

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

Тернопіль
2026

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено технологічний процес зварювання відвалу бульдозера DRESSTA TD-20. Відвал розглянуто як відповідальну великогабаритну просторову металоконструкцію, що під час експлуатації безпосередньо взаємодіє з ґрунтом і сприймає значні зусилля різання, ударні навантаження, згинальні моменти, вібрації та інтенсивне абразивне зношування.

У роботі виконано аналіз конструкції виробу, визначено функціональне призначення основних елементів відвалу, зокрема лобового щита, боковин, ребер жорсткості, силової рами, кронштейнів, провущин, нижньої балки та змінної ножової частини. Обґрунтовано вибір матеріалів із урахуванням умов роботи окремих зон конструкції. Для основної зварної частини прийнято низьколеговану конструкційну сталь 09Г2С, яка характеризується достатньою міцністю, пластичністю та доброю зварюваністю. Для елементів, що працюють в умовах інтенсивного стирання, передбачено використання зносостійких сталей Hardox 450 і Hardox 500.

У технологічній частині обґрунтовано вибір механізованого та роботизованого МАГ-зварювання. Механізоване зварювання прийнято для коротких, кутових і важкодоступних швів, а роботизоване — для протяжних повторюваних з'єднань ребер жорсткості, нижньої балки, рами та підсилювальних елементів. Для реалізації процесу вибрано зварювальне джерело Fronius TPS 500i та роботизований зварювальний комплекс Yaskawa MOTOMAN AR3120 із пальником Fronius Robacta.

Розроблено маршрут виготовлення відвалу. Для підвищення якості виробу передбачено застосування складально-зварювальної оснастки, яка забезпечує точне базування деталей, надійне закріплення елементів і зменшення залишкових деформацій.

У роботі також розглянуто методи контролю якості зварної конструкції. Окрему увагу приділено питанням охорони праці під час виконання заготівельних, складальних, зварювальних, контрольних та опоряджувальних операцій.

Результатом роботи є технологічно обґрунтований процес виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20, який забезпечує підвищення продуктивності зварювальних робіт, стабільність якості зварних з'єднань, зменшення деформацій і покращення ремонтпридатності найбільш зношуваних елементів конструкції.

Ключові слова: ВІДВАЛ БУЛЬДОЗЕРА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, РОБОТИЗОВАНЕ ЗВАРЮВАННЯ, ЗВАРЮВАЛЬНА ОСНАСТКА.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції виробу	9
1.2 Характеристика матеріалу виробу	12
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу	17
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу....	22
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	27
2.1 Обґрунтування способу зварювання	27
2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування	35
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	42
2.4 Опис технологічного процесу виготовлення відвалу.....	48
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	61
3.1 Вибір та опис складально-зварювальної оснастки	61
3.2 Розрахунок притискача пристосування для складання відвалу	69
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	72
4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів в процесі виготовлення відвалу бульдозера	72
4.2 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання	76
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85
ДОДАТКИ.....	87

ВСТУП

Розвиток зварювальної науки і техніки є одним із важливих чинників удосконалення сучасного машинобудівного виробництва. Це пояснюється тим, що зварювання сьогодні виступає не лише способом з'єднання деталей, а й основним технологічним засобом створення складних, міцних і надійних металоконструкцій. Без використання зварювальних процесів неможливо уявити виготовлення транспортних машин, дорожньо-будівельної техніки, енергетичного обладнання, вантажопідіймальних механізмів та інших виробів, які працюють в умовах значних навантажень.

Зварювання належить до найважливіших і найбільш результативних технологічних процесів утворення нероз'ємних з'єднань. Воно широко використовується у промисловості, машинобудуванні, будівництві, транспортному виробництві та багатьох інших галузях. Завдяки високій продуктивності, економічній доцільності та можливості виготовлення міцних металоконструкцій складної форми зварювальне виробництво постійно вдосконалюється і набуває все ширшого застосування [1].

Сучасний рівень розвитку зварювального виробництва характеризується активним використанням прогресивного обладнання, автоматизованих і роботизованих комплексів, а також нових технологічних рішень. Значна частина зварювальних процесів здійснюється із застосуванням концентрованих джерел теплової енергії, які забезпечують місцеве нагрівання матеріалу до необхідного температурного стану. У зоні зварювання при цьому протікають складні теплові, фізико-хімічні та металургійні процеси, які впливають на формування структури металу шва, якість з'єднання та подальшу експлуатаційну надійність конструкції.

Зварювання є складним технологічним процесом, оскільки охоплює значну кількість способів, що ґрунтуються на різних фізичних принципах. До основних із них належать дугове, газове, контактне, електрошлакове, лазерне, електронно-променеве, плазмове та інші види зварювання. Кожен спосіб має власні технологічні особливості, область застосування, переваги й певні обмеження. Саме

тому зварювання використовують не тільки для з'єднання металів і сплавів, а й для окремих неметалевих матеріалів, зокрема пластмас, кераміки та скла.

Важливою особливістю зварювальних технологій є їх універсальність і придатність до використання в різних виробничих та експлуатаційних умовах. Зварювальні роботи можуть виконуватися не лише у звичайних наземних умовах, а й під водою, у важкодоступних місцях, у вакуумному середовищі та навіть у космічному просторі. Діапазон товщин зварюваних деталей також є дуже широким: від мікрометрових елементів, які застосовуються у приладобудуванні та мікроелектроніці, до масивних металоконструкцій значної товщини, характерних для важкого машинобудування, суднобудування і будівельної галузі.

У багатьох випадках зварювання є найбільш раціональним, а інколи й практично незамінним способом отримання міцного та довговічного нероз'ємного з'єднання конструкційних матеріалів. Його застосування дає можливість зменшити витрати металу, скоротити трудомісткість виготовлення виробів, підвищити рівень механізації та автоматизації виробничих операцій. Крім того, зварювання дозволяє виготовляти заготовки й конструкції, форма яких максимально наближена до конфігурації готового виробу, що сприяє раціональному використанню матеріалів, ресурсозбереженню та підвищенню ефективності виробництва [1].

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Бульдозер DRESSTA TD-20 (рис. 1.1) належить до гусеничних машин середнього тягового класу, які призначені для виконання земляних, планувальних, розчищувальних і допоміжних робіт у дорожньому будівництві, промисловому будівництві, кар'єрах та інших умовах інтенсивної експлуатації. Машина характеризується значною тяговою силою, стійкістю під час роботи на ґрунтах різної щільності та можливістю використання змінного робочого обладнання. Одним із основних робочих органів бульдозера є відвал, який безпосередньо взаємодіє з ґрунтом і сприймає основну частину навантажень під час переміщення матеріалу.



Рис. 1.1 – Загальний вигляд бульдозера DRESSTA TD-20 [2]

Зварним виробом, що розглядається в даній роботі, є відвал бульдозера DRESSTA TD-20 (рис. 1.2). Він являє собою просторову металоконструкцію, призначену для розроблення, переміщення та планування ґрунтів під час виконання земляних і дорожньо-будівельних робіт. У процесі експлуатації відвал безпосередньо контактує з робочим середовищем, тому сприймає значні зусилля різання, ударні навантаження, згинальні моменти, вібрації та інтенсивне абразивне

зношування. У зв'язку з цим до його конструкції висуваються підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості, зносостійкості, точності геометричної форми та якості зварних з'єднань.

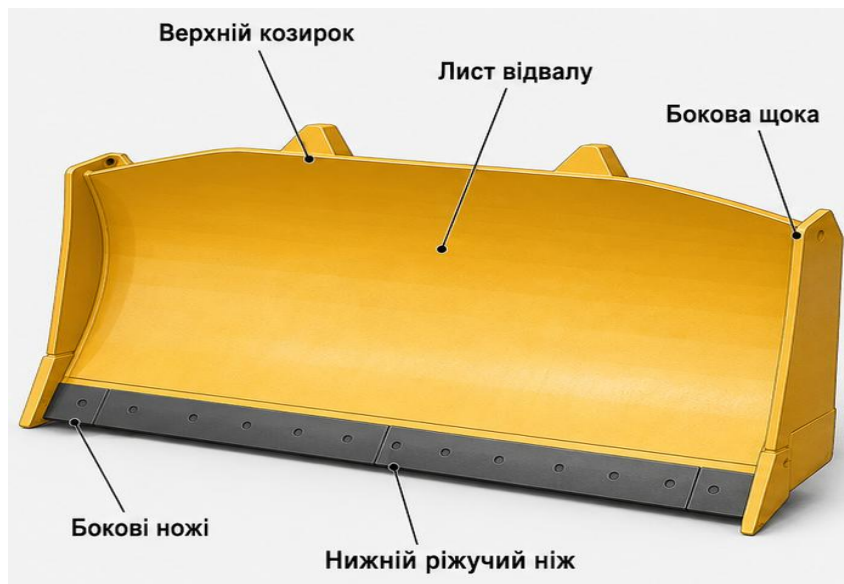


Рис. 1.2 Конструкція відвалу

Основою конструкції є центральна частина відвалу, або щит, який формує основну робочу поверхню виробу. Щит має криволінійну форму, завдяки якій забезпечується ефективне зрізання, накопичення та переміщення ґрунту перед машиною. Загальна ширина відвалу становить 3720 мм, висота — 1400 мм, а орієнтовна маса конструкції дорівнює 1980 кг. Центральна частина виготовляється з листової сталі HARDOX 450 товщиною 10 мм. Застосування такого матеріалу пояснюється необхідністю забезпечення достатньої міцності та підвищеної стійкості робочої поверхні до абразивного зношування.

Торцеві частини конструкції утворюють ліва та права боковини, які також виготовляються зі сталі HARDOX 450 товщиною 10 мм. Вони надають відвалу необхідної просторової форми, обмежують переміщення ґрунту в боковому напрямку та підвищують загальну жорсткість виробу. Висота боковин відповідає висоті основного щита і становить близько 1400 мм, а їх довжина у напрямку глибини конструкції дорівнює приблизно 1150 мм. З'єднання боковин із центральною частиною виконується зварюванням, при цьому особливу увагу

необхідно приділяти точності їх встановлення, оскільки від цього залежить правильність геометрії всього відвалу.

Для підвищення довговічності крайніх зон відвалу передбачені зносостійкі накладки боковин. Вони виготовляються зі сталі HARDOX 500 товщиною 20 мм і встановлюються на зовнішніх бічних ділянках конструкції. Висота таких накладок становить приблизно 1400 мм, а ширина — близько 180 мм. Їх застосування дає змогу захистити бокові частини від інтенсивного стирання під час роботи в ґрунтах із кам'янистими включеннями, а також зменшити ймовірність пошкодження торцевих елементів відвалу.

У верхній частині конструкції передбачені вушка кріплення, або провущини, які призначені для приєднання елементів підйому, нахилу або допоміжного навісного обладнання. Провущини виготовляються зі сталі 40Х товщиною 30 мм, що забезпечує їх високу міцність і здатність сприймати значні зосереджені навантаження. Орієнтовна висота провущини становить 210 мм, ширина — 150 мм, а діаметр отвору під палець кріплення — 80 мм. Дані елементи належать до відповідальних деталей відвалу, тому якість їх приварювання повинна контролюватися особливо ретельно.

Нижня частина відвалу є найбільш навантаженою, оскільки саме вона безпосередньо бере участь у різанні ґрунту. Основним елементом цієї зони є ріжучий ніж, виготовлений зі сталі HARDOX 500 товщиною 25 мм. Його довжина становить 3440 мм, а висота — близько 200 мм. Ніж встановлюється вздовж нижньої кромки відвалу та кріпиться болтовими з'єднаннями, що дає змогу виконувати його демонтаж і заміну після зношування без необхідності ремонту всієї зварної конструкції. Такий спосіб кріплення є технологічно доцільним, оскільки ріжуча кромка працює в умовах найбільшого тертя та потребує періодичного обслуговування.

Для додаткового підсилення нижньої частини передбачена накладка ножа, або подовжувач, яка виготовляється зі сталі HARDOX 500 товщиною 20 мм. Її довжина становить 3440 мм, а висота — приблизно 160 мм. Цей елемент підвищує жорсткість нижньої крайки відвалу, забезпечує кращий розподіл навантаження від

ріжучого ножа на основну конструкцію та зменшує ризик місцевої деформації нижнього пояса.

Крайні нижні ділянки відвалу підсилюються боковими ножами, які виготовляються зі сталі HARDOX 500 товщиною 25 мм. Вони встановлюються по обидва боки основного ножа та захищають бокові частини відвалу від зношування і механічних пошкоджень. Висота бокового ножа становить близько 200 мм. Наявність таких елементів особливо важлива під час роботи бульдозера в щільних або неоднорідних ґрунтах, коли на крайні частини відвалу діють значні місцеві навантаження.

Кріплення ножової частини до відвалу виконується за допомогою болтів, шайб і гайок. Для цього застосовуються болти типорозміру M24×80, шайби товщиною 6 мм і гайки зі сталі 40X. Кількість болтових з'єднань становить 16 штук. Використання болтового кріплення дає змогу забезпечити надійне притискання ножа до основи відвалу та одночасно зберегти можливість швидкої заміни ріжучих елементів у разі їх зношування або пошкодження.

