK Autrod 12.51 у суміші Ar + 18–20 % CO₂, оскільки порушення газового захисту може спричинити пористість, окиснення металу шва та нестабільне формування валика. Пальник Flexlite GX 403G забезпечує подачу газу через сопло безпосередньо в зону дуги, що створює умови для стабільного захисту металу шва.

Перевагою серії Flexlite GX є також ергономічність. Виробник зазначає, що в пальниках цієї серії застосовано шарнірний захист кабелю, який зменшує навантаження на кисть зварника, а також конструктивні рішення, спрямовані на зниження температури контактного наконечника та підвищення ресурсу витратних елементів. Це важливо для виготовлення вил-захвату, оскільки зварник працює навколо великогабаритної конструкції та часто змінює положення пальника.

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика Kemppi Flexlite GX 403G [19]

Найменування параметра	Значення
Модель пальника	Kemppi Flexlite GX 403G
Виконання для даного процесу	GX 403G5
Призначення	ручне MIG/MAG-зварювання
Тип охолодження	газове
Номінальне струмове навантаження	400 А
Захисне середовище	Ar + CO ₂
Тип підключення	Euro
Рекомендована довжина рукавного пакета	5 м
Рекомендований дріт для виробу	OK Autrod 12.51
Діапазон діаметрів дроту для серії	до 1,6 мм залежно від комплектації

Під час експлуатації пальника необхідно контролювати стан контактного наконечника, газового сопла, каналу подачі дроту та рукавного пакета. Зношений контактний наконечник може спричинити нестабільний електричний контакт і колювання дуги, а забруднене сопло — погіршення газового захисту. Тому перед початком роботи слід перевіряти чистоту сопла, відсутність налипання бризок, справність кабельного пакета та відповідність контактного наконечника діаметру зварювального дроту.

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних з'єднань є обов'язковим етапом технологічного процесу виготовлення силосних вил-захвату до завантажувача. Від якості зварювання залежить міцність рами, надійність кріплення робочих зубців, працездатність верхнього притискного механізму, а також безпечність експлуатації виробу під час захоплення, піднімання та транспортування силосної маси.

Вибір методів контролю здійснюється з урахуванням призначення конструкції, умов її роботи, характеру навантаження та ступеня відповідальності окремих зварних вузлів. Силосні вила-захват працюють у складних експлуатаційних умовах, де на конструкцію діють згинальні, ударні та змінні навантаження. Найбільш навантаженими є ділянки кріплення нижніх робочих зубців до поперечної балки, монтажні пластини, бокові кронштейни, шарнірні вушка та вузли встановлення гідроциліндрів. Саме тому якість зварних швів у цих місцях повинна контролюватися особливо ретельно [20-22].

Для даного виробу доцільно застосовувати поєднання візуально-вимірювального контролю та, за потреби, ультразвукового контролю найбільш відповідальних з'єднань. Такий підхід дозволяє виявляти як зовнішні дефекти, що знаходяться на поверхні шва, так і внутрішні

порушення суцільності металу, які не можна визначити під час звичайного огляду.

Візуально-вимірювальний контроль є основним і найбільш доступним методом перевірки зварних з'єднань. Він виконується після очищення швів від шлаку, бризок металу, окалини, пилу, мастила та інших забруднень. За допомогою цього методу оцінюють зовнішній вигляд шва, його форму, рівномірність, відповідність розмірів кресленню та наявність видимих дефектів.

Під час огляду зварні з'єднання перевіряють неозброєним оком або за допомогою лупи зі збільшенням приблизно 4–10 разів. Для вимірювання геометричних параметрів швів застосовують універсальний шаблон зварника, штангенциркуль, металеву лінійку, кутник, набір щупів та інші вимірювальні інструменти.

Візуально-вимірювальному контролю доцільно піддавати 100 % зварних швів силосних вил-захвату, оскільки цей метод є простим, швидким і дозволяє виявити більшість зовнішніх дефектів без використання складного обладнання.

За допомогою візуально-вимірювального контролю можна виявити:

- поверхневі тріщини;
- пори, що виходять на поверхню шва;
- підрізи основного металу;
- напливи та нерівномірність формування валика;
- незаварені кратери;
- пропали;
- зміщення деталей після зварювання;
- відхилення катета шва від заданого значення;
- нерівномірну ширину або висоту шва;
- бризки металу, які погіршують якість поверхні перед фарбуванням.

Особливу увагу під час огляду необхідно приділяти швам у місцях кріплення робочих зубців, оскільки ці з'єднання сприймають значні згинальні навантаження. Також ретельно контролюють шви монтажних пластин, шарнірних вушок, кронштейнів гідроциліндрів і підсилювальних косинок.

Для вимірювання катета кутових швів та контролю форми зварного з'єднання доцільно використовувати універсальний шаблон зварника.

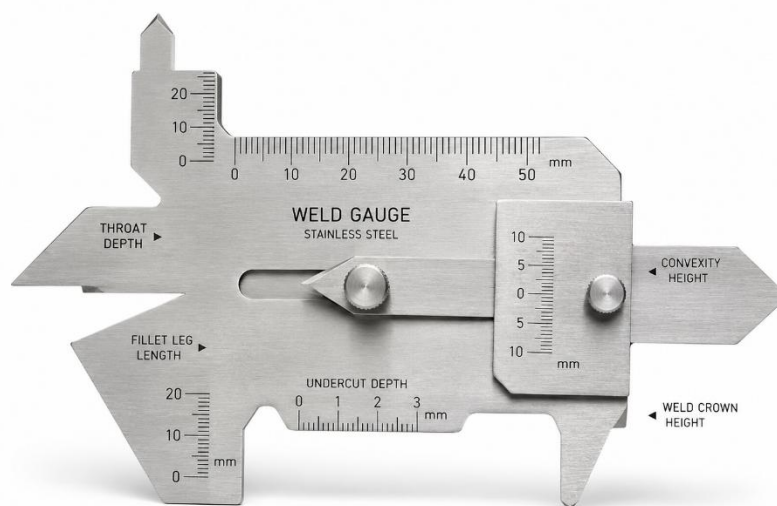


Рис. 2.3 – Універсальний шаблон зварника [23]

Ультразвуковий контроль належить до методів неруйнівного контролю і застосовується для виявлення внутрішніх дефектів металу шва та зони термічного впливу. Його доцільно використовувати для перевірки відповідальних зварних вузлів, де можливі непровари, внутрішні тріщини, пори, шлакові включення або інші дефекти, які не виходять на поверхню.

Суть ультразвукового контролю полягає у введенні в метал високочастотних пружних коливань і реєстрації сигналів, відбитих від внутрішніх неоднорідностей. Якщо в металі є дефект, ультразвукова хвиля частково відбивається від нього, а дефектоскоп фіксує відповідний сигнал. За характером сигналу можна оцінити наявність дефекту, його приблизне розташування, глибину залягання та розміри.

Найбільш поширеним різновидом ультразвукового контролю є луна-імпульсний метод. Він ґрунтується на реєстрації відбитих імпульсів від дефектів або від протилежної поверхні виробу. Перевагою цього методу є можливість контролювати виріб з одного боку, що особливо важливо для великогабаритних зварних конструкцій, де доступ до шва може бути обмеженим [22].