Надійність даного зварного виробу залежить від правильної підготовки деталей, точності складання, раціональної послідовності зварювання та якісного контролю зварних з'єднань після виготовлення.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 необхідно застосовувати матеріали, які забезпечують поєднання міцності, зварюваності, пластичності та стійкості до зношування. Відвал під час роботи безпосередньо взаємодіє з ґрунтом, сприймає значні зусилля різання, ударні навантаження, вібрації та абразивну дію твердих частинок. Тому матеріал конструкції повинен бути підібраний з урахуванням функціонального призначення кожного елемента виробу.

Основну зварну частину відвалу доцільно виготовляти з конструкційної низьколегованої листової сталі 09Г2С. До цієї частини належать центральний щит відвалу, ліва та права боковини, ребра жорсткості, підсилювальні накладки,

поздовжні елементи каркаса, кронштейни та провусини, які приварюються до корпусу конструкції. Вибір сталі 09Г2С пояснюється тим, що вона добре працює у зварних металоконструкціях, має достатню міцність, пластичність і ударну в'язкість, а також забезпечує надійне формування зварних з'єднань без значного ускладнення технології виготовлення.

Повне виготовлення щита відвалу зі сталі Hardox є економічно та технологічно менш доцільним, оскільки така сталь має вищу вартість, підвищену твердість і потребує більш уважного підходу до гнуття, різання та зварювання. У конструкції відвалу раціональніше застосовувати сталь 09Г2С як основний несучий матеріал, а зносостійкі сталі Hardox 450 і Hardox 500 використовувати лише в тих ділянках, які безпосередньо контактують із ґрунтом і найбільше піддаються абразивному зношуванню.

Сталь 09Г2С належить до низьколегованих конструкційних сталей підвищеної міцності. Вона широко застосовується для виготовлення зварних рам, балок, корпусних елементів, металоконструкцій машин і механізмів, які працюють під дією статичних, змінних та помірних ударних навантажень. Наявність у складі сталі марганцю і кремнію сприяє підвищенню міцності, а відносно невисокий вміст вуглецю забезпечує добру зварюваність. Саме тому сталь 09Г2С є придатною для виготовлення основної зварної частини відвалу бульдозера.

Хімічний склад сталі 09Г2С наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С, % [3]

Марка сталі	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
09Г2С	до 0,12	0,50–0,80	1,30–1,70	до 0,30	до 0,30	до 0,30	до 0,040	до 0,035

Низький вміст вуглецю у сталі 09Г2С позитивно впливає на її технологічні властивості, зокрема на здатність утворювати якісні зварні з'єднання. Марганець підвищує міцність і сприяє покращенню структури сталі, а кремній збільшує опір металу деформації та позитивно впливає на його експлуатаційну стійкість. Обмежений вміст сірки та фосфору є важливим, оскільки ці домішки можуть

знижувати пластичність металу та сприяти утворенню дефектів у зварних з'єднаннях.

Основні механічні властивості сталі 09Г2С наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні механічні властивості сталі 09Г2С [3]

Марка сталі	Вид прокату	Границя текучості R_e , МПа	Тимчасовий опір розриву R_m , МПа	Відносне видовження A , %
09Г2С	Листовий прокат	325–345	450–510	не менше 21

Наведені властивості свідчать, що сталь 09Г2С має достатній рівень міцності для виготовлення основної несучої частини відвалу. Границя текучості в межах 325–345 МПа забезпечує опір залишковим деформаціям під час дії робочих навантажень, а тимчасовий опір розриву 450–510 МПа характеризує здатність металу витримувати значні силові впливи без руйнування. Достатня пластичність матеріалу є важливою перевагою для конструкції, яка під час роботи зазнає ударів, вібрацій і нерівномірного навантаження.

Для ножової частини відвалу доцільно застосовувати зносостійку сталь Hardox 500. З неї можуть виготовлятися основний ріжучий ніж і бокові ножі, які першими контактують із ґрунтом під час різання. Ці елементи працюють в умовах найбільшого абразивного зношування, тому для них потрібний матеріал із високою твердістю та стійкістю до стирання. Використання Hardox 500 дозволяє збільшити ресурс роботи ножової частини та зменшити частоту її заміни.

Сталь Hardox 450 може застосовуватися для зносостійких накладок, подовжувача ножа та захисних елементів боковин. Вона має нижчу твердість порівняно з Hardox 500, однак краще поєднує зносостійкість із технологічністю. Тому Hardox 450 доцільно використовувати в тих місцях, де необхідний підвищений опір стиранню, але навантаження не є настільки інтенсивним, як у зоні основної ріжучої кромки.

Основні властивості зносостійких сталей Hardox 450 і Hardox 500 наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні властивості сталей Hardox 450 і Hardox 500 [4-5]

Марка сталі	Призначення в конструкції відвалу	Твердість, HBW	Характеристика матеріалу
Hardox 450	Накладки, подовжувач ножа, захисні елементи	425–475	Зносостійка сталь із добрим поєднанням твердості та технологічності
Hardox 500	Основний ріжучий ніж, бокові ножі	470–530	Високозносостійка сталь для деталей, що працюють при інтенсивному стиранні

Ножова частина відвалу повинна виконуватися змінною. Це пояснюється тим, що ріжучий ніж і бокові ножі під час роботи зношуються значно швидше, ніж основна несуча конструкція. Кріплення ножа до нижньої частини відвалу доцільно виконувати болтовими з'єднаннями. Такий спосіб кріплення дозволяє замінювати зношені елементи без демонтажу всієї конструкції та без виконання ремонтного зварювання на основному корпусі відвалу.

Для окремих пальців, втулок і деталей шарнірних з'єднань може застосовуватися сталь 40Х. Цей матеріал має підвищену міцність і зносостійкість після відповідної термічної обробки, тому придатний для деталей, які працюють на зріз, контактне стискання та тертя. Водночас сталь 40Х не є оптимальною для широкого застосування у зварній частині конструкції, оскільки має гіршу зварюваність порівняно зі сталлю 09Г2С. Тому елементи, які безпосередньо приварюються до корпусу відвалу, доцільно виготовляти зі сталі 09Г2С збільшеної товщини, а сталь 40Х використовувати переважно для змінних або механічно оброблюваних деталей.

Однією з головних причин вибору сталі 09Г2С для основної конструкції є її добра зварюваність. Під зварюваністю розуміють здатність металу утворювати якісне нероз'ємне з'єднання без появи тріщин, непроварів, крихких структур у зоні термічного впливу та значного зниження механічних властивостей. Для відвалу бульдозера це має особливе значення, оскільки зварні шви працюють під дією ударних, згинальних і вібраційних навантажень.

Для основної зварної частини відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 прийнято конструкційну низьколеговану листову сталь 09Г2С. Попередню оцінку її

зварюваності виконуємо за еквівалентним вмістом вуглецю. Цей показник враховує вплив вуглецю та основних легувальних елементів на схильність сталі до утворення загартованих структур і холодних тріщин у зоні термічного впливу.

Еквівалент вуглецю визначаємо за формулою [6]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15} = 0,09 + \frac{1,50}{6} + \frac{0,25 + 0 + 0}{5} + \frac{0,25 + 0,25}{15} = 0,423$$

Отримане значення $S_{\text{екв}} = 0,423$ свідчить, що сталь 09Г2С має добру зварюваність і може застосовуватися для виготовлення основної зварної конструкції відвалу. Для деталей звичайної товщини зварювання такої сталі, як правило, може виконуватися без обов'язкового попереднього підігріву. Водночас під час зварювання масивних елементів, вузлів із підвищеною жорсткістю або за зниженої температури навколишнього середовища необхідно контролювати тепловкладення та не допускати надмірно швидкого охолодження зварного з'єднання.

Під час зварювання основи відвалу зі сталі 09Г2С необхідно забезпечити якісну підготовку деталей. Також необхідно витримувати задані зазори, правильно виконувати прихватки та застосовувати таку послідовність зварювання, яка зменшує ризик появи залишкових деформацій.

Під час з'єднання основної конструкції зі зносостійкими деталями Hardox потрібно враховувати, що ці сталі мають підвищену твердість і більшу чутливість до перегріву та швидкого охолодження. Тому зварювання Hardox застосовується лише там, де це передбачено конструкцією. Для основного ріжучого ножа більш доцільним є болтове кріплення, оскільки воно забезпечує ремонтпридатність і не погіршує властивості зносостійкої сталі внаслідок теплового впливу.

Для виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 приймається комбінована схема застосування матеріалів. Основна зварна конструкція, а саме центральний щит, боковини, ребра жорсткості, підсилювальні елементи, кронштейни та провушини, виготовляється зі сталі 09Г2С. Основний ріжучий ніж

і бокові ножі виконуються зі сталі Hardox 500, а накладки ножа та захисні зносостійкі елементи — зі сталі Hardox 450 або Hardox 500. Для пальців, втулок і окремих деталей шарнірних з'єднань може застосовуватися сталь 40X. Такий вибір матеріалів забезпечує раціональне поєднання міцності, зварюваності, зносостійкості, технологічності виготовлення та ремонтпридатності відвалу.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Відвал бульдозера DRESSTA TD-20 є відповідальною зварною металоконструкцією, яка під час експлуатації працює в умовах значних механічних навантажень, ударної дії, вібрацій та інтенсивного абразивного зношування. У зв'язку з цим до його виготовлення висуваються підвищені вимоги щодо точності геометричних параметрів, якості зварних з'єднань, правильності складання окремих елементів, дотримання режимів зварювання та забезпечення необхідної міцності конструкції.

Відвал повинен виготовлятися відповідно до робочих креслень, технологічних карт, вимог чинної нормативно-технічної документації та технічних умов, прийнятих для зварних конструкцій дорожньо-будівельних машин. Основними вимогами при виготовленні виробу є дотримання габаритних і приєднувальних розмірів, збереження криволінійної форми робочого щита, правильне взаємне розташування боковин, ножотримача, ребер жорсткості, кронштейнів, провущин і зносостійких елементів. Усі відхилення розмірів повинні перебувати в межах допусків, указаних на кресленнях або в технологічній документації.

Основна зварна частина відвалу, до якої належать центральний щит, боковини, ребра жорсткості, підсилювальні елементи, кронштейни та провущини, виготовляється з листової конструкційної сталі 09Г2С. Дана сталь повинна відповідати вимогам стандартів за хімічним складом, механічними властивостями та якістю поверхні. Матеріал, що надходить у виробництво, повинен супроводжуватися сертифікатом якості підприємства-постачальника, у якому зазначаються марка сталі, номер плавки, механічні властивості, хімічний склад і

результати необхідних випробувань. Використання металу без підтвердження його якості не допускається.

Для ножової частини відвалу застосовуються зносостійкі сталі Hardox 450 та Hardox 500. Основний ріжучий ніж і бокові ножі доцільно виготовляти зі сталі Hardox 500, оскільки ці елементи безпосередньо контактують із ґрунтом і працюють в умовах найбільш інтенсивного абразивного зношування. Накладки ножа, подовжувачі та захисні елементи боковин можуть виготовлятися зі сталі Hardox 450 або Hardox 500 залежно від умов навантаження. Зносостійкі елементи ножової частини повинні бути змінними, а їх кріплення до основи відвалу необхідно виконувати болтовими з'єднаннями, що забезпечує можливість заміни після зношування без ремонту всієї зварної конструкції.

При виборі матеріалів для деталей, які приварюються до основної частини відвалу, необхідно враховувати їх зварюваність і сумісність із матеріалом основи. Приварювані елементи повинні мати близькі до сталі 09Г2С значення коефіцієнта лінійного розширення, достатню пластичність і не повинні спричиняти утворення крихких ділянок у зоні термічного впливу. Для пальців, втулок та окремих деталей шарнірних з'єднань може застосовуватися сталь 40Х, однак її використання у приварюваних елементах необхідно обмежувати через нижчу зварюваність порівняно зі сталлю 09Г2С.

У процесі проектування та виготовлення відвалу необхідно уникати конструктивних рішень, які викликають концентрацію напружень. Не допускається наявність різких переходів перерізів, гострих внутрішніх кутів, необґрунтованих вирізів, коротких переривчастих швів у навантажених зонах і розташування швів у місцях найбільшого силового потоку. Зварні з'єднання повинні мати плавні переходи до основного металу, а форма швів має забезпечувати мінімальну концентрацію напружень під час роботи конструкції під змінними навантаженнями.

Зварні шви відвалу повинні виконуватися відповідно до вимог стандартів на дугове зварювання та конструктивні елементи зварних з'єднань. Для виготовлення основної конструкції зі сталі 09Г2С доцільно застосовувати механізоване дугове

зварювання плавким електродом у середовищі захисних газів. Параметри режиму зварювання встановлюються залежно від товщини зварюваних деталей, типу з'єднання, просторового положення шва, марки основного металу та зварювальних матеріалів. Вибрані режими повинні забезпечувати повне проплавлення, правильне формування шва, відсутність непроварів, підрізів, тріщин, пор і шлакових включень.