Ультразвуковий контроль дозволяє виявляти такі дефекти:

- внутрішні тріщини;
- непровари в корені шва;
- несплавлення між основним і наплавленим металом;
- пори та газові порожнини;
- шлакові й неметалеві включення;
- розшарування металу;
- приховані дефекти в багат шарових з'єднаннях.

Для силосних вил-захвату ультразвуковий контроль доцільно застосовувати не для всіх швів, а для найбільш відповідальних ділянок конструкції. До таких ділянок належать з'єднання робочих зубців із нижньою поперечною балкою, монтажні вушка, шарнірні вузли верхнього захвату та кронштейни кріплення гідроциліндрів. Саме ці вузли працюють під дією найбільших змінних і ударних навантажень, тому наявність внутрішніх дефектів у них може суттєво знизити ресурс конструкції.

Для контролю найбільш відповідальних зварних з'єднань силосних вил-захвату доцільно застосовувати сучасний ультразвуковий дефектоскоп Evident EPOCH 650. Прилад призначений для неруйнівного контролю металевих виробів і зварних швів, дає змогу виявляти внутрішні дефекти типу непроварів, тріщин, пор, шлакових включень і несплавлень. Модель EPOCH 650 має повноцінний VGA-дисплей, цифровий приймач із широким динамічним діапазоном, вбудовані засоби формування звітів і систему

збереження даних контролю; виробник також зазначає відповідність приладу вимогам ISO 22232-1.

Застосування такого дефектоскопа є доцільним для перевірки вузлів, які працюють під дією найбільших навантажень: місць кріплення нижніх робочих зубців до поперечної балки, монтажних пластин, шарнірних вушок, бокових кронштейнів і кронштейнів гідроциліндрів. У цих зонах наявність внутрішніх дефектів може знизити несучу здатність конструкції та призвести до передчасного руйнування виробу під час експлуатації.



Рис. 2.4 – Ультразвуковий дефектоскоп Evident EPOCH 650 [24]

До переваг ультразвукового контролю можна віднести високу чутливість до внутрішніх дефектів, можливість контролю з одного боку виробу, відсутність руйнування конструкції, безпечність виконання робіт і порівняно високу продуктивність. Крім того, цей метод не потребує розрізання або випробування зразків, що дозволяє контролювати готовий виріб без пошкодження його працездатності.

Разом із тим ультразвуковий контроль потребує відповідної підготовки поверхні, правильного вибору перетворювача, застосування контактної

рідини та достатньої кваліфікації оператора. Результати контролю залежать від правильності налаштування приладу, геометрії шва, товщини металу та умов доступу до контрольованої ділянки.

Перед виконанням контролю зварні з'єднання повинні бути очищені від шлаку, бризок металу, окалини, іржі, пилу та інших забруднень. Поверхня шва і прилегла зона основного металу мають бути доступними для огляду та вимірювання. Якщо на поверхні залишаються забруднення, вони можуть приховувати дефекти або ускладнювати оцінку форми шва.

Контроль якості зварних з'єднань доцільно виконувати поетапно. Спочатку проводять візуально-вимірювальний контроль усіх швів. Після цього відповідальні з'єднання, які працюють під дією підвищених навантажень, додатково перевіряють ультразвуковим методом. Така послідовність дозволяє спочатку виявити поверхневі дефекти, а потім оцінити внутрішню суцільність металу шва.

У разі виявлення дефектів, які перевищують допустимі норми, дефектну ділянку необхідно усунути. Незаварені кратери повторно заварюють. Шви з тріщинами, непроварами, шлаковими включеннями або іншими недопустимими дефектами видаляють механічним способом на довжину дефектної зони з додатковим захопленням справного металу з обох боків. Після цього ділянку зварюють повторно з дотриманням встановленого режиму.

Підрізи основного металу, що перевищують допустимі значення, необхідно зачищати та заварювати з подальшим шліфуванням до плавного переходу між металом шва й основним металом. Не допускається залишати різкі переходи, гострі западини або нерівності, які можуть стати місцями концентрації напружень.

Після виправлення дефектів відремонтовані ділянки підлягають повторному контролю тим самим методом, яким було виявлено дефект. Якщо дефект знаходився на поверхні, виконується повторний візуально-

вимірювальний контроль. Якщо дефект був внутрішнім, після ремонту необхідно провести повторний ультразвуковий контроль.

Таблиця 2.5 Прийнята схема контролю для силосних вил-захвату

Елемент конструкції	Метод контролю	Обсяг контролю
Шви робочих зубців до нижньої поперечної балки	ВВК + УЗК	100 % ВВК, вибірково УЗК
Шви монтажних пластин і вушок	ВВК + УЗК	100 % ВВК, вибірково УЗК
Шви кронштейнів гідроциліндрів	ВВК + УЗК	100 % ВВК, вибірково УЗК
Шви підсилювальних косинок	ВВК	100 %
Шви вертикальних стійок і поперечних балок	ВВК	100 %
Шви верхнього притискного захвату	ВВК, за потреби УЗК	100 % ВВК

Застосування візуально-вимірювального та ультразвукового контролю дозволяє забезпечити комплексну оцінку якості зварних з'єднань. Візуально-вимірювальний контроль дає змогу оперативно виявляти зовнішні дефекти та перевіряти геометрію швів, а ультразвуковий контроль забезпечує виявлення прихованих внутрішніх дефектів у відповідальних вузлах конструкції. Такий підхід підвищує надійність силосних вил-захвату та зменшує ризик руйнування виробу під час експлуатації.

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення силосних вил-захвату

Виготовлення силосних вил-захвату до завантажувача передбачає послідовне виконання технологічних операцій. Виріб належить до просторових зварних металоконструкцій сільськогосподарського призначення, тому основними вимогами до технологічного процесу є забезпечення точності геометрії, надійності зварних з'єднань, достатньої жорсткості рами та стійкості конструкції до корозійного впливу.

Конструкція силосних вил-захвату складається із ряду деталей із профільного прокату, листової сталі і круглих сталевих прутків. З огляду на значну кількість однотипних деталей і необхідність дотримання точних розмірів, заготівельні операції доцільно виконувати на сучасному обладнанні з ЧПК.

Першою операцією є вхідний контроль металопродукту. На цьому етапі перевіряють відповідність марки сталі, геометричних розмірів профільних труб, товщини листового прокату, діаметра круглого прутка та наявність супровідних документів про якість матеріалу. Під час огляду не допускаються тріщини, розшарування, значна корозія, глибокі риски, раковини та інші дефекти, які можуть погіршити міцність або зварюваність деталей.

Після вхідного контролю металопродукт направляють на очищення поверхні. Для цієї операції доцільно застосувати автоматизовану лінію дробометного очищення та попереднього ґрунтування типу Rösler Preservation Line (рис. 2.5). Таке обладнання дає змогу в одному технологічному потоці виконувати очищення металу від окалини, іржі та забруднень, а також наносити тимчасове захисне покриття. Використання ліній такого типу підвищує якість підготовки поверхні перед зварюванням і покращує адгезію подальшого лакофарбового покриття.



Рис. 2.5 Автоматизована лінія дробометного очищення та попереднього ґрунтування Rösler Preservation Line [25]

Наступним етапом є правлення листового прокату. Для цієї операції використовується листопрямильна машина ARKU FlatMaster (рисунок 2.6). Її застосування дає змогу усунути хвилястість, залишкові деформації та внутрішні напруження у листовому матеріалі. Це особливо важливо для деталей, які в подальшому виготовляються лазерним різанням: бокових пластин, монтажних вушок, кронштейнів гідроциліндрів, підсилювальних накладок і косинок. Вирівняний листовий прокат забезпечує вищу точність розкрою та полегшує подальше складання деталей у кондукторі.



Рис. 2.6 Листопрямильна машина ARKU FlatMaster [26]

Профільні труби та круглий пруток також перевіряють на прямолінійність. У разі виявлення відхилень їх виправляють на роликовому правильному верстаті або гідравлічному пресі. Ця операція особливо важлива для робочих зубців, оскільки їх викривлення може призвести до нерівномірного входження у силосну масу та порушення геометрії всієї конструкції.

Після очищення і правлення виконують різання профільного та сортового прокату. Для цього приймається автоматичний стрічкопильний

верстат KASTOwin A 4.6, (рис. 2.6). На цьому обладнанні здійснюється нарізання заготовок поперечних балок, елементів рами, вертикальних стійок, тримачів і круглого прутка для робочих зубців. Використання такого верстата забезпечує високу повторюваність довжин заготовок, якісну поверхню різу та зменшує потребу в ручному припасуванні деталей перед складанням.



Рис. 2.7 Автоматичний стрікопильний верстат KASTOwin A 4.6 [27]

Для деталей складної конфігурації, зокрема бокових пластин, монтажних вушок, кронштейнів гідроциліндрів і підсилювальних косинок, застосовується лазерне різання листового металу. Раціональним варіантом є використання волоконного лазерного комплексу з ЧПК Bystronic ByCut Smart (рис. 2.8). Лазерне різання забезпечує високу точність контурів, якісну крайку, мінімальну ширину різу та можливість виготовлення отворів і пазів без додаткового ручного доопрацювання. Сучасні комплекси Bystronic призначені для високопродуктивного розкрою листового металу та можуть працювати з різними товщинами конструкційної сталі.



Рис. 2.8 Лазерний комплекс з ЧПК Bystronic ByCut Smart [28]

Після різання листові деталі надходять на операцію видалення задирок і заокруглення кромки. Для цього використовується машина Timesavers 42 RB Series (рис. 2.9). Обробка кромки необхідна для усунення гострих країв, залишкових задирок і оксидного шару після різання. Це підвищує безпеку виконання складальних робіт, покращує прилягання деталей, сприяє якіснішому формуванню зварних швів і забезпечує кращу адгезію лакофарбового покриття.



Рис. 2.9 Машина Timesavers 42 RB Series [29]

Окремою операцією є виготовлення робочих зубців. Заготовки зубців нарізають із круглого сталевих прутка на стрічкостроганому верстаті

KASTOwin A 4.6, після чого передню частину кожної заготовки обробляють до конічної форми на токарному верстаті з ЧПК Haas ST-25 (рис. 2.10). Загострена форма зубців зменшує опір під час входження у силос, сіно, соломі або інші волокнисті матеріали та підвищує ефективність захоплення вантажу. Після оброблення перевіряють довжину, прямолінійність, діаметр і якість поверхні кожного зубця..



Рис. 2.10 Верстат з ЧПК Haas ST-25 [30]

Після завершення заготівельних операцій деталі передаються на складально-зварювальну дільницю. Складання нижньої рами силосних вилзахвату виконується у спеціалізованому складально-зварювальному кондукторі. Його застосування забезпечує точне базування поперечних балок, бокових елементів, тримачів і робочих зубців. Кондуктор повинен мати базові упори, регульовальні опори, притискачі, установчі пальці для монтажних отворів і елементи контролю міжосьових відстаней.

Складання нижньої частини виробу виконується поетапно. Спочатку в кондуктор встановлюють основні балки рами, бокові елементи, тримачі та підсилювальні деталі. За допомогою регульовальних опор і притискних пристроїв елементи фіксують у проектному положенні. Після перевірки ширини рами, паралельності балок, прямолінійності та правильності

розташування монтажних елементів виконують прихватки. Така послідовність дозволяє спочатку сформувати жорстку несучу основу виробу, а вже після цього встановлювати робочі зубці.

Після прихвачування і перевірки рами в кондуктор встановлюють нижні робочі зубці. Для цього використовують спеціальні напрямні або ложементи, які забезпечують однаковий крок між зубцями, їх паралельність і правильну довжину виступання відносно нижньої балки. Зубці фіксують притискачами, після чого перевіряють їх положення в горизонтальній і вертикальній площинах. Прихвачування зубців до рами виконують по чергово: спочатку крайні, потім середній, після цього проміжні. Такий порядок зменшує ризик перекосу та сприяє рівномірному розподілу зварювальних деформацій.

Окремо виконується складання верхнього притискного захвату. У спеціальному складальному пристосуванні встановлюють верхню поперечну балку, поворотні важелі, верхні притискні зубці, шарнірні вушка та кронштейни гідроциліндрів. Загальний вигляд пристосування для складання верхнього захвату. Особлива увага приділяється співвісності отворів під осі та пальці, оскільки від цього залежить плавність відкривання і закривання верхнього захвату. Після перевірки геометрії всі елементи прихоплюють короткими швами.

До основного зварювання допускаються тільки ті вузли, які пройшли контроль правильності складання. Перевіряють положення нижніх зубців, монтажної рами, бокових пластин, шарнірних вушок, кронштейнів гідроциліндрів, верхнього притискного захвату та підсилювальних елементів. У роботі зазначено, що перехід до основного зварювання можливий лише після контролю правильності складання і надійного закріплення конструкції для запобігання неконтрольованим переміщенням деталей.

Зварювання виконують у технологічно обґрунтованій послідовності. Спочатку обварюють місця кріплення робочих зубців до нижньої поперечної балки, оскільки ці вузли є найбільш навантаженими. Шви накладають

симетрично з обох боків зубців, чергуючи ділянки зварювання для зменшення залишкових деформацій. Потім зварюють вертикальні стійки, бокові пластини, поперечні балки та підсилювальні косинки. Після цього виконують зварювання монтажних вушок, кронштейнів гідроциліндрів і вузлів верхнього притискного захвату.

Для зручності виконання швів у нижньому або горизонтальному положенні застосовують поворотний кантувач. Це дозволяє покращити формування шва, зменшити втому зварника, скоротити кількість вимушених положень і підвищити якість зварних з'єднань.

Після завершення зварювання конструкцію залишають для природного охолодження. Примусове охолодження водою або стисненим повітрям не допускається, оскільки воно може викликати додаткові внутрішні напруження. Після охолодження шви очищають від бризок, окалини та забруднень за допомогою шліфувальних машин, металевих щіток або пневматичного інструменту.

Наступним етапом є контроль якості зварних з'єднань. Усі шви підлягають візуально-вимірювальному контролю. За допомогою шаблону зварника, штангенциркуля, лінійки та кутника перевіряють катети швів, висоту підсилення, рівномірність формування, відсутність тріщин, підрізів, напливів, пор і незаварених кратерів. Особливо ретельно контролюють шви в місцях кріплення робочих зубців, монтажних вушок, кронштейнів гідроциліндрів і шарнірних вузлів.

Для найбільш відповідальних ділянок додатково застосовують ультразвуковий контроль із використанням дефектоскопа Evident EPOCH 650. Він дає змогу виявляти внутрішні дефекти типу непроварів, тріщин, шлакових включень і пористості. Контролю підлягають насамперед вузли кріплення робочих зубців до поперечної балки, монтажні пластини та кронштейни, які сприймають найбільші навантаження.