Перед складанням усі деталі повинні пройти вхідний контроль, очищення та підготовку. Листові елементи мають бути відрихтовані, а їх неплоскостність і непрямолінійність не повинні перевищувати значень, установлених кресленням або технологічними умовами. Якщо на кресленні не зазначено більш жорстких вимог, допустиме відхилення форми може прийматися не більше 3 мм на 1 м довжини. Поверхні, що підлягають складанню та зварюванню, необхідно очистити від іржі, окалини, мастила, вологи, бруду, залишків фарби та інших забруднень, які можуть погіршити якість зварного з'єднання.

Складання відвалу під зварювання необхідно виконувати у спеціальних складально-зварювальних пристосуваннях або на стендах, які забезпечують правильне взаємне розташування деталей, фіксацію криволінійної форми щита, положення боковин, ребер жорсткості, кронштейнів і провущин. Під час призначення базових розмірів пристосувань слід враховувати можливі зварювальні деформації, які виникають унаслідок нерівномірного нагрівання та охолодження металу. Застосування пристосувань повинно забезпечувати вільний доступ до місць виконання швів і можливість дотримання передбаченої технологічним процесом послідовності зварювання.

Зазори між зварюваними кромками, зміщення деталей і форма підготовки кромок повинні відповідати вимогам креслень і стандартів на відповідні типи зварних з'єднань. Допуски на сумісні деталі необхідно призначати так, щоб забезпечити складання елементів без додаткового підганяння за місцем, витримування необхідних зазорів у стиках, одержання заданих складальних розмірів і компенсацію можливих деформацій після зварювання. Усі відхилення,

які можуть призвести до зміни геометрії відвалу або погіршення якості швів, повинні бути усунені до початку основного зварювання.

Прихватки необхідно виконувати в місцях і послідовності, визначених технологічним процесом. Вони повинні забезпечувати надійну фіксацію деталей під час зварювання, але не повинні створювати додаткових концентраторів напружень або заважати формуванню основного шва. Поверхня прихваток перед накладанням основних швів має бути очищена, а за наявності тріщин, пор або інших дефектів прихватки підлягають видаленню та повторному виконанню. Довжина прихваток і відстань між ними встановлюються залежно від товщини деталей, довжини з'єднання та жорсткості вузла.

Послідовність зварювання відвалу повинна забезпечувати мінімальні залишкові деформації та напруження. З цією метою рекомендується застосовувати симетричне накладання швів, зварювання від середини конструкції до країв, чергування ділянок швів на протилежних сторонах виробу, а також використання раціональної довжини проходів. Особливу увагу необхідно приділяти зварюванню довгих швів робочого щита, боковин і ребер жорсткості, оскільки саме ці з'єднання найбільше впливають на збереження геометричної форми відвалу.

Властивості зварних з'єднань основної конструкції повинні бути не нижчими за мінімально допустимі властивості основного металу або відповідати вимогам, установленим у технічній документації. Метал шва та зона термічного впливу повинні мати достатню міцність, пластичність і стійкість до утворення тріщин. При зварюванні сталі 09Г2С необхідно застосовувати зварювальні матеріали, які забезпечують рівномірність з'єднання та стабільне формування шва. При з'єднанні елементів, що контактують зі зносостійкими сталями Hardox, потрібно обмежувати тепловкладення та не допускати перегріву матеріалу, оскільки це може погіршити його твердість і зносостійкість.

Розрахункова довжина зварних швів не повинна бути меншою 30 мм. У напусткових з'єднаннях, які працюють під навантаженням, доцільно застосовувати комбіновані шви, що поєднують лобові та флангові ділянки. Виконання лише флангових швів допускається тільки в зонах із незначними напруженнями. У

таврових з'єднаннях із двобічними швами необхідно забезпечувати таке розташування деталей, яке не погіршує доступ до зони зварювання та не спричиняє непроварів у корені шва.

Зварні шви повинні бути розміщені так, щоб забезпечити можливість їх візуального огляду, вимірювання геометричних параметрів, проведення неруйнівного контролю та, за потреби, усунення виявлених дефектів. Відстань між краєм шва приварювання кронштейнів, ребер, косинок або інших елементів і краєм найближчого основного шва повинна бути не меншою за товщину стінки елемента, якщо інше не передбачено кресленням. Перетин стикових швів кутовими швами допускається лише за умови технологічної необхідності та проведення відповідного контролю якості.

Після завершення зварювання шви повинні бути очищені від шлаку, бризок, окалини та інших залишків зварювального процесу. Поверхні, які підлягають ґрунтуванню та фарбуванню, необхідно очистити до стану, що забезпечує якісне нанесення захисного покриття. Допускається не виконувати повне очищення від окремих бризок на робочих поверхнях, які під час експлуатації безпосередньо контактують із ґрунтом, якщо це не впливає на працездатність виробу та не суперечить вимогам креслення.

Контроль якості зварної конструкції повинен виконуватися після завершення основних зварювальних операцій і перед нанесенням захисного покриття. Насамперед проводиться візуально-вимірювальний контроль, під час якого перевіряють зовнішній вигляд швів, рівномірність їх формування, відповідність розмірів катетів і висоти підсилення, відсутність тріщин, подрізів, кратерів, пор, напливів, пропалів та інших дефектів. Для відповідальних вузлів, зокрема провущин, кронштейнів кріплення, з'єднань боковин і ділянок нижньої частини відвалу, за потреби застосовують додаткові неруйнівні методи контролю.

Зварні з'єднання не повинні мати дефектів, які перевищують допустимі норми, установлені нормативно-технічною документацією. Якщо в одному з'єднанні виявлено кілька допустимих дефектів, їх сумарна довжина не повинна перевищувати встановленого граничного значення для даного типу конструкції.

Виправлення дефектів необхідно виконувати згідно з технологічною інструкцією. Повторне виправлення одного й того самого місця допускається лише в обмежених випадках, оскільки багаторазове нагрівання може погіршити властивості металу та знизити працездатність з'єднання [7-13].

Ґрунтування, шпаклювання та фарбування відвалу дозволяється виконувати тільки після приймання виробу службою технічного контролю. Перед нанесенням покриття поверхня конструкції повинна бути очищена, знежирена та підготовлена відповідно до вимог технологічного процесу. Захисне покриття має забезпечувати стійкість металу до корозії під час зберігання, транспортування та експлуатації виробу.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу

Базовий технологічний процес виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 передбачає виконання комплексу заготівельних, складальних, зварювальних, контрольних і завершальних операцій. У типовому варіанті виготовлення такого виробу здійснюється шляхом розкрою листового прокату, формування криволінійного щита, складання боковин, ребер жорсткості, підсилювальних елементів і кронштейнів, виконання прихваток, подальшого зварювання, очищення швів, встановлення ножової частини та контролю готової конструкції. Незважаючи на загальну технологічну придатність такого процесу, його аналіз показує наявність низки недоліків, які можуть негативно впливати на якість, трудомісткість і довговічність готового виробу.

Одним із основних недоліків існуючих технологічних процесів виготовлення відвалів є значна частка ручних складальних операцій. Відвал має великі габарити, криволінійну форму робочого щита та велику кількість приварюваних елементів, тому навіть незначні відхилення під час складання можуть призвести до порушення геометрії всієї конструкції. У разі використання універсальних стендів або недостатньо жорстких пристосувань зростає потреба у ручному підганянні деталей, додатковому рихтуванні та контролі положення елементів перед зварюванням. Це

збільшує трудомісткість виготовлення, ускладнює забезпечення повторюваності розмірів і створює ризик появи перекосів боковин, зміщення ребер жорсткості та неточного розташування кронштейнів кріплення.

Суттєвим недоліком базового процесу є також недостатній контроль деформацій під час зварювання. Конструкція відвалу містить протяжні кутові, таврові та стикові з'єднання, які виконуються на листових деталях значної площі. Під час нагрівання та охолодження металу виникають залишкові напруження, що можуть спричиняти викривлення робочого щита, зміну радіуса його кривизни, місцеві прогини та відхилення від заданої форми. Якщо послідовність накладання швів не є достатньо обґрунтованою, а зварювання виконується без симетричного розподілу тепловкладення, після завершення операцій виникає потреба у додатковому рихтуванні конструкції. Це не лише збільшує тривалість виготовлення, а й може погіршувати напружено-деформований стан виробу.

У наявних технологічних процесах часто недостатньо чітко розмежовується виготовлення основної несучої конструкції та зносостійкої ножової частини. Основу відвалу раціонально виготовляти з конструкційної листової сталі 09Г2С, яка має добру зварюваність і придатна для несучих зварних елементів. Водночас ріжучий ніж, бокові ножі та захисні накладки повинні виготовлятися зі зносостійких сталей Hardox 450 або Hardox 500. Якщо у базовому процесі не передбачено такого функціонального розподілу матеріалів, це може призвести або до невиправданого здорожчання конструкції, або до зниження ресурсу найбільш навантажених ділянок. Особливо небажаним є надмірне зварювання зносостійких елементів, оскільки тепловий вплив може знижувати твердість і зносостійкість матеріалу в зоні термічного впливу.

Недоліком окремих існуючих процесів є використання ріжучої частини як незмінного або складно демонтованого елемента. Під час експлуатації саме ніж і бокові ножі зношуються найшвидше, оскільки вони безпосередньо контактують із ґрунтом, кам'янистими включеннями та іншими абразивними матеріалами. Якщо конструкція не забезпечує швидкої заміни цих елементів, ремонт відвалу ускладнюється, збільшується тривалість простою машини, а відновлення

працездатності потребує додаткового зварювання або наплавлення. Більш раціональним є виконання ножової частини змінною з болтовим кріпленням, що підвищує ремонтпридатність виробу та зменшує витрати на його обслуговування.

Заготівельні операції у базовому процесі також можуть мати недоліки. При термічному різанні деталей зі сталі 09Г2С важливо забезпечити якість крайок, відсутність значних задирок, напливів, підрізів і зон перегріву. Для деталей зі сталей Hardox це питання є ще більш важливим, оскільки надмірний тепловий вплив під час різання може погіршити властивості крайової зони. Якщо після розкрою не виконується достатнє зачищення та контроль крайок, під час зварювання можуть виникати непровари, пори, включення або тріщини. Таким чином, недостатня якість підготовки заготовок безпосередньо впливає на надійність зварних з'єднань.

Окремої уваги потребує операція формування криволінійного щита відвалу. У базовому технологічному процесі ця операція часто розглядається лише як допоміжна, хоча саме вона визначає правильність робочої поверхні виробу. Недотримання заданого радіуса кривизни, поява місцевих заломів або нерівномірність вигину призводять до погіршення процесу переміщення ґрунту та ускладнюють подальше складання боковин і ребер жорсткості. Крім того, неточності форми щита можуть викликати нерівномірний розподіл навантажень по ширині відвалу, що в подальшому сприяє появі місцевих деформацій і тріщин у зварних з'єднаннях.

Існуючі технологічні процеси часто передбачають переважно ручне або механізоване зварювання без достатнього рівня автоматизації. Такий підхід є прийнятним для коротких швів, важкодоступних зон, кронштейнів, провущин і ребер, однак для довгих прямолінійних або повторюваних швів він не завжди забезпечує стабільну якість. Якість таких з'єднань значною мірою залежить від кваліфікації зварника, стійкості режиму, рівномірності швидкості переміщення пальника та правильності ведення дуги. Тому для протяжних швів доцільно застосовувати автоматизоване MIG/MAG-зварювання, яке забезпечує кращу

повторюваність параметрів, стабільне формування шва та зменшення впливу людського фактора.

Ще одним недоліком базового процесу є недостатня деталізація режимів зварювання для різних типів з'єднань. У конструкції відвалу наявні з'єднання різної товщини, форми та навантаженості, тому застосування однакових або недостатньо обґрунтованих режимів може призвести до нерівномірного проплавлення, надмірного тепловкладення, підрізів або непроварів. Для сталі 09Г2С необхідно забезпечити рівномірність зварного з'єднання, а під час роботи поблизу зносостійких деталей Hardox — уникати перегріву та різкого охолодження. Отже, режими MIG/MAG-зварювання повинні підбиратися окремо для кожного типу шва з урахуванням товщини деталей, просторового положення, довжини шва та вимог до якості.

Недостатньо ефективною в базових технологічних процесах може бути і система контролю якості. Обмеження лише візуальним оглядом не завжди дає змогу виявити внутрішні дефекти, особливо в найбільш відповідальних вузлах, таких як провувшини, кронштейни кріплення, з'єднання боковин із щитом і ділянки нижнього підсилення. У цих місцях під час експлуатації виникають значні змінні навантаження, тому наявність непроварів, пор, тріщин або несплавлень може стати причиною передчасного руйнування. Саме тому для відповідальних з'єднань необхідно передбачати не лише візуально-вимірний контроль, а й додаткові методи неруйнівного контролю.

Аналіз базового технологічного процесу показує, що основними його проблемами є висока трудомісткість складання, значна залежність якості від ручних операцій, ризик зварювальних деформацій, недостатній рівень автоматизації протяжних швів, складність контролю геометрії криволінійного щита, а також потреба у більш раціональному використанні матеріалів. Крім того, важливим недоліком є недостатнє врахування ремонтпридатності ножової частини, яка під час експлуатації зношується швидше за основну зварну конструкцію.