Паралельно з контролем швів проводять перевірку геометрії виробу. Контролюють загальну ширину вил, довжину робочих зубців, крок між зубцями, паралельність елементів, співвісність шарнірних отворів, положення монтажних пластин і працездатність верхнього захвату. За потреби незначні деформації усувають механічним виправленням на пресі або за допомогою спеціальних пристроїв.

Після приймального контролю виріб надходить на остаточну підготовку поверхні перед фарбуванням. Виконують зачищення гострих кромek, видалення бризок металу, шліфування нерівностей, знежирення та повторне очищення поверхні. Для підвищення якості покриття доцільно використовувати дробоструминне або абразивне очищення, особливо в зонах біля зварних швів.

Завершальним етапом технологічного процесу є ґрунтування і фарбування. Цю операцію виконують у фарбувальній камері. На підготовлену поверхню наносять антикорозійний ґрунт, після чого конструкцію фарбують захисною емаллю. Покриття повинно забезпечувати стійкість металу до атмосферної вологості, контакту з силосом, ґрунтом, залишками добрив та механічного зношування. Після висихання покриття проводиться приймальний контроль готового виробу, маркування і підготовка до відвантаження або монтажу на завантажувач.

Таблиця 2.4 Послідовність технологічних операцій виготовлення силосних вил-захвату

№ операції	Найменування операції	Основне обладнання
1	Вхідний контроль	вимірювальний інструмент, сертифікати якості матеріалу
2	Дробометне очищення та попереднє ґрунтування металопрокату	Rösler Preservation Line
3	Правлення листового прокату	ARKU FlatMaster
4	Перевірка та правлення профільних труб і круглого прутка	роликовий правильний верстат, гідравлічний прес

5	Різання профільного та сортового прокату	KASTOwin A 4.6
6	Лазерне різання листових деталей	Bystronic ByCut Smart
7	Видалення задирок і заокруглення кромek	Timesavers 42 RB Series
8	Виготовлення і загострення робочих зубців	KASTOwin A 4.6, Haas ST-25
9	Складання нижньої рами	складально-зварювальний кондуктор
10	Встановлення і фіксація робочих зубців	кондуктор із напрямними та притискачами
11	Складання верхнього притискного захвату	спеціалізоване складальне пристосування
12	Прихвачування деталей	Kemppi X5 FastMig 400 Pulse
13	Основне MAG-зварювання конструкції	Kemppi X5 FastMig 400 Pulse, пальник Kemppi Flexlite GX
14	Кінцеве доварювання у зручному положенні	двостійковий кантувач
15	Очищення швів після зварювання	кутові шліфувальні машини, металеві щітки, пневмоінструмент
16	Візуально-вимірювальний контроль	шаблон зварника, штангенциркуль, металева лінійка
17	Ультразвуковий контроль відповідальних швів	Evident EPOCH 650
18	Контроль геометричних параметрів виробу	рулетка, кутник, контрольні пальці, шаблони
19	Остаточна підготовка поверхні	абразивне або дробострумінне очищення
20	Ґрунтування і фарбування	фарбувальна камера, пневморозпилювач
21	Приймальний контроль готового виробу	вимірювальний інструмент, контрольна карта

Запропонований технологічний процес дозволяє організувати виготовлення силосних вил-захвату як послідовний і керований виробничий цикл. Використання сучасного обладнання для очищення, правлення, різання, видалення задирок, MAG-зварювання та контролю якості забезпечує точність виготовлення деталей, стабільність зварних з'єднань і підвищення довговічності готового виробу.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис складально-зварювальних пристосувань

Для виготовлення конструкції вил застосовують складально-зварювальний кондуктор, призначений для поетапного складання основної рами силосних вил-захвату та подальшого встановлення робочих зубців у проєктне положення. Кондуктор (рис. 3.1) забезпечує точне базування деталей, їх фіксацію перед прихвачуванням, збереження геометрії під час зварювання та правильне розташування зубців відносно несучої частини виробу.

Особливістю даного пристосування є те, що процес складання виконується у два основні етапи. На першому етапі в кондукторі формується і прихвачується несуча рама вил. На другому етапі до вже складеної та зафіксованої рами встановлюються робочі зубці, після чого виконується їх прихвачування і зварювання. Така послідовність є більш раціональною, оскільки спочатку створюється жорстка базова конструкція, до якої надалі приварюються елементи, що безпосередньо контактують із силосною масою.

Кондуктор виконаний у вигляді масивної базової плити, на якій встановлено поздовжні опори, базові упори, притискні пристрої, бокові локатори та контрольні осі. Базова плита забезпечує жорсткість пристосування і сприймає навантаження від складальних елементів. Поздовжні опори використовуються для розміщення основних балок рами, а також задають площину складання виробу.

На початковому етапі в кондуктор встановлюються основні елементи рами: нижня поперечна балка, верхня балка, бокові елементи, вертикальні стійки, тримачі та підсилювальні деталі. Їх розташовують відповідно до базових упорів і фіксують притискними механізмами. Сині стрижні, показані на рисунку, можуть використовуватися як контрольні осі або технологічні пальці для перевірки співвісності отворів і правильного положення бокових

елементів. Це особливо важливо для деталей, через які вила будуть приєднуватися до навантажувача.