Для усунення зазначених недоліків необхідно вдосконалити технологічний процес виготовлення відвалу. Насамперед слід передбачити застосування спеціального складально-зварювального стенда, який забезпечить точне базування центрального щита, боковин, ребер жорсткості, кронштейнів і провушин. Це дозволить зменшити обсяг ручного підганяння, підвищити точність складання та забезпечити повторюваність геометричних параметрів. Для виконання протяжних швів необхідно використовувати автоматизоване MIG/MAG-зварювання, а для коротких і складнодоступних ділянок — механізоване MIG/MAG-зварювання. Такий підхід дозволяє поєднати продуктивність, якість і технологічну гнучкість.

Окремим напрямом удосконалення є раціональна організація операцій розкрою та підготовки крайок. Для деталей зі сталі 09Г2С необхідно забезпечити якісне різання з подальшим очищенням крайок, а для деталей зі сталей Hardox — мінімізувати небажаний тепловий вплив і не допускати перегріву. Ножову частину доцільно залишати змінною, з болтовим кріпленням, оскільки це підвищує ремонтпридатність і дозволяє використовувати зносостійкі сталі без погіршення їх властивостей через зайве зварювання.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Вибір способу зварювання для виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 необхідно виконувати з урахуванням конструкції виробу, властивостей основного металу, характеру зварних з'єднань, габаритів деталей, доступності швів і вимог до якості готової металоконструкції. Відвал є відповідальним робочим органом бульдозера, який під час експлуатації сприймає значні згинальні, ударні та вібраційні навантаження. Крім того, його нижня частина постійно працює в умовах контакту з ґрунтом, тому конструкція повинна мати достатню міцність, жорсткість, стійкість до деформацій і надійні зварні з'єднання.

Конструкція відвалу містить переважно кутові, таврові та частково стикові з'єднання. Кутові шви використовуються при приварюванні ребер жорсткості, підсилювальних накладок, кронштейнів і боковин. Таврові з'єднання характерні для приєднання елементів каркаса до робочого щита. Стикові шви можуть застосовуватися під час з'єднання окремих листових деталей або елементів підсилення. Частина швів має значну довжину, а окремі ділянки розташовані у місцях з обмеженим доступом. Тому спосіб зварювання повинен бути достатньо продуктивним, але водночас гнучким для виконання швів різної конфігурації.

Для виготовлення відвалу можна розглядати кілька способів зварювання: ручне покритими електродами, газове, плазмове, автоматичне під флюсом, а також механізоване й автоматизоване MIG/MAG-зварювання. Кожен із цих способів має певні переваги, однак для даної конструкції їх ефективність є різною.

Ручне покритими електродами може застосовуватися для ремонтних робіт або для виконання окремих коротких швів у важкодоступних місцях. Його перевагою є простота обладнання та можливість роботи в різних просторових положеннях. Однак для виготовлення відвалу як великогабаритної конструкції цей спосіб не є раціональним. Він має нижчу продуктивність, потребує частої заміни електродів, супроводжується утворенням шлакової кірки та вимагає додаткового очищення швів. Крім того, стабільність якості значною мірою залежить від

кваліфікації зварника, що особливо небажано при виконанні довгих відповідальних з'єднань [14].

Газове для виготовлення відвалу не забезпечує необхідної продуктивності та технологічної стабільності. Воно характеризується значною зоною термічного впливу, повільним виконанням операцій і підвищеною ймовірністю виникнення деформацій. Для листових елементів зі сталі 09Г2С, які мають значні габарити та повинні зберігати задану криволінійну форму, такий спосіб є малоефективним. Плазмове зварювання має високу концентрацію теплової енергії, проте потребує складнішого обладнання і є економічно недоцільним для конструкції, у якій переважають типові кутові, таврові та стикові з'єднання [14].

Автоматичне під флюсом відзначається високою продуктивністю і якісним формуванням металу шва, особливо при виконанні довгих прямолінійних з'єднань у нижньому положенні. Проте конструкція відвалу має криволінійний щит, боковини, ребра, кронштейни й провущини, тобто значну кількість швів різної довжини та просторової орієнтації. Через це застосування зварювання під флюсом для всієї конструкції є обмеженим. Крім того, шар флюсу закриває зону горіння дуги, ускладнює оперативне спостереження за формуванням шва та підвищує вимоги до точності складання [14].

З урахуванням конструктивних особливостей відвалу найбільш доцільним є застосування механізованого та автоматизованого MIG/MAG-зварювання. Для зварювання сталі 09Г2С фактично використовується MAG-процес, оскільки захист зварювальної ванни забезпечується активною газовою сумішшю. Даний спосіб дає змогу отримувати якісні шви з достатньою глибиною проплавлення, забезпечує високу продуктивність і дозволяє виконувати з'єднання на деталях різної товщини.

Механізоване MIG/MAG-зварювання доцільно застосовувати на ділянках, де потрібна гнучкість виконання операцій. До таких зон належать місця приварювання боковин, коротких ребер жорсткості, кронштейнів, провущин і підсилювальних накладок. У цьому випадку електродний дріт подається в зону зварювання механізовано, а переміщення пальника виконує зварник. Такий варіант

дозволяє працювати зі швами складної форми та з'єднаннями, доступ до яких обмежений конструкцією виробу.

Автоматизоване MIG/MAG-зварювання доцільно використовувати для довгих і повторюваних швів, де необхідно забезпечити однакову якість по всій довжині з'єднання. До таких швів належать протяжні з'єднання ребер із робочим щитом, окремі стикові з'єднання листових елементів і шви підсилювального каркаса. Автоматизоване переміщення пальника забезпечує сталість швидкості зварювання, рівномірне тепловкладення та стабільне формування валика. Це зменшує вплив людського фактора, покращує повторюваність результатів і знижує ймовірність появи дефектів.

Важливою перевагою MIG/MAG-зварювання є можливість регулювання основних параметрів процесу. Сила струму, напруга дуги, швидкість подачі дроту, швидкість зварювання, виліт електрода та витрата захисного газу можуть підбиратися залежно від товщини металу, типу з'єднання та просторового положення шва. Це особливо важливо для відвалу, оскільки нерівномірне тепловкладення може спричинити викривлення криволінійного щита, перекіс боковин або зміщення кронштейнів. Правильно підібрані режими дозволяють зменшити залишкові напруження і забезпечити кращу геометричну стабільність конструкції [14].

Як захисне середовище для зварювання приймається газова суміш типу M21, яка містить аргон і 18–20 % вуглекислого газу. Порівняно зі зварюванням у чистому CO₂ така суміш забезпечує стабільніше горіння дуги, менше розбризкування металу, якісніше формування шва та зменшення трудомісткості післязварювального очищення. Це має важливе значення для відвалу, оскільки після зварювання конструкція проходить контроль якості, очищення, ґрунтування та фарбування [15-17].

Для зварювання основної конструкції відвалу зі сталі 09Г2С приймається суцільний оміднений зварювальний дріт Lincoln Electric SupraMIG®. Він призначений для MIG/MAG-зварювання нелегованих і низьколегованих конструкційних сталей та може застосовуватися як у механізованих, так і в

автоматизованих процесах. Для відвалу цей дріт є доцільним, оскільки забезпечує стабільну подачу, рівномірне горіння дуги, якісне формування металу шва та можливість виконання протяжних з'єднань із високою повторюваністю результатів.

Дріт Lincoln Electric SupraMIG® належить до класу ER70S-6 і за європейською класифікацією відповідає позначенню G46 4 M21 3Si1. Такий присадний матеріал забезпечує достатню міцність, пластичність і ударну в'язкість наплавленого металу. Це важливо для зварних з'єднань відвалу, які під час роботи сприймають змінні навантаження, удари та вібрації [17].

Орієнтовний хімічний склад зварювального дроту Lincoln Electric SupraMIG® наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад дроту Lincoln Electric SupraMIG®, % [17]

Марка дроту	C	Mn	Si
Lincoln Electric SupraMIG®	0,08	1,40	0,85

Основні механічні властивості наплавленого металу при використанні газової суміші M21 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Типові механічні властивості металу шва при зварюванні дротом Lincoln Electric SupraMIG® у суміші M21 [17]

Умови зварювання	Границя текучості, МПа	Тимчасовий опір розриву, МПа	Відносне видовження, %	Ударна робота, Дж
M21, після зварювання	480	570	28	120 за –40 °C

Наведені показники свідчать, що метал шва, отриманий із застосуванням дроту Lincoln Electric SupraMIG®, має достатній запас міцності для зварювання основної конструкції відвалу. Границя текучості та тимчасовий опір розриву наплавленого металу забезпечують надійну роботу з'єднань під дією експлуатаційних навантажень, а висока ударна робота за від'ємної температури є додатковою перевагою для техніки, яка може працювати в різних кліматичних умовах.

Для коротких і середніх швів, а також для приварювання кронштейнів, провущин і підсилювальних елементів доцільно застосовувати дріт діаметром 1,2 мм. Для довгих кутових і таврових з'єднань, де потрібна вища продуктивність наплавлення, можна застосовувати дріт діаметром 1,6 мм. Такий діапазон дозволяє раціонально поєднати якість формування шва і продуктивність процесу.

Для забезпечення необхідної якості зварних з'єднань відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 необхідно обґрунтовано визначити 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. Правильно підібрані режими зварювання забезпечують необхідну глибину проплавлення, стабільне формування шва, зменшення розбризкування металу та обмеження зварювальних деформацій.

У конструкції відвалу переважно застосовуються кутові, таврові та частково стикові з'єднання. Найбільш відповідальними є шви кріплення ребер жорсткості до криволінійного щита, з'єднання боковин з основною частиною відвалу, шви підсилювальних накладок, кронштейнів і провущин. Саме ці ділянки під час експлуатації сприймають значні згинальні, ударні та вібраційні навантаження, тому параметри режиму зварювання для них повинні забезпечувати достатню міцність і надійність зварних з'єднань.

Параметри режиму зварювання необхідно визначати таким чином, щоб забезпечити потрібні розміри шва, достатню глибину проплавлення, стабільне формування валика та відсутність дефектів у зварному з'єднанні [18].

Для розрахунку приймаємо три характерні групи кутових швів: шов №1 з катетом 4 мм, шов №2 з катетом 5 мм і шов №3 з катетом 6 мм. Розрахунок виконуємо [18] для шва без урахування випуклості.

Вихідні дані для розрахунку приймаємо такими:

- коефіцієнт форми проплавлення: $\psi_{\text{пр}} = 0,8$;
- коефіцієнт пропорційності: $K_{\text{п}} = 1,75$;
- коефіцієнт наплавлення: $\alpha_{\text{н}} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{А} \cdot \text{год})$;

- густина металу зварювального дроту: $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$;
- розрахункова густина струму для вибору діаметра дроту: $j = 180 \text{ А/мм}^2$.

Розрахунок режиму для шва №1. Площа поперечного перерізу наплавленого металу кутового шва визначається за формулою:

$$F_H = \frac{k^2}{2} = \frac{4^2}{2} = 8 \text{ мм}^2$$

Висоту наплавленого металу визначаємо за залежністю:

$$h_H = \sqrt{F_H} = \sqrt{8} = 2,83 \text{ мм}$$

Ширину шва визначаємо за формулою:

$$e = \sqrt{2k^2} = \sqrt{2 \cdot 4^2} = 5,66 \text{ мм}$$

Загальна висота шва визначається за формулою:

$$H = \frac{e}{\psi_{\text{пр}}} = \frac{5,66}{0,8} = 7,08 \text{ мм}$$

Глибину проплавлення основного металу визначаємо за залежністю:

$$h_0 = H - h_H = 7,08 - 2,83 = 4,25 \text{ мм}$$

Силу зварювального струму визначаємо за формулою:

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_0}{K_{\text{п}}} \cdot 100 = \frac{4,25}{1,75} \cdot 100 = 242,9 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{\text{зв}} = 240 \text{ А}$

Розрахунковий діаметр електродного дроту визначаємо за формулою:

$$d_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{4I_{\text{зв}}}{\pi j}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 240}{3,14 \cdot 180}} = 1,30 \text{ мм}$$

Для виконання шва №1 приймаємо стандартний діаметр дроту $d_{\text{ел}} = 1,2 \text{ мм}$.

Напругу на дузі для MAG-зварювання визначаємо за емпіричною залежністю:

$$U_d = 14 + 0,05I_{\text{зв}} = 14 + 0,05 \cdot 240 = 26 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту визначаємо за формулою:

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4\alpha_H I_{\text{зв}}}{\pi d_{\text{ел}}^2 \rho} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 240}{3,14 \cdot 0,0012^2 \cdot 7800} = 326,5 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання визначаємо за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_H I_{зв}}{F_H \rho} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 240}{8 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 46,2 \text{ м/год.}$$

Розрахунок режиму для шва №2. Для шва №2 приймаємо катет $k = 5 \text{ мм}$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу становить:

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

$$h_H = \sqrt{12,5} = 3,54 \text{ мм}$$

$$e = \sqrt{2 \cdot 5^2} = 7,07 \text{ мм}$$

$$H = \frac{7,07}{0,8} = 8,84 \text{ мм}$$

$$h_0 = 8,84 - 3,54 = 5,30 \text{ мм}$$

$$I_{зв} = \frac{5,30}{1,75} \cdot 100 = 302,9 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{зв} = 300 \text{ А}$.