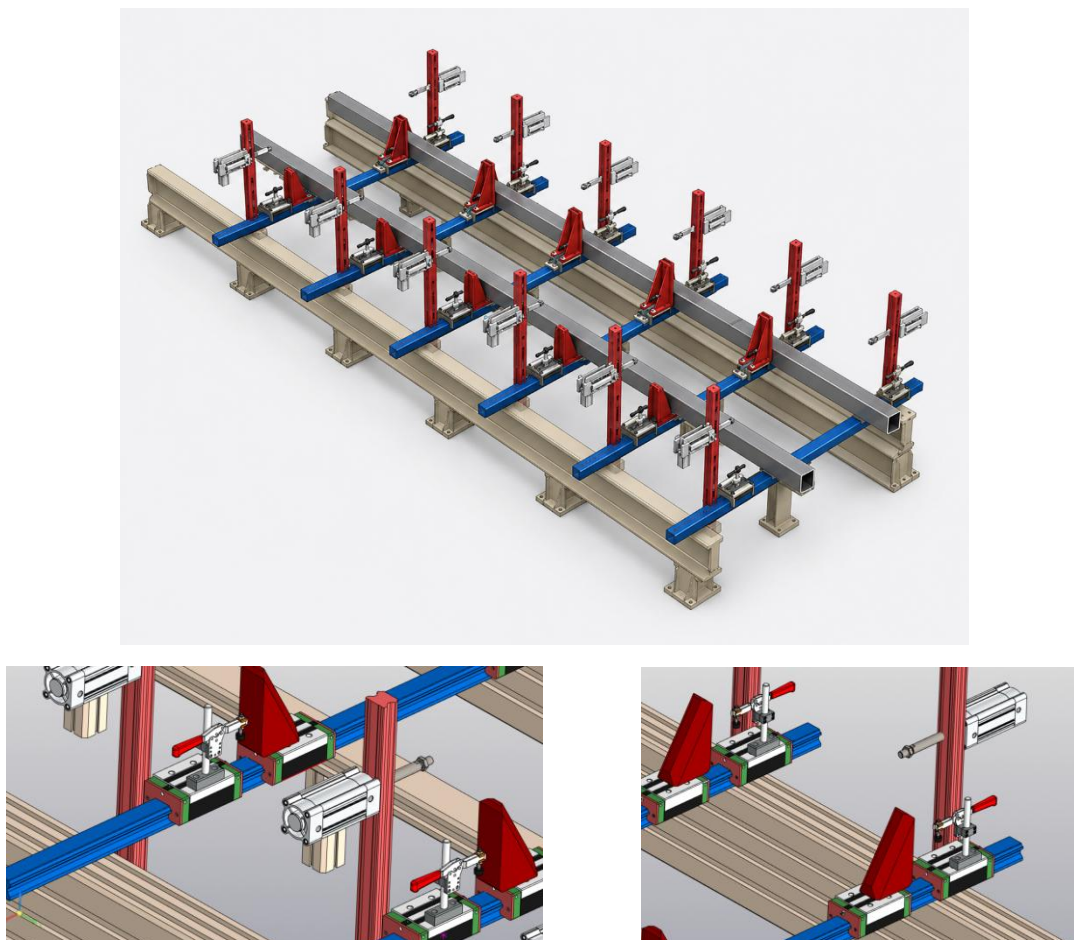


Рис. 3.1 Складально-зварювальний кондуктор виготовлення вил

Після встановлення елементів рами виконується перевірка її основних геометричних параметрів: ширини, прямолінійності балок, паралельності бокових елементів, положення монтажних отворів і симетричності конструкції. Лише після цього деталі прихоплюють короткими швами. Прихватки доцільно виконувати симетрично — спочатку на крайніх ділянках, потім у середній частині, а після цього на проміжних вузлах. Це дає змогу зменшити зміщення деталей і попередити перекіс рами під дією зварювальних напружень.

Після прихвачування рами проводять повторний контроль її геометрії. Якщо відхилення не перевищують допустимих значень, виконують часткове або повне обварювання рами. У разі потреби основні шви можна виконувати

безпосередньо в кондукторі, якщо притискачі не перекривають доступ до зони зварювання. Якщо доступ до окремих швів обмежений, раму після прихвачування знімають із кондуктора і переносять на поворотний кантувач.

Після виготовлення та перевірки рами виконується другий етап — встановлення робочих зубців. Для цього в кондукторі передбачені спеціальні ложементи або напрямні, які задають положення кожного зубця відносно нижньої балки рами. Ложементи забезпечують однаковий крок між зубцями, їх паралельність і правильне розташування в одній площині. Передні упори використовуються для вирівнювання кінців зубців, завдяки чому всі робочі елементи мають однакову довжину виступання.

Робочі зубці встановлюють у підготовлені посадкові місця після того, як рама вже має достатню жорсткість. Кожен зубець укладають у відповідний ложемент, вирівнюють за переднім упором і фіксують притискним елементом. Такий спосіб дозволяє уникнути зміщення зубців під час прихвачування та забезпечує однакове положення всіх дев'яти робочих елементів.

Після фіксації зубців перевіряють їхній крок, паралельність, горизонтальність і довжину виступання відносно нижньої балки. Потім виконують прихвачування зубців до рами. Прихватки наносять по чергово: спочатку фіксують крайні зубці, потім середній, а після цього проміжні. Така послідовність дозволяє рівномірно розподілити деформації та зменшити ймовірність перекосу робочої частини вил.

Після прихвачування всіх зубців виконують основне зварювання. Шви в місцях кріплення зубців до рами є найбільш відповідальними, оскільки під час експлуатації саме ці зони сприймають значні згинальні та ударні навантаження. Тому зварювання необхідно виконувати безперервними або симетрично розташованими кутовими швами з дотриманням установлених режимів МАГ-зварювання. Для зменшення деформацій шви доцільно накладати по чергово з лівого і правого боків зубців.

Застосування такого кондуктора дає змогу спочатку отримати точну і жорстку раму, а вже потім встановити робочі зубці з необхідним кроком і паралельністю. Це підвищує якість складання, зменшує кількість ручних вимірювань, скорочує час виготовлення та забезпечує повторюваність конструкції при серійному виробництві.

Після завершення складання елементів вил у кондукторі та виконання прихваток конструкцію передають на операцію кінцевого зварювання. Остаточне доварювання основної плити та верхньої плити доцільно виконувати у двостійковому кантувачі (рис. 3.2), який забезпечує надійне закріплення виробу та можливість його повороту у зручне для зварювання положення.

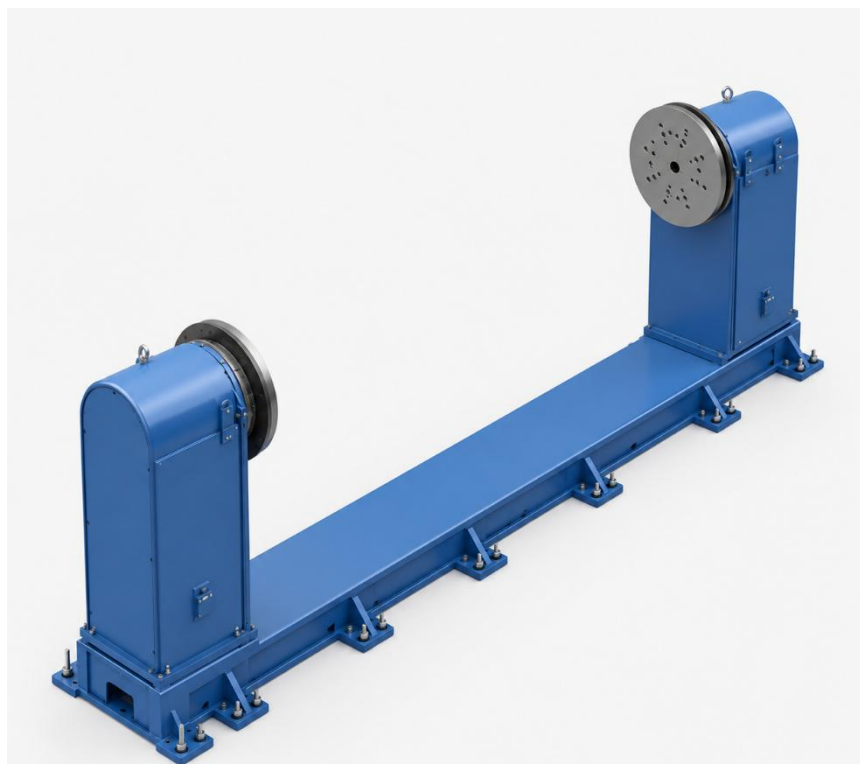


Рис. 3.2 Двостійковий кантувач

Застосування двостійкового кантувача є технологічно обґрунтованим, оскільки основна плита та верхня плита є габаритними елементами конструкції і мають значну кількість зварних швів, розташованих з різних сторін. Виконання цих швів без поворотного пристрою ускладнює роботу

зварника, призводить до зварювання в незручних просторових положеннях і може погіршити якість формування шва. Кантувач дозволяє послідовно повертати виріб навколо горизонтальної осі та переводити зону зварювання у нижнє або близьке до нижнього положення.