Розрахунковий діаметр дроту:

$$d_{ел} = \sqrt{\frac{4 \cdot 300}{3,14 \cdot 180}} = 1,46 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр дроту $d_{ел} = 1,6 \text{ мм}$

Напруга на дузі:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot 300 = 29 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{3,14 \cdot 0,0016^2 \cdot 7800} = 229,5 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 36,9 \text{ м/год}$$

Розрахунок режиму для шва №3. Для шва №3 приймаємо катет $k = 6 \text{ мм}$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу становить:

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

$$h_H = \sqrt{18} = 4,24 \text{ мм}$$

$$e = \sqrt{2 \cdot 6^2} = 8,49 \text{ мм}$$

$$H = \frac{8,49}{0,8} = 10,61 \text{ мм}$$

$$h_0 = 10,61 - 4,24 = 6,37 \text{ мм}$$

$$I_{зв} = \frac{6,37}{1,75} \cdot 100 = 363,9 \text{ А}$$

Приймаємо $I_{зв} = 360 \text{ А}$

Розрахунковий діаметр дроту:

$$d_{ел} = \sqrt{\frac{4 \cdot 360}{3,14 \cdot 180}} = 1,60 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_{ел} = 1,6 \text{ мм}$

Напруга на дузі:

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot 360 = 32 \text{ В}$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 360}{3,14 \cdot 0,0016^2 \cdot 7800} = 275,4 \text{ м/год}$$

Швидкість зварювання:

$$V_{зв} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 360}{18 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 30,8 \text{ м/год}$$

Розраховані параметри режимів MIG/MAG-зварювання зведено в таблицю 2.3. Шов №1 застосовується для приварювання ребер жорсткості та допоміжних елементів, шов №2 — для боковин і підсилювальних накладок, шов №3 — для кронштейнів, провущин і більш навантажених елементів конструкції.

Таблиця 2.3 – Режими MIG/MAG-зварювання відвалу

№ шва	Катет, мм	$I_{зв}$, А	U_d , В	$d_{ел}$, мм	$V_{п.д.}$, м/год	$V_{зв}$, м/год	Газ, л/хв
1	4	240	26	1,2	326,5	46,2	14–16
2	5	300	29	1,6	229,5	36,9	16–18
3	6	360	32	1,6	275,4	30,8	18–20

Отримані режими забезпечують формування кутових швів із заданими катетами 4, 5 і 6 мм при зварюванні основної конструкції відвалу. Для швів

невеликої та середньої довжини, а також для ділянок зі складним доступом доцільно застосовувати механізоване MAG-зварювання. Для довгих повторюваних швів ребер жорсткості й елементів каркаса раціонально використовувати автоматизоване MIG/MAG-зварювання, що забезпечує сталість швидкості переміщення пальника, рівномірне тепловкладення та стабільну якість шва.

Запропоновані параметри режимів зварювання забезпечують формування зварних швів із необхідними геометричними розмірами, достатню глибину проплавлення основного металу та стабільне утворення металу шва. Для конструкції відвалу це має важливе значення, оскільки зварні з'єднання ребер жорсткості, боковин, кронштейнів і підсилювальних елементів під час експлуатації сприймають значні згинальні, ударні та вібраційні навантаження. Застосування розрахованих режимів MIG/MAG-зварювання у газовій суміші M21 дозволяє отримати якісні кутові, таврові та стикові з'єднання, зменшити розбризкування металу, обмежити надмірне тепловкладення та знизити ймовірність виникнення зварювальних деформацій.

2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування

Після вибору механізованого та автоматизованого MIG/MAG-зварювання і визначення основних параметрів режимів необхідно підібрати зварювальне устаткування, яке забезпечить стабільне виконання зварних з'єднань відвалу бульдозера DRESSTA TD-20. Обладнання повинно відповідати прийнятим режимам зварювання, забезпечувати рівномірну подачу електродного дроту, стійке горіння дуги, надійний газовий захист зони зварювання та можливість роботи з великогабаритною просторовою конструкцією.

Відвал бульдозера є масивною зварною металоконструкцією, яка складається з криволінійного щита, боковин, ребер жорсткості, підсилювальних елементів, кронштейнів і провущин. Під час виготовлення такого виробу виконуються кутові, таврові та частково стикові з'єднання. Частина швів має значну протяжність і повторювану конфігурацію, а частина розміщується в місцях з обмеженим доступом. Тому для виготовлення відвалу доцільно застосовувати комбіновану

схему зварювання: механізоване MIG/MAG-зварювання для коротких і складнодоступних швів та автоматизоване MIG/MAG-зварювання для довгих повторюваних з'єднань.

Згідно з виконаним розрахунком режимів зварювання, найбільше значення зварювального струму становить близько 360 А, а діаметр електродного дроту приймається в межах 1,2–1,6 мм. Відповідно, джерело живлення повинно мати запас за силою струму, забезпечувати роботу в режимі MAG-зварювання в газовій суміші M21, підтримувати стабільні параметри дуги та бути сумісним із подаючим механізмом, зварювальним пальником і роботизованим комплексом.

Під час вибору основного зварювального устаткування необхідно враховувати такі вимоги: забезпечення необхідного діапазону зварювального струму; можливість роботи з дротом діаметром 1,2 і 1,6 мм; плавне регулювання швидкості подачі дроту; стабільне горіння дуги; надійний захист зварювальної ванни газовою сумішшю M21; придатність до тривалої роботи при виконанні протяжних швів; можливість інтеграції з роботизованим обладнанням; зручність експлуатації, налагодження та технічного обслуговування.

Для механізованого MIG/MAG-зварювання відвалу приймається інверторне джерело живлення Fronius TPS 500i (рис. 2.1). Дане джерело належить до сучасного промислового обладнання для MIG/MAG-зварювання і має достатній запас за силою струму для виконання розрахованих режимів. Оскільки максимальний розрахований струм для зварювання відвалу становить приблизно 360 А, використання джерела класу 500 А є технічно обґрунтованим. При цьому обладнання не працює на межі своїх можливостей, що позитивно впливає на стабільність процесу, ресурс апарата та якість формування шва.

Джерело Fronius TPS 500i забезпечує широкий діапазон регулювання зварювального струму та може працювати як у механізованих, так і в автоматизованих зварювальних системах. Для виготовлення відвалу це є важливим, оскільки один тип джерела може використовуватися як у складі механізованого поста, так і в роботизованій дільниці. Такий підхід спрощує

обслуговування обладнання, уніфікує налаштування режимів і забезпечує стабільність параметрів зварювання на різних операціях технологічного процесу.



Рис. 2.1 –Fronius TPS 500i для MIG/MAG-зварювання [19]

Для подачі електродного дроту приймається подаючий механізм Fronius WF 25i Dual (рис. 2.2). Його застосування є доцільним, оскільки він підтримує роботу з дротом діаметром 0,8–1,6 мм, що повністю відповідає прийнятим у роботі діаметрам 1,2 і 1,6 мм. Наявність стабільної чотирироликової подачі забезпечує рівномірне переміщення дроту без ривків і прослизання, що особливо важливо при зварюванні довгих кутових і таврових швів. Рівномірна подача дроту забезпечує сталість довжини дуги, зменшує розбризкування металу та покращує формування зварного валика.

Для виконання механізованих операцій приймається рідинно-охолоджуваний MIG/MAG-пальник промислового виконання. Водохолоджуване виконання є доцільним, оскільки під час зварювання відвалу частина швів виконується на підвищених струмах і має значну довжину. Охолодження пальника зменшує перегрів контактного наконечника та газового сопла, підвищує стабільність процесу і збільшує ресурс витратних елементів. Такий пальник застосовується для прихоплення деталей, приварювання кронштейнів, провушин,

коротких ребер жорсткості, підсилювальних накладок і зварювання ділянок зі складним доступом.



Рис. 2.2 Механізм подачі Fronius WF 25i Dual [19]

Для автоматизованого виконання довгих повторюваних швів приймається промисловий зварювальний робот Yaskawa MOTOMAN AR3120 (рис. 2.3). Вибір цього робота обумовлений великою робочою зоною, достатньою вантажопідйомністю та придатністю до дугового зварювання великогабаритних виробів. Відвал має значну ширину та криволінійну форму, тому для стабільного доступу до швів потрібен робот із великим вильотом руки. Робот Yaskawa MOTOMAN AR3120 має достатній радіус дії для обслуговування протяжних ділянок відвалу, а за потреби може встановлюватися на лінійну вісь переміщення вздовж виробу.

Застосування роботизованого зварювання дозволяє забезпечити сталість траєкторії переміщення пальника, однакову швидкість зварювання, рівномірне тепловкладення та повторювану форму шва. Це особливо важливо для з'єднань ребер жорсткості з криволінійним щитом і для протяжних кутових швів, де ручне ведення пальника може призводити до коливання ширини шва, зміни глибини проплавлення та нерівномірного теплового впливу. Автоматизоване переміщення пальника зменшує вплив людського фактора та підвищує стабільність якості зварних з'єднань.



Рис. 2.3 – Зварювальний робот Yaskawa MOTOMAN AR3120 [20]

У складі роботизованої комірки для зварювання відвалу доцільно застосовувати рідинно-охолоджуваний роботизований пальник Fronius Robacta (рис. 2.4). Такий пальник призначений для MIG/MAG-зварювання в автоматизованих системах і забезпечує стабільну подачу дроту до зони дуги. Рідинне охолодження є необхідним для тривалого виконання швів на підвищених струмах, оскільки воно підтримує стабільний тепловий режим пальника, зменшує зношування контактного наконечника та покращує надійність роботи комплексу.

Для забезпечення стабільної роботи пальника до складу обладнання включається блок рідинного охолодження. Його призначенням є відведення тепла від пальника, контактного наконечника та інших елементів зварювального тракту. Застосування такого блока є особливо важливим при виконанні довгих швів відвалу, оскільки тривале зварювання без достатнього охолодження може призвести до перегріву пальника, нестабільної подачі дроту та передчасного зношування витратних деталей.



Рис. 2.4 – Роботизований MIG/MAG-пальник Fronius Robacta [19]

Крім основного обладнання, до складу зварювальної дільниці повинна входити газова апаратура для подачі захисної суміші M21. Вона включає балон або централізовану газову магістраль, редуктор, витратомір, рукави подачі газу та запірну арматуру. Стабільна витрата захисного газу є обов'язковою умовою отримання якісного шва, оскільки порушення газового захисту може спричинити пористість, окиснення металу шва та погіршення його механічних властивостей.

Основні технічні характеристики запропонованого обладнання наведено в таблицях 2.4 – 2.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики джерела живлення Fronius TPS 500i [19]

Параметр	Значення
Тип обладнання	інверторне джерело живлення для MIG/MAG-зварювання
Модель	Fronius TPS 500i
Напруга мережі	3 × 400 В
Частота мережі	50–60 Гц
Мінімальний зварювальний струм	3 А
Максимальний зварювальний струм	500 А
Зварювальний струм при ПВ 40 %	500 А
Зварювальний струм при ПВ 60 %	430 А
Зварювальний струм при ПВ 100 %	360 А
Напруга холостого ходу	71 В
Ступінь захисту	IP23
Габаритні розміри	706 × 300 × 510 мм
Маса	38 кг
Призначення	механізоване та автоматизоване MIG/MAG-зварювання

Таблиця 2.5 – Технічні дані подаючого механізму Fronius WF 25i Dual [19]

Параметр	Значення
Тип обладнання	механізм подачі електродного дроту
Модель	Fronius WF 25i Dual
Привід подачі	два чотирироликові приводи
Діаметр електродного дроту	0,8–1,6 мм
Прийнятий діаметр дроту для відвалу	1,2–1,6 мм
Швидкість подачі дроту	1–25 м/хв
Максимальний діаметр котушки	300 або 450 мм залежно від виконання
Ступінь захисту	IP23 або IP20 залежно від виконання
Призначення	стабільна подача дроту при механізованому та автоматизованому MAG-зварюванні

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики робота Yaskawa MOTOMAN AR3120 [20]

Параметр	Значення
Тип обладнання	промисловий робот для дугового зварювання
Модель	Yaskawa MOTOMAN AR3120
Кількість осей	6
Максимальна вантажопідйомність	20 кг
Максимальний робочий радіус	3124 мм
Повторюваність позиціонування	$\pm 0,07$ мм
Маса робота	560 кг
Варіанти монтажу	підлоговий, настінний, стельовий
Основне призначення	дугове зварювання великогабаритних виробів
Доцільність застосування	забезпечує доступ до протяжних швів відвалу та повторюваність траєкторії пальника

Прийняте обладнання забезпечує виконання як механізованих, так і автоматизованих операцій зварювання. Механізований пост застосовується для прихоплення деталей під час складання, зварювання коротких швів, приварювання кронштейнів, провущин, підсилювальних накладок і роботи у місцях зі складним доступом. Роботизований комплекс використовується для довгих повторюваних швів, де необхідні стабільна траєкторія пальника, однакова швидкість зварювання і рівномірне тепловкладення.

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних з'єднань відвалу бульдозера DRESSA TD-20 є необхідною складовою технологічного процесу його виготовлення. Відвал працює в умовах значних згинальних, ударних і вібраційних навантажень, а також постійно контактує з ґрунтом, камінням та абразивними включеннями. У таких умовах навіть незначні дефекти зварних швів можуть стати причиною появи тріщин, місцевих деформацій або зниження ресурсу всієї конструкції. Тому система контролю повинна забезпечувати перевірку зовнішнього стану швів, внутрішньої суцільності металу та геометричної точності готового виробу.

Вибір методів контролю виконується з урахуванням конструкції відвалу, матеріалу основних деталей, характеру навантаження та ступеня відповідальності окремих вузлів. Основна зварна частина відвалу виготовляється зі сталі 09Г2С, яка належить до феромагнітних конструкційних сталей. У виробі переважають кутові, таврові та частково стикові з'єднання. Найбільш відповідальними є шви кріплення ребер жорсткості до криволінійного щита, з'єднання боковин з основною частиною відвалу, шви підсилювальних накладок, провущин, кронштейнів і ділянок нижнього підсилення. Саме ці зони під час роботи сприймають найбільші зусилля і потребують більш ретельної перевірки.

Для контролю якості відвалу приймається комбінована схема, яка включає візуально-вимірювальний контроль, ультразвуковий контроль, магнітопорошковий контроль та геометричну перевірку готового виробу. Такий підхід є найбільш раціональним, оскільки один метод не може повністю оцінити всі можливі дефекти зварної конструкції. Візуально-вимірювальний контроль дозволяє перевірити зовнішній стан і розміри швів, ультразвуковий контроль дає змогу виявити внутрішні дефекти, магнітопорошковий контроль використовується для пошуку поверхневих і приповерхневих тріщин, а геометричний контроль забезпечує перевірку просторової форми відвалу після зварювання.

Першим і обов'язковим етапом перевірки є візуально-вимірювальний контроль. Його виконують після очищення зварних швів від бризок металу, окалини, пилу, мастила та інших забруднень. Під час такого контролю оцінюють

рівномірність формування валика, плавність переходу шва до основного металу, відповідність катета заданому значенню, наявність підрізів, напливів, поверхневих пор, тріщин, незаварених кратерів, пропалів і зміщення деталей після зварювання. Візуально-вимірювальному контролю підлягає 100 % зварних швів відвалу [21].

Для виконання візуально-вимірювального контролю приймається універсальний зварювальний шаблон Elcometer 147 Weld Gauge. Його застосування дозволяє контролювати катет кутових швів, фактичну товщину горла шва, величину підрізів, зміщення крайок, надлишок наплавленого металу та кут підготовки крайок. Такий шаблон зручний для перевірки швів ребер жорсткості, боковин, провущин, кронштейнів і підсилювальних елементів, оскільки ці з'єднання мають різну конфігурацію та потребують оперативного контролю безпосередньо на виробі.

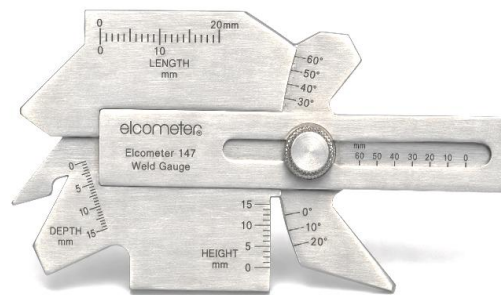


Рис. 2.5 – Універсальний зварювальний шаблон Elcometer 147 Weld Gauge [22]

Візуальний огляд дозволяє швидко виявити більшість зовнішніх дефектів, однак він не дає повної інформації про внутрішній стан металу шва. Тому для відповідальних з'єднань відвалу необхідно додатково застосовувати ультразвуковий контроль. Його доцільно виконувати для стикових з'єднань листових елементів, силових швів підсилювального каркаса, вузлів кріплення провущин і кронштейнів, а також ділянок нижнього підсилення, які працюють під дією значних змінних навантажень.

Ультразвуковий контроль ґрунтується на введенні в метал високочастотних пружних коливань і реєстрації сигналів, відбитих від внутрішніх неоднорідностей. Якщо в металі шва або зоні термічного впливу є непровар, несплавлення, внутрішня тріщина, пора або шлакове включення, ультразвукова хвиля частково

відбивається від цієї ділянки. За отриманим сигналом оператор визначає наявність дефекту, його орієнтовне розташування, глибину залягання та розміри [23].

Для ультразвукового контролю відповідальних зварних з'єднань приймається дефектоскоп Sonatest Masterscan D-70. Це сучасний переносний прилад для неруйнівного контролю металевих виробів і зварних швів. Його застосування дозволяє виконувати перевірку зварних з'єднань без руйнування конструкції та виявляти внутрішні дефекти, які неможливо встановити під час звичайного зовнішнього огляду. Для відвалу такий контроль особливо важливий у зонах провущин, кронштейнів і підсилювального каркаса, де наявність прихованих дефектів може призвести до передчасного руйнування вузла.

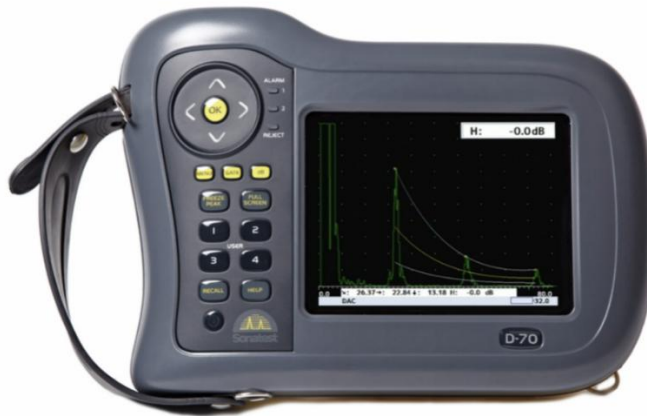


Рис. 2.6 – Ультразвуковий дефектоскоп Sonatest Masterscan D-70 [24]

Оскільки основна конструкція відвалу виготовляється зі сталі 09Г2С, для контролю поверхневих і приповерхневих дефектів доцільно застосовувати магнітопорошковий метод. Він є ефективним для феромагнітних матеріалів і дозволяє виявляти тріщини, несплавлення та інші дефекти, які виходять на поверхню або розташовані на невеликій глибині. Особливо доцільним цей метод є для перевірки зон концентрації напружень: провущин, кронштейнів кріплення, підсилювальних накладок, боковин і нижньої частини відвалу.

Для магнітопорошкового контролю приймається переносне магнітне ядро KARL DEUTSCH DEUTROPULS. Його перевагою є мобільність, можливість контролю безпосередньо на великогабаритному виробі, висока намагнічувальна здатність і зручність роботи на деталях складної форми. При контролі швів відвалу

яро встановлюють на ділянку, що перевіряється, після чого на поверхню наносять магнітний порошок або магнітну суспензію. У місцях наявності тріщин або інших дефектів утворюється локальне розсіювання магнітного поля, яке проявляється у вигляді характерного скупчення порошку [24].



Рис. 2.7 – Переносне магнітне яро KARL DEUTSCH DEUTROPULS [26]

Магнітопорошковий контроль необхідно застосовувати насамперед для швів провущин і кронштейнів, оскільки ці елементи передають робочі зусилля від базової машини до відвалу. Також доцільно контролювати шви нижнього підсилення, боковин і підсилювальних накладок, де під час експлуатації можливе виникнення тріщин від ударних навантажень і вібрації. Перевагою цього методу є висока чутливість до поверхневих дефектів, простота застосування та можливість швидкої перевірки окремих ділянок без демонтажу виробу.

Крім контролю якості зварних швів, для відвалу обов'язково необхідно перевіряти геометрію готової конструкції.

Для геометричного контролю великогабаритного відвалу приймається лазерний трекер FARO Vantage Laser Tracker. Його застосування дає можливість виконувати просторове вимірювання виробу безпосередньо на виробничій ділянці. За допомогою лазерного трекера перевіряють ширину і висоту відвалу, кривизну робочого щита, положення боковин, співвісність отворів провущин,

прямолінійність нижньої кромки, положення посадкових поверхонь під ножову частину та відповідність розташування кронштейнів кресленню.



Рис. 2.8 – Лазерний трекер FARO Vantage Laser Tracker [27]

Контроль якості доцільно виконувати поетапно. На першому етапі перевіряють якість підготовки деталей до зварювання, стан крайок, правильність складання та розташування елементів у складально-зварювальному пристосуванні. На другому етапі після виконання прихваток контролюють положення щита, боковин, ребер жорсткості, кронштейнів і провущин. На третьому етапі після основного зварювання проводять візуально-вимірювальний контроль усіх швів. Після цього відповідальні ділянки додатково перевіряють ультразвуковим і магнітопорошковим методами. Завершальним етапом є геометричний контроль готового відвалу.

Перед проведенням неруйнівного контролю поверхня швів і прилеглих зон повинна бути очищена від бризок металу, шлаку, окалини, іржі, мастила та пилу. Недостатнє очищення може приховувати поверхневі дефекти, погіршувати точність вимірювань або ускладнювати проходження ультразвукових коливань. Для ультразвукового контролю необхідно забезпечити доступ до контрольованої поверхні та застосувати контактну рідину. Для магнітопорошкового контролю поверхня повинна бути сухою, чистою і придатною для намагнічування.

У разі виявлення дефектів, які перевищують допустимі норми, дефектну ділянку необхідно усунути. Незаварені кратери повторно заварюють, підрізи зачищають і за потреби підварюють із подальшим шліфуванням до плавного переходу. Шви з тріщинами, непроварами, несплавленнями або шлаковими включеннями видаляють механічним способом на довжину дефектної зони з додатковим захопленням справного металу. Після цього ділянку повторно зварюють із дотриманням установленого режиму.

Після усунення дефектів відремонтовані ділянки обов'язково підлягають повторному контролю. Якщо дефект було виявлено під час візуально-вимірювального контролю, виконують повторний огляд і вимірювання. Якщо дефект був внутрішнім, проводять повторний ультразвуковий контроль. Якщо дефект мав характер поверхневої або приповерхневої тріщини, застосовують повторний магнітопорошковий контроль. Такий підхід дає змогу підтвердити якість ремонту та не допустити передачу виробу на наступну операцію з не виправленими дефектами. Прийнята схема контролю якості зварних з'єднань відвалу наведена в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Прийнята схема контролю якості зварних з'єднань відвалу

Елемент конструкції	Метод контролю	Обсяг контролю
Усі зварні шви відвалу	Візуально-вимірювальний контроль	100 %
Шви ребер жорсткості з криволінійним щитом	ВВК, за потреби УЗК або МПК	100 % ВВК, вибірково УЗК/МПК
Стикові з'єднання листових елементів щита	ВВК + УЗК	100 % ВВК, УЗК для відповідальних стиків
Шви боковин з основною частиною відвалу	ВВК + МПК	100 % ВВК, вибірково МПК
Шви провусин і кронштейнів кріплення	ВВК + МПК + за потреби УЗК	100 % ВВК, 100 % МПК, вибірково УЗК
Шви підсилювальних накладок і нижнього підсилення	ВВК + МПК	100 % ВВК, вибірково МПК
Зони встановлення ножової частини	ВВК + геометричний контроль	100 %
Готовий відвал після зварювання	Геометричний контроль	100 %

Застосування прийнятої системи контролю дозволяє комплексно оцінити якість виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20. Така схема контролю підвищує надійність зварної конструкції, зменшує ризик руйнування відповідальних з'єднань і забезпечує відповідність відвалу вимогам експлуатації.

2.4 Опис технологічного процесу виготовлення відвалу

Виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 належить до складних процесів виробництва великогабаритних зварних металоконструкцій, оскільки дана деталь працює в умовах інтенсивного абразивного зношування, ударних навантажень, згину та змінного контакту з ґрунтом. Відвал має криволінійну робочу поверхню, силову раму, боковини, ребра жорсткості, підсилювальні елементи, кронштейни кріплення та нижню частину для встановлення змінного ножа. Тому технологічний процес його виготовлення повинен забезпечувати не лише міцність зварних з'єднань, але й точність просторової геометрії всієї конструкції.

Технологічний процес виготовлення відвалу будується за вузловим принципом. На першому етапі виконують підготовку листового та профільного прокату, його очищення, правлення і розкрій. Далі виготовляють окремі деталі: лобовий лист, боковини, ребра жорсткості, елементи рами, кронштейни, підсилювальні накладки та деталі нижньої балки. Після цього здійснюють формування криволінійної поверхні лобового листа, складання рами, складання щита відвалу, встановлення підсилювачів, прихоплення та основне зварювання. Завершальними етапами є зачистка швів, правлення конструкції, контроль якості, дробоструминне очищення, ґрунтування, фарбування та передача готового виробу.