Перед установленням у кантувач конструкцію оглядають після прихвачування, перевіряють правильність взаємного розташування основної плити, верхньої плити, бокових елементів, балок і кронштейнів. Особливу увагу приділяють відсутності перекосів, зміщення деталей і порушення геометрії після зняття з кондуктора. Якщо відхилення не перевищують допустимих значень, виріб встановлюють між стійками кантувача та закріплюють за допомогою затискних або фланцевих пристроїв.

Основна плита фіксується таким чином, щоб навантаження від маси конструкції рівномірно передавалося на опори кантувача. Центр мас виробу бажано наблизити до осі обертання, оскільки це зменшує необхідний крутний момент приводу та забезпечує плавний поворот під час зміни положення. Після закріплення перевіряють надійність фіксації, відсутність люфтів і можливість безпечного повороту конструкції.

Кінцеве доварювання виконують у визначеній послідовності. Спочатку проварюють шви основної плити, які з'єднують її з поздовжніми та поперечними балками рами. Далі виконують зварювання верхньої плити, підсилювальних елементів, накладок і прилеглих вузлів. Для зменшення зварювальних деформацій шви накладають симетрично, чергуючи ділянки з протилежних сторін конструкції. Не рекомендується повністю проварювати одну сторону виробу без переходу на іншу, оскільки це може спричинити викривлення плити або появу залишкових напружень.

Під час зварювання кантувач поступово повертають так, щоб кожний наступний шов виконувався у найбільш зручному положенні. Це забезпечує стабільне формування зварювальної ванни, рівномірний провар, кращий зовнішній вигляд шва та зменшення кількості дефектів. Особливо важливо

використовувати поворот виробу під час зварювання кутових швів по периметру плити, а також у місцях приєднання ребер жорсткості та балок.

3.2 Розрахунок двостійкового кантувача для доварювання силосних вил-захвату

Двостійковий кантувач призначений для встановлення, закріплення та повороту зварної конструкції силосних вил-захвату під час кінцевого доварювання основної та верхньої плит, балок, підсилювальних елементів і монтажних вузлів. Його застосування дає змогу переводити зону зварювання у зручне нижнє або близьке до нижнього положення, що покращує формування шва, зменшує трудомісткість робіт і підвищує якість зварних з'єднань.

Розрахунок виконуємо для перевірки вантажопідйомності кантувача, визначення необхідного крутного моменту, вибору приводу обертання, перевірки осей кріплення та оцінки стійкості конструкції [31].

Для розрахунку приймаємо орієнтовну масу силосних вил $m_v = 210$ кг.

Оскільки під час кантування конструкція може встановлюватися разом із тимчасовими технологічними кронштейнами, пальцями, фіксаторами або частиною складального оснащення, приймаємо розрахункову масу з технологічним запасом $m_p = 350$ кг.

Коефіцієнт запасу за вантажопідйомністю $K_3 = 1,5$.

Розрахункова маса для перевірки кантувача:

$$m_{\text{розр}} = m_p \cdot K_3$$

$$m_{\text{розр}} = 350 \cdot 1,5 = 525 \text{ кг}$$

Сила ваги конструкції:

$$G = m_{\text{розр}} \cdot g$$

$$G = 525 \cdot 9,81 = 5150 \text{ Н}$$

Для подальших розрахунків приймаємо $G = 5,15$ кН.

Відстань між стійками кантувача приймаємо відповідно до габаритної ширини конструкції вил-захвату $L = 2200$ мм.

Ексцентриситет центра мас відносно осі обертання приймаємо $e = 80$ мм $= 0,08$ м.

Радіус цапфи або опорної шийки $r = 40$ мм $= 0,04$ м.

Коефіцієнт тертя в опорах кочення або підшипникових вузлах приймаємо $f = 0,03$.

Крутний момент, необхідний для повороту виробу, складається з моменту від ексцентриситету центра мас та моменту тертя в опорах:

$$M_{кр} = M_G + M_{тр}$$

Момент від ексцентриситету центра мас:

$$M_G = G \cdot e$$

$$M_G = 5150 \cdot 0,08 = 412 \text{ Н м}$$

Момент тертя в опорах:

$$M_{тр} = G \cdot f \cdot r$$

$$M_{тр} = 5150 \cdot 0,03 \cdot 0,04 = 6,18 \text{ Н м}$$

Загальний крутний момент:

$$M_{кр} = 412 + 6,18 = 418,18 \text{ Н м}$$

Приймаємо: $M_{кр} = 420$ Н м

З урахуванням нерівномірного розташування маси, можливих ривків під час пуску та неточного встановлення виробу вводимо коефіцієнт динамічності $K_d = 1,3$

Розрахунковий крутний момент:

$$M_{розр} = M_{кр} \cdot K_d$$

$$M_{розр} = 420 \cdot 1,3 = 546 \text{ Н м}$$

Приймаємо для вибору приводу $M_{розр} = 550$ Н м.

Отже, привід кантувача повинен забезпечувати на вихідному валу момент не менше 550 Н·м.

Для зварювальних робіт кантування повинно виконуватися повільно та плавно. Надмірно висока швидкість обертання ускладнює позиціонування виробу і може бути небезпечною. Тому приймаємо частоту обертання $n = 0,5$ об/хв.

Кутова швидкість:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5}{60} = 0,052 \text{ рад/с}$$

Потужність, необхідна для обертання виробу:

$$P = \frac{M_{\text{розр}} \cdot \omega}{\eta}$$

де η — ККД приводу. Приймаємо $\eta = 0,75$

$$P = \frac{550 \cdot 0,052}{0,75} = 38,1 \text{ Вт}$$

Отримане значення є невеликим, оскільки обертання виконується з малою швидкістю. Проте для забезпечення надійного пуску, запасу за моментом і подолання можливих перекосів приймаємо електродвигун більшої стандартної потужності $P_{\text{дв}} = 0,25 \dots 0,37$ кВт.

Для даного кантувача доцільно прийняти $P_{\text{дв}} = 0,37$ кВт.

Перевірка моменту приводу. Крутний момент на вихідному валу редуктора:

$$M_{\text{вих}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta}{n_{\text{вих}}}$$

$$M_{\text{вих}} = \frac{9550 \cdot 0,37 \cdot 0,75}{0,5} = 5300 \text{ Н м}$$

Порівнюємо з розрахунковим моментом:

$$M_{\text{вих}} > M_{\text{розр}}$$

$$5300 > 550$$

Умова виконується. Прийнятий привід має достатній запас за крутним моментом. Фактично такий запас є корисним, оскільки під час кантування

зварної конструкції можуть виникати короточасні опори через перекіс, нерівномірний розподіл маси або збільшене тертя в опорах.

За результатами розрахунку для доварювання силосних вил-захвату приймаємо параметри двостійкового кантувача наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Параметри кантувача

Параметр	Прийняте значення
Розрахункова маса виробу з запасом	525 кг
Номінальна вантажопідйомність кантувача	не менше 500 кг
Рекомендована вантажопідйомність	750 кг
Відстань між стійками	2200 мм
Розрахунковий крутний момент	550 Н·м
Потужність електродвигуна	0,37 кВт
Частота обертання виробу	0,5 об/хв
Тип приводу	електромеханічний, через редуктор
Рекомендований тип редуктора	черв'ячний або мотор-редуктор із гальмом

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Захист людей в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру

Захист населення та працівників підприємств у разі виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру є одним із важливих завдань системи цивільного захисту. Його основна мета полягає у збереженні життя і здоров'я людей, зменшенні можливих втрат, запобіганні паніці та забезпеченні організованих дій у небезпечних умовах.