Першою операцією є вхідний контроль металопрокату. У виробництво надходить листовий прокат для виготовлення лобового листа, боковин, ребер і накладок, а також профільний прокат для виготовлення елементів рами. Під час контролю перевіряють марку сталі, товщину листів, стан поверхні, наявність механічних пошкоджень, розшарувань, корозії, хвилястості та інших дефектів, які можуть вплинути на якість подальшого різання, гнуття і зварювання. Для

виконання операції застосовують мостовий кран вантажопідйомністю 10 т, траверсу з магнітними захватами, штангенциркуль ШЦ-II-250, рулетку, контрольну лінійку, товщиномір NOVOTEST ТП-1М та комплект вимірювальних шаблонів.

Після приймання листовий і профільний прокат подається на очищення. Для цієї операції застосовується роликова дробоструминна установка Wheelabrator Roller Conveyor (рис. 2.9). Заготовки проходять через робочу камеру, де потоком сталевого дробу з їхньої поверхні видаляються окалини, іржа, залишки мастила, пилю та інші виробничі забруднення. Попереднє очищення металу підвищує якість різання, покращує стабільність зварювального процесу та зменшує ймовірність утворення пор і неметалевих включень у швах.



Рис. 2.9 Дробоструминна установка Wheelabrator Roller Conveyor [28]

Наступним етапом є правлення листового прокату. Листи, призначені для виготовлення лобового листа, боковин і ребер жорсткості, правлять на важкій роликотправильній машині Fassin R (рис. 2.10). Під час проходження між системою роликів у металі створюються контрольовані пластичні деформації, які усувають хвилястість і залишкові напруження після прокатування. Якісне правлення має важливе значення, оскільки нерівність листа ускладнює точний розкрій, погіршує прилягання деталей у пристосуванні та може спричинити збільшення зварювальних деформацій.



Рис. 2.10 Роликоправильна машина Faccin R9 для правлення товстолистого прокату [29]

Правлення профільного прокату для рами відвалу виконується на профілеправильній роликовій машині MG AR (2.11) для вирівнювання балок, труб і фасонних профілів. На цій операції усувають прогини, скручування та локальні викривлення заготовок. Після правлення профілі перевіряють за прямолінійністю, довжиною та кутовим положенням торців.



Рис. 2.11 – Профілеправильна роликова машина MG AR [30]

Розкрій листових деталей відвалу виконується на важкому листообробному комплексі Peddinghaus HSFDB-C (рис. 2.12). Дане обладнання дозволяє виконувати

свердління, плазмове або кисневе різання, маркування деталей і формування складних контурів із високою повторюваністю. На цьому комплексі виготовляють заготовки лобового листа, боковин, ребер жорсткості, кронштейнів, підсилювальних накладок і деталей нижньої балки. Для товстолистових деталей застосовується кисневе різання, а для деталей середньої товщини — плазмове різання, що дає можливість отримати чисту крайку з мінімальним припуском на подальше оброблення.



Рис. 2.12 – Важкий листообробний комплекс Peddinghaus HSFDB-C для розкрою, свердління та термічного різання товстолистових заготовок відвалу [31]

Різання профільного прокату для рами відвалу виконується на стрічкопильному верстаті KASTOtec AC 5 (2.13). На ньому нарізаються профільні труби, швелери, кутники та інші фасонні елементи рами. Застосування стрічкопильного різання забезпечує рівний торець заготовки, зменшує кількість задирок і полегшує подальше складання вузла. У разі виготовлення елементів із просторовими вирізами або кутовими стиками застосовується установка 3D-різання профілів HGG SPC, яка забезпечує точну підготовку торців під зварювання.



Рис. 2.13 – Стрічкопильний верстат KASTOtec AC 5 для різання профільного прокату [32]

Після розкрою виконується зачистка крайок і видалення залишків ґрату. Для листових деталей застосовується зачисна машина Weber PT (рис. 2.14), а для великогабаритних або важкодоступних ділянок — кутові шліфувальні машини Bosch GWS 24-230 та пневматичні зачистні машинки Rodcraft. Під час цієї операції з крайок видаляють напливи після термічного різання, гострі кромки, бризки металу та нерівності. Якість зачистки перевіряється візуально, оскільки наявність задирок ускладнює щільне прилягання деталей під час складання.



Рис. 2.14 – Зачисна машина Weber PT для оброблення кромки листових заготовок [33]

Підготовка зварювальних кромок виконується переносною кромкофрезерною машиною Promotech BM-21 та стаціонарною фаскознімальною машиною GERIMA MMB 500 (рис. 2.15). На цій операції обробляються кромки боковин, ребер жорсткості, кронштейнів, підсилювальних накладок і товстолистових елементів рами. Фаски виконуються відповідно до типу зварного з'єднання, товщини металу та передбаченого розміру шва. Після оброблення кромки очищаються від стружки, а їхня геометрія перевіряється універсальним зварювальним шаблоном Elcometer 147 Weld Gauge.



а



б

Рис. 2.15 Обладнання для підготовки кромок : а- машина Promotech BM-21, б - машина GERIMA MMB 500 [34-35]

Формування криволінійної робочої поверхні відвалу здійснюється на чотиривалковій листозгинальній машині HAEUSLER VRM (рис. 2.16). Заготовка лобового листа послідовно проходить між валками, унаслідок чого отримує заданий радіус кривизни. Гнуття виконується поступово, без різких локальних перегинів, що дає змогу зберегти рівномірну форму листа по всій ширині. Після формування лобовий лист установлюється на контрольний стенд, де перевіряється відповідність радіуса шаблону, симетричність профілю, відсутність скручування та місцевих відхилень.

Боковини, підсилювальні накладки та окремі елементи кронштейнів після розкрою подаються на гнуття. Для цього застосовується важкий гідравлічний

листозгинальний прес LVD PPEB-H (рис. 2.17). На пресі виконують формування відгинів, полиць і посадкових поверхонь деталей. Заготовки встановлюються за упорами, після чого виконується послідовне гнуття згідно з технологічною картою. Після гнуття перевіряють кут згину, довжину полиць, прямолінійність і відповідність деталей кресленню.



Рис. 2.16 – Чотиривалкова листозгинальна машина HAEUSLER VRM [36]



Рис. 2.17 – Гідравлічний листозгинальний прес LVD PPEB-H [37]

Складання рами відвалу виконується у спеціальному складально-зварювальному кондукторі. Кондуктор має жорстку основу, призматичні опори для профільних труб, регульовані упори, висувні фіксатори, ложементи для кронштейнів і гідравлічні притискачі Enerpac. Спочатку на опори встановлюють поздовжні елементи рами, потім монтують поперечні зв'язки, косинки, кронштейни та підсилювальні деталі. Кожний елемент фіксується у заданому положенні, що забезпечує правильну геометрію вузла до початку прихоплення.

Перед прихопленням рами виконується контроль складання. Перевіряють довжину, ширину, діагоналі, паралельність основних елементів, положення кронштейнів і симетричність рами відносно поздовжньої осі. Для цього застосовують рулетку, металеву лінійку, кутник, набір щупів, шаблони та лазерний трекер FARO Vantage Laser Tracker. Після підтвердження правильності складання рама допускається до прихоплення.

Прихоплення елементів рами виконується механізованим MAG-зварюванням із використанням зварювального джерела Fronius TPS 500i. Прихоплення накладаються короткими ділянками у місцях, які не перешкоджають подальшому виконанню основних швів. Послідовність прихоплення вибирається симетрично — від центральної частини рами до крайніх ділянок. Такий порядок дає змогу зменшити ризик зміщення елементів під дією зварювальних напружень. Якщо окремі прихоплення розташовані поза зоною проєктних швів, після завершення основного зварювання вони видаляються, а поверхня ретельно зачищається.

Основне зварювання рами виконується механізованим MAG-зварюванням на джерелі Fronius TPS 500i у середовищі захисної газової суміші M21. Як зварювальний матеріал застосовується суцільний оміднений дріт Lincoln Electric SupraMIG діаметром 1,2–1,6 мм залежно від товщини зварюваних елементів і розрахованого режиму.

Після виготовлення рами виконується складання лобового листа з боковинами. Сформований лобовий лист установлюється на радіусний складально-зварювальний стенд, який має ложементи, що повторюють форму робочої поверхні

відвалу. Боковини встановлюються по торцях лобового листа, базуються за упорами та фіксуються гідравлічними притисками. Після встановлення перевіряють збіг крайок, кутове положення боковин, симетричність конструкції та відповідність радіуса лобового листа.

Далі на внутрішню поверхню лобового листа встановлюються поздовжні та поперечні ребра жорсткості. Їх розміщують за шаблонами та упорами складального стенда. Ребра повинні щільно прилягати до лобового листа, оскільки наявність зазорів у зоні контакту може призвести до нерівномірного формування шва та появи локальних деформацій. У разі необхідності виконується місцеве підганяння крайок за допомогою шліфувальних машин.

Після встановлення ребер виконується складання щита відвалу з рамою. Рама подається мостовим краном і встановлюється відносно лобового листа у складальному стенді. Її положення фіксується базовими упорами та гідравлічними притисками. Особлива увага приділяється положенню кронштейнів кріплення, оскільки від їхньої точності залежить правильність подальшого встановлення відвалу на бульдозер. Контроль виконується рулеткою, шаблонами, рівнем і лазерним трекером FARO Vantage Laser Tracker.

Прихоплення щита, ребер, боковин і рами виконується механізованим MAG-зварюванням Fronius TPS 500i. Прихоплення накладаються у послідовності від середньої частини конструкції до бокових зон із чергуванням правої та лівої сторони. Такий порядок дозволяє зменшити перекіс відвалу і зберегти правильне положення деталей перед основним зварюванням.

Основне зварювання відвалу виконується із застосуванням механізованого та роботизованого MAG-зварювання. Короткі, кутові та важкодоступні шви виконуються механізованим способом із використанням джерела Fronius TPS 500i. Для протяжних і повторюваних швів ребер жорсткості, нижньої балки, поздовжніх підсилювачів і окремих ділянок рами використовується роботизований зварювальний комплекс Yaskawa MOTOMAN AR3120 із пальником Fronius Robacta. Роботизоване зварювання забезпечує рівномірну швидкість переміщення

пальника, стабільну довжину дуги, однакову геометрію валика та повторюваність якості шва по всій довжині з'єднання.

Зварювання ребер жорсткості з лобовим листом виконується короткими ділянками з чергуванням сторін. Спочатку проварюються центральні ділянки, після чого зварювання поступово ведеться до країв відвалу. Така послідовність знижує рівень зварювальних деформацій і запобігає втраті заданої кривизни лобового листа. З'єднання боковин із лобовим листом виконуються після фіксації основних ребер, оскільки боковини додатково стабілізують форму щита.

Кронштейни, підсилювальні накладки та вузли кріплення приварюються після основного зварювання рами і щита. Перед зварюванням перевіряється їхнє положення відносно базових осей відвалу. Шви виконуються з чергуванням протилежних сторін, щоб не допустити перекосу кронштейнів. У зонах значної товщини металу перед зварюванням застосовується місцевий підігрів індукційним нагрівачем Miller ProHeat 35 або газовим пальником. Це зменшує ризик утворення холодних тріщин і покращує умови формування зварного з'єднання.

Після завершення зварювання відвал витримується на стенді до зниження температури металу. Розтискання притискачів виконується поступово, починаючи з менш навантажених ділянок. Зняття виробу зі стенда здійснюється мостовим краном із використанням траверси та м'яких стропів. Під час транспортування не допускається підвішування відвалу за окремі кронштейни або тонколистові елементи, оскільки це може спричинити місцеву деформацію конструкції.

Після зварювання виконується зачистка швів і прилеглих зон. Для цього застосовуються кутові шліфувальні машини Bosch GWS 24-230, пневматичні зачистні машинки Rodcraft і голчастий пневматичний молоток Atlas Copco. Під час зачистки видаляються бризки металу, напливи, гострі крайки, залишки тимчасових прихоплень і нерівності в місцях початку та закінчення швів. При цьому не допускається надмірне зняття металу, оскільки це може зменшити розрахунковий переріз шва.

Правлення відвалу після зварювання проводиться на правильному стенді з гідравлічними домкратами Enerpac RC-Series та притискними балками. У процесі

правлення усуваються місцеві відхилення лобового листа, перекоси боковин, деформації рами та незначні зміщення кронштейнів. Контроль після правлення виконується за шаблонами кривизни, рулеткою, рівнем і лазерним трекером FARO Vantage Laser Tracker.

Контроль якості виготовленого відвалу проводиться поетапно. Спочатку виконується візуально-вимірювальний контроль зварних швів. Перевіряється рівномірність валика, відсутність тріщин, підрізів, пропалів, кратерів, пор, напливів і незаварених ділянок. Геометричні параметри швів контролюються універсальним зварювальним шаблоном Elcometer 147 Weld Gauge. Далі перевіряється загальна геометрія виробу: ширина, висота, діагоналі, кривизна лобового листа, положення боковин, рами та кронштейнів.

Відповідальні зварні з'єднання рами, кронштейнів, ребер жорсткості та нижньої балки контролюються неруйнівними методами. Для виявлення поверхневих і підповерхневих тріщин у зонах кронштейнів, ребер і боковин застосовується магнітопорошковий контроль із використанням переносного магнітного ярма та комплекту Magnaflux.