Обсяг, зміст і порядок виконання захисних заходів залежать від характеру можливої небезпеки, особливостей території, специфіки промислового об'єкта, кількості працюючих, наявності небезпечних речовин, а також від прогнозованих наслідків аварії. Особливої уваги потребують об'єкти, де можливе виникнення радіаційного, хімічного, біологічного або пожежовибухового ураження. До таких об'єктів належать атомні електростанції, хімічно небезпечні виробництва, склади паливно-мастильних матеріалів, підприємства з використанням токсичних речовин, а також об'єкти критичної інфраструктури.

Захист людей у надзвичайних ситуаціях повинен здійснюватися комплексно. Основними напрямками такого захисту є:

- укриття людей у захисних спорудах або пристосованих приміщеннях;
- евакуація або тимчасове розміщення працівників і населення у безпечних районах;
- забезпечення людей засобами індивідуального захисту органів дихання, шкіри та медичними засобами;
- своєчасне оповіщення про загрозу або виникнення надзвичайної ситуації;
- організація навчання працівників діям у небезпечних умовах;
- проведення розвідки, контролю та оцінювання рівня небезпеки.

Важливим елементом захисту є система оповіщення. У разі виникнення загрози працівники повинні бути швидко поінформовані про характер небезпеки, порядок дій, напрямки евакуації, місця укриття та правила використання засобів індивідуального захисту. Оповіщення може здійснюватися за допомогою сирен, гучномовців, внутрішньої системи зв'язку, мобільних повідомлень або інших доступних засобів комунікації [32-35].

Крім того, на підприємствах повинні завчасно плануватися заходи з радіаційної, хімічної та біологічної розвідки. У разі потреби встановлюється спеціальний режим перебування людей на території об'єкта, організовується дозиметричний і лабораторний контроль, визначаються межі небезпечних зон, порядок переміщення працівників і умови проведення аварійно-рятувальних робіт.

До комплексу захисних заходів також належать профілактичні, протипожежні, санітарно-гігієнічні та протиепідемічні дії. У разі забруднення території або обладнання проводиться знезараження будівель, споруд, техніки, інструментів і засобів захисту. За необхідності організовується санітарна обробка людей, надання домедичної допомоги та подальше направлення потерпілих до лікувальних закладів [32].

4.2 Проведення рятувальних робіт

Рятувальні та інші невідкладні роботи в осередках ураження проводяться з метою пошуку постраждалих, надання їм допомоги, евакуації із небезпечної зони, локалізації джерела небезпеки та зменшення наслідків надзвичайної ситуації. У випадку хімічного забруднення до таких робіт залучаються формування радіаційного і хімічного захисту, ланки знезараження, аварійно-рятувальні підрозділи, медичні формування та групи охорони громадського порядку.

Особовий склад, який бере участь у рятувальних роботах, повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту. До них належать протигази або респіратори, захисний одяг, рукавиці, спеціальне взуття, індивідуальні протихімічні пакети та аптечки першої допомоги. Без відповідного захисту перебування людей у зоні хімічного зараження є небезпечним і може призвести до ураження органів дихання, шкіри або слизових оболонок.

Першочерговим завданням після виявлення хімічного забруднення є проведення розвідки. Командир розвідувальної групи визначає вид небезпечної речовини, напрямок її поширення, межі забрудненої території та рівень небезпеки для людей. Після цього встановлюються попереджувальні знаки, обмежується доступ до небезпечної зони, а отримана інформація передається керівнику робіт або командирі формування [32,36].

На основі даних розвідки приймається рішення щодо порядку проведення рятувальних і невідкладних робіт. Визначаються маршрути входу в небезпечну зону, шляхи евакуації потерпілих, місця розміщення медичних пунктів, порядок знезараження людей і техніки, а також тривалість перебування рятувальників у зоні ураження.

Рятувальні групи проводять огляд виробничих приміщень, території підприємства, захисних споруд, складських приміщень та інших об'єктів, де можуть перебувати люди. У разі виявлення постраждалих їм надягають засоби захисту органів дихання, за можливості видаляють або нейтралізують краплі небезпечних речовин на відкритих ділянках шкіри та одязі, після чого організовують винесення або виведення потерпілих у безпечне місце.

Постраждалим надається перша домедична допомога, після чого вони направляються до найближчого медичного пункту або лікувального закладу. У разі контакту з небезпечними речовинами обов'язково проводиться санітарна обробка, заміна забрудненого одягу та контроль стану здоров'я.

Після завершення робіт або після закінчення встановленого часу перебування в небезпечній зоні рятувальні формування направляються на

пункт спеціальної та санітарної обробки. Там проводиться знезараження засобів захисту, інструментів, обладнання і техніки. Після цього особовий склад проходить медичний огляд і направляється на відпочинок або до резерву.

4.3 Забезпечення пожежної безпеки

Пожежна безпека є важливою складовою загальної системи безпеки підприємства. Вона передбачає створення таких умов, за яких зводиться до мінімуму ймовірність виникнення пожежі, а в разі її появи забезпечується швидке виявлення, локалізація та ліквідація загоряння з мінімальними наслідками для людей, майна і навколишнього середовища.

Організація пожежної безпеки на підприємствах здійснюється відповідно до чинного законодавства, нормативно-правових актів, державних стандартів, будівельних норм, правил експлуатації обладнання та внутрішніх інструкцій. Вимоги пожежної безпеки є обов'язковими для керівників, працівників, підрядних організацій та інших осіб, які перебувають на території підприємства.

Відповідальність за забезпечення пожежної безпеки покладається на власників, керівників підприємств та осіб, призначених відповідальними за окремі ділянки, приміщення або види робіт. На великих підприємствах можуть створюватися спеціальні служби або комісії з пожежної безпеки, які організовують профілактичні заходи, контролюють стан протипожежного обладнання, проводять інструктажі та беруть участь у розслідуванні причин пожеж або порушень.

Пожежна безпека повинна враховуватися ще на стадії проектування виробничих будівель, технологічних ліній, складів, систем електропостачання, вентиляції, опалення та газопостачання. Відповідальність за дотримання протипожежних вимог під час проектування

і будівництва несуть замовники, проєктні організації, забудовники та виконавці будівельно-монтажних робіт [33,37-38].

До основних профілактичних заходів пожежної безпеки належать:

- Заміна технологічних процесів із підвищеною пожежною небезпекою на безпечніші або менш небезпечні.
- Герметизація трубопроводів, резервуарів і ємностей для запобігання витокам легкозаймистих та горючих речовин.
- Розміщення джерел відкритого вогню, зокрема зварювальних постів, у спеціально обладнаних і контрольованих зонах.
- Використання негорючих і вогнестійких матеріалів для будівельних конструкцій, перегородок та облицювання.
- Улаштування протипожежних перешкод, брандмауерів, протипожежних дверей і відсіків.
- Забезпечення вільних проходів, евакуаційних виходів і проїздів для пожежної техніки.
- Застосування справних запобіжників, автоматичних вимикачів і захисних пристроїв в електричних мережах.
- Контроль технічного стану опалювальних, вентиляційних і газових систем.
- Регулярне очищення робочих місць від пилу, мастила, горючих відходів і легкозаймистих матеріалів.
- Проведення планових перевірок обладнання, будівель, електроустановок і засобів пожежогасіння.

Особливу увагу слід приділяти пожежній безпеці під час виконання зварювальних, різальних, паяльних та інших вогневих робіт. Такі роботи повинні проводитися лише після підготовки робочого місця, видалення горючих матеріалів, перевірки справності обладнання та наявності первинних засобів пожежогасіння. У пожежонебезпечних зонах проведення

вогневих робіт допускається лише за відповідним дозволом і за умови дотримання спеціального режиму безпеки.

Для ефективного попередження пожеж важливе значення мають організаційні, технічні, експлуатаційні та режимні заходи. Організаційні заходи включають проведення інструктажів, навчання працівників правилам пожежної безпеки, розроблення інструкцій, планів евакуації та порядку дій у разі пожежі. Технічні заходи передбачають правильне проєктування будівель, електромереж, систем вентиляції, опалення та пожежної сигналізації.

Експлуатаційні заходи полягають у правильному використанні обладнання, своєчасному технічному обслуговуванні, ремонті та контролі його стану. Режимні заходи включають заборону куріння у невстановлених місцях, обмеження доступу сторонніх осіб до небезпечних зон, дотримання правил зберігання горючих матеріалів і контроль за виконанням вогневих робіт.

Працівники підприємства повинні знати місця розташування вогнегасників, пожежних кранів, аварійних виходів, засобів оповіщення та порядок евакуації. Кожен працівник зобов'язаний уміти діяти у разі виникнення пожежі: повідомити відповідальних осіб або пожежно-рятувальну службу, за можливості розпочати гасіння первинними засобами пожежогасіння, допомогти евакуації людей і не створювати перешкод для роботи рятувальників.

Забезпечення пожежної безпеки на підприємстві повинно здійснюватися системно та постійно. Поєднання профілактичних, організаційних, технічних і режимних заходів дає змогу зменшити ймовірність виникнення пожежі, забезпечити безпечні умови праці та знизити можливі наслідки надзвичайних ситуацій техногенного характеру [33, 37-38].

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто вдосконалення технологічного процесу виготовлення вил для силосу, які використовуються як навісне обладнання до завантажувача. У процесі виконання роботи проаналізовано конструкцію виробу, умови його експлуатації, основні навантаження та вимоги до міцності, жорсткості й якості зварних з'єднань.

Встановлено, що силосні вила-захват є просторовою зварною конструкцією, яка працює під дією змінних, згинальних та ударних навантажень. Найбільш відповідальними вузлами є місця кріплення робочих зубців, монтажні пластини, боковини, кронштейни гідроциліндрів і шарнірні елементи верхнього притискного механізму. Для виготовлення основних деталей обґрунтовано застосування сталі S235JR, яка має достатню міцність, пластичність і добру зварюваність.

Аналіз базового технологічного процесу показав, що його недоліками є недостатня точність складання, значна частка ручних операцій, можливість накопичення похибок та потреба в більш стабільному способі зварювання. Для усунення цих недоліків запропоновано оновлений технологічний процес із використанням сучасного обладнання для очищення, правлення, різання, механічної обробки, складання, зварювання та контролю якості виробу.

Для виконання зварних з'єднань прийнято напівавтоматичне MAG-зварювання дротом ОК Autrod 12.51 у середовищі газової суміші $Ar + CO_2$. Такий спосіб забезпечує стабільне формування шва, достатню продуктивність, зменшення розбризкування металу та кращу повторюваність якості порівняно з ручним дуговим зварюванням.

У роботі запропоновано застосування складально-зварювальних кондукторів, які дають змогу спочатку точно сформувати раму вил, а потім встановити й приварити робочі зубці з необхідним кроком і паралельністю. Таке рішення підвищує точність складання, скорочує час виконання операцій і зменшує зварювальні деформації.

Також виконано розрахунок двостійкового кантувача, який доцільно використовувати для кінцевого доварювання основної та верхньої частин конструкції. Застосування кантувача дозволяє виконувати шви у зручному положенні, покращити якість зварювання та зменшити трудомісткість робіт.

Для контролю якості передбачено візуально-вимірювальний контроль усіх зварних швів, а для найбільш відповідальних вузлів — ультразвуковий контроль. Це дозволяє своєчасно виявляти зовнішні та внутрішні дефекти, які можуть знизити надійність виробу.

У роботі запропоновано комплексне вдосконалення технологічного процесу виготовлення силосних вил-захвату. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення точності складання, стабільності якості зварних з'єднань, продуктивності виробництва та довговічності готового виробу. Використання сучасного обладнання дозволяє зробити процес виготовлення більш технологічним, керованим і придатним для умов серійного або дрібносерійного виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. https://astartat.com.ua/ua/tehnika/frontalnyie-pogruzchiki/oborudovanie-dlya-frontalnyx-pogruzchikov/zahv_s
3. https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/s235jr?utm_source=chatgpt.com
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 263 с.
5. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
6. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / за ред. В. М. Плескача. Київ : Либідь, 2010. 424 с.
7. Металознавство та термічна обробка металів : підручник / О. А. Бялік, В. С. Черненко, В. М. Писаренко, Ю. Н. Москаленко. Київ : Політехніка, 2001. 375 с.
8. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
9. ДСТУ EN 10025-2:2019. Вироби гарячекатані з конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
10. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
11. ДСТУ EN ISO 9606-1:2016. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
12. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та кваліфікація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування технології зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
13. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання металевим електродом у захисному газі нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. Стандарт визначає класифікацію дротів і наплавленого металу для газозахисного дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей.
14. <https://eweld.com.ua/svarochnaya-provoloka/provoloka-omednennaya-ok-autrod-1251-%C3%B812-mm-esab-18-kg>

15. ДСТУ EN ISO 14341:2022. Витратні матеріали для зварювання. Дротяні електроди та зварні наплавлення для дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей у захисному газі. Класифікація. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
16. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014.
17. 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.
18. https://kemppi.in.ua/catalog/sinergicheskoe_upravlenie/322.htm
19. https://kemppi.in.ua/catalog/gorelki_mig/307.htm
20. ДСТУ EN ISO 17637:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. ISO 17637 встановлює вимоги до візуального контролю зварних швів у металевих матеріалах.
21. ДСТУ EN ISO 17640:2018. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролю та оцінювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
22. 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.
23. https://metrolog.com.ua/ua/_shablони_svarshika
24. <https://intron-set.com.ua/product/universalnyj-i-vysokoprochnyj-defektoskop-epoch-650/>
25. <https://www.rosler.com/en/products/shot-blasting/preservation-lines>
26. <https://www.a-sfera.com.ua/products/listopravilnye-mashiny-arku>
27. <https://startec.biz/obrobka-listovogo-metalu-ta-prokatu/strichkopylni-verstaty/>
28. https://bystronic.com/ukr/uk/l/fiber-laser-machine-by-cut-smart?utm_source=chatgpt.com
29. https://www.timesaversint.com/machine/42-series/?utm_source=chatgpt.com
30. https://www.haascnc.com/machines/lathes/st/models/standard/st-25.html?utm_source=chatgpt.com#gsc.tab=0
31. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.

32. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
33. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с
34. Закон України Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ.
35. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VІ.
36. Правила пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417.
37. НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском. Київ, 2018.
38. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ, 1998.

ДОДАТОК