Після завершення контролю відвал подається на заключне дробоструминне очищення у камері Clemco. На цій операції з поверхні видаляються залишки окалини, продукти окиснення, сліди зачистки, пил і технологічні забруднення. Підготовлена поверхня забезпечує якісне зчеплення ґрунтового шару з металом.

Фінішною операцією є нанесення захисного покриття. Спочатку на поверхню відвалу наноситься антикорозійний ґрунт, після чого виконується фарбування покривним шаром. Для нанесення лакофарбових матеріалів використовується установка безповітряного розпилення Graco King 45:1. Після висихання покриття перевіряється рівномірність шару, відсутність пропусків, потьоків і механічних пошкоджень. Готовий відвал маркується, на нього оформлюється карта контролю, після чого виріб передається на склад готової продукції або на ділянку встановлення на бульдозер.

Узагальнений маршрут виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 — Маршрут виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20

<i>№ операції</i>	<i>Назва операції</i>	<i>Зміст операції</i>	<i>Обладнання</i>
010	Вхідний контроль матеріалу	Перевірка марки сталі, товщини, стану поверхні та геометрії прокату	Мостовий кран 10 т, траверса з магнітними захватами, NOVOTEST ТП-1М, ШЦ-II-250, рулетка
020	Попереднє очищення металу	Видалення окалини, іржі, пилу та технологічних забруднень	Wheelabrator Roller Conveyor
030	Правлення листового прокату	Усунення хвилястості та залишкових деформацій листів	Роликоправильна машина Faccin R9
040	Правлення профільного прокату	Вирівнювання профільних труб, кутників і швелерів	Профілеправильна машина MG AR
050	Розкрій листових деталей	Вирізання лобового листа, боковин, ребер, кронштейнів і накладок	Листообробний комплекс Peddinghaus HSFD-B-C
060	Різання профільного прокату	Нарізання труб, швелерів і кутників для рами	Стрічкопилний верстат KASTOtec AC 5
070	Просторове різання профілів	Підготовка складних торців і вирізів у профільних деталях	Установка 3D-різання HGG SPC
080	Зачистка кромки	Видалення ґрату, задирок і напливів після різання	Weber PT, Bosch GWS 24-230, Rodcraft
090	Підготовка зварювальних кромки	Фаскування кромки товстолистових деталей	Promotech BM-21, GERIMA MMB 500
100	Формування лобового листа	Гнуття листа за заданим радіусом робочої поверхні	Чотиривалкова листозгинальна машина HAEUSLER VRM
110	Гнуття боковин і накладок	Формування відгинів, полиць і посадкових поверхонь	Гідравлічний листозгинальний прес LVD PPEB-H
120	Складання рами	Установлення профільних елементів, кронштейнів і підсилювачів	Спеціальний кондуктор рами з притискачами Enerpac
130	Контроль складання рами	Перевірка діагоналей, паралельності та положення кронштейнів	FARO Vantage Laser Tracker, шаблони, рулетка, кутник
140	Прихоплення рами	Фіксація деталей короткими прихопленнями	Джерело MAG-зварювання Fronius TPS 500i
150	Зварювання рами	Виконання основних швів рами	Fronius TPS 500i, двостоечний кантувач 10–15 т
160	Складання лобового листа з боковинами	Установлення сформованого листа та боковин у радіусний стенд	Складально-зварювальний стенд із радіусними ложементами
170	Встановлення ребер жорсткості	Монтаж поздовжніх і поперечних ребер на внутрішню поверхню листа	Складальний стенд, шаблони, гідропритискачі

180	Складання щита з рамою	Установлення рами відносно лобового листа та боковин	Мостовий кран 10 т, радіусний складальний стенд
190	Прихоплення щита і рами	Фіксація рами, ребер, боковин і листа прихопленнями	Fronius TPS 500i
200	Основне зварювання відвалу	Зварювання ребер, боковин, рами, нижньої балки та підсилювачів	Fronius TPS 500i, роботизований комплекс Yaskawa MOTOMAN AR3120 із пальником Fronius Robacta, кантувач 10–15 т
210	Зварювання кронштейнів	Приварювання вузлів кріплення та підсилювальних накладок	Fronius TPS 500i, Miller ProHeat 35
220	Зачистка після зварювання	Видалення бризок, напливів, гострих крайок і тимчасових прихоплень	Bosch GWS 24-230, Rodcraft, Atlas Copco
230	Правлення відвалу	Усунення місцевих деформацій після зварювання	Правильний стенд, гідравлічні домкрати Enerpac RC-Series
240	Контроль якості	Візуально-вимірювальний, геометричний, ультразвуковий і магнітопорошковий контроль	Elcometer 147 Weld Gauge, FARO Vantage, NOVOTEST УД-1, комплект Magnaflux
250	Заключне очищення	Підготовка поверхні перед нанесенням захисного покриття	Дробоструминна камера Clemco
260	Ґрунтування і фарбування	Нанесення антикорозійного ґрунту та покривного шару	Установка безповітряного розпилення Graco King 45:1
270	Маркування і передача	Оформлення карти контролю, маркування та передача готового виробу	Кран-балка, траверса, маркувальний інструмент

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір та опис складально-зварювальної оснастки

Під час виготовлення відвалу бульдозера важливе значення має правильний вибір складально-зварювальної оснастки, оскільки конструкція виробу є великогабаритною, просторовою та складається з елементів різної форми і жорсткості. До складу відвалу входять рама, лобовий лист, боковини, підсилювальні ребра, кронштейни та інші допоміжні елементи. У процесі складання ці деталі необхідно точно зорієнтувати між собою, витримати задані зазори, забезпечити симетричність конструкції та не допустити зміщення елементів під час прихоплення і зварювання.

Застосування спеціальної оснастки дає змогу скоротити обсяг ручного припасування деталей, зменшити кількість вимірювальних операцій, підвищити точність складання та забезпечити повторюваність геометрії виробу. Особливо це важливо для відвалу бульдозера, оскільки після зварювання він повинен зберігати правильну форму лобової поверхні, необхідну жорсткість рами та точне положення кронштейнів кріплення. Якщо складання виконувати без спеціальних пристосувань, виникає небезпека перекосу боковин, зміщення рами або нерівномірного прилягання ребер жорсткості до лобового листа.

Для виготовлення відвалу приймається спеціальна складально-зварювальна оснастка, яка включає кондуктор для складання і зварювання відвалу, пристосування для виготовлення планера відвалу, систему опор, упорів, фіксаторів, притискачів і пневматичних затискних механізмів. Таке оснащення забезпечує послідовне складання вузлів, надійне закріплення деталей та зручний доступ до зон виконання прихоплень і зварних швів.

Основним пристосуванням для складання і зварювання відвалу є кондуктор, загальний вигляд якого наведено на рис. 3.1. Кондуктор призначений для встановлення деталей у положення, яке вони повинні займати у готовому виробі. Його застосування дає змогу витримати необхідні розміри без постійного ручного контролю кожної ділянки, оскільки правильне положення деталей задається системою базових опор, призм, упорів і фіксаторів.

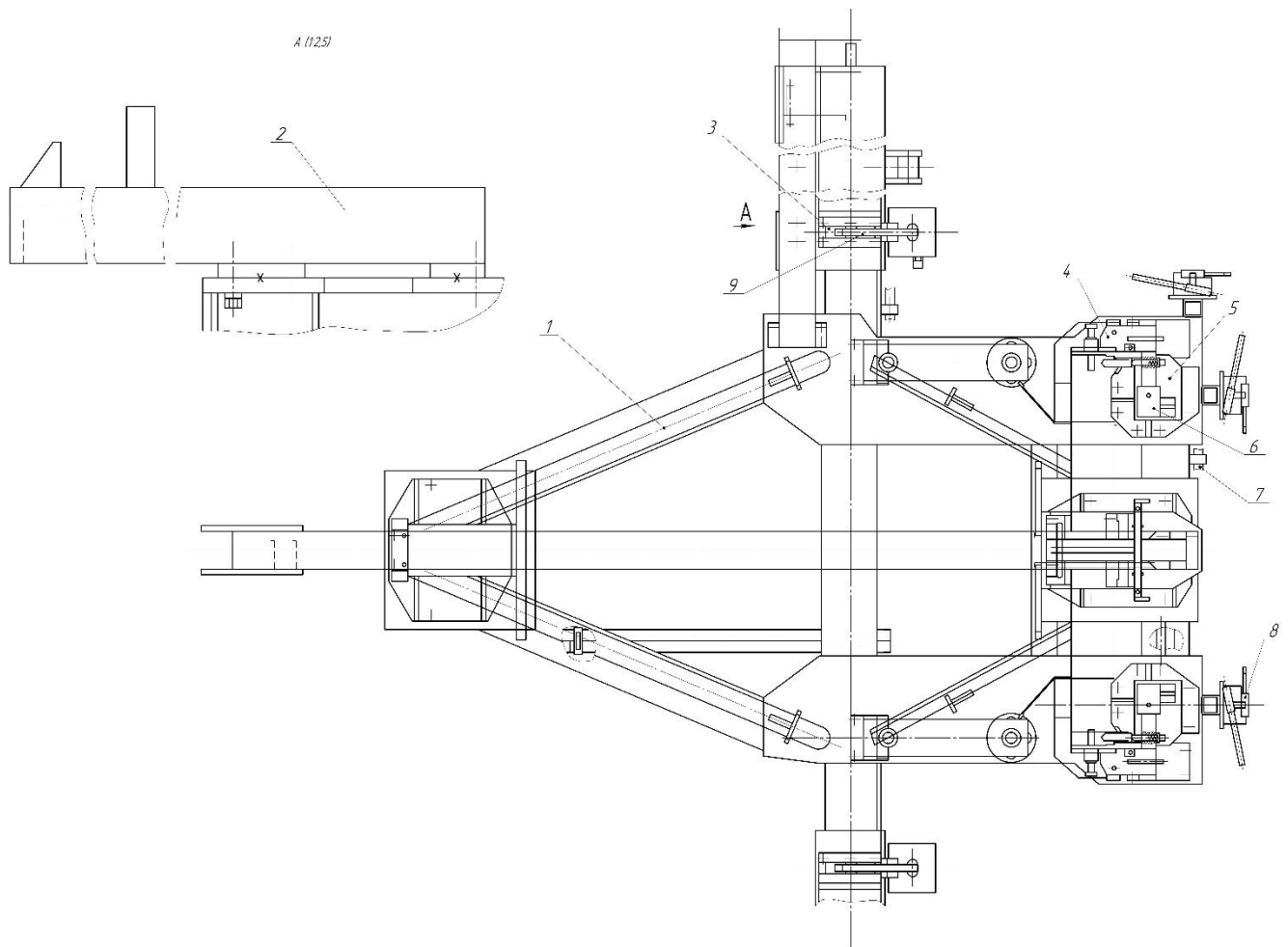


Рис. 3.1 Складально-зварювальний кондуктор виготовлення відвалу

Кондуктор складається з поворотної рами 1, балок 2, призми 3, відкидних упорів 4, стояків 6, вилок 7, пневмосистеми 8 та притискачів 9. Кожний із цих елементів виконує окрему функцію у процесі складання і зварювання.

Поворотна рама 1 є основною несучою частиною кондуктора. Вона сприймає вагу деталей відвалу, зусилля від притискачів і навантаження, які виникають під час зварювання. Завдяки поворотній конструкції рами можна змінювати просторове положення виробу та встановлювати його так, щоб зварювання виконувалося у більш зручному положенні. Це зменшує трудомісткість роботи, покращує формування шва та знижує ймовірність появи підрізів, напливів і непроварів.

Балки 2 утворюють жорстку основу кондуктора і забезпечують правильне розміщення всіх установчих та затискних елементів. Вони повинні мати достатню

міцність, оскільки під час складання на них діє вага рами відвалу, боковин, лобового листа та інших елементів. Від жорсткості балок залежить стабільність базування деталей і точність усього складального процесу.

Призми 3 використовуються для встановлення трубчастих або фасонних елементів рами. Вони забезпечують стале положення заготовок, не допускають їх прокручування або зміщення під час фіксації. Саме призматичні опори є доцільними для складання рами відвалу, оскільки профільні елементи повинні бути розташовані точно за осями та мати однакове положення по висоті.

Відкидні упори 4 задають кінцеве положення деталей у поздовжньому та поперечному напрямках. Їхня перевага полягає в тому, що після завершення складання або зварювання вони можуть відводитися вбік і не заважають зніманню виробу з пристосування. Завдяки цьому скорочується допоміжний час і зменшується ризик пошкодження вже звареного вузла.

Стояки 6 виконують роль вертикальних несучих елементів. Вони застосовуються для розміщення додаткових упорів, фіксаторів і затискних механізмів на необхідній висоті. У процесі складання відвалу стояки забезпечують правильне положення деталей, які розташовані вище основної площини кондуктора, зокрема окремих кронштейнів і елементів рами.

Вилки 7 призначені для точного встановлення деталей складної форми, зокрема кронштейнів і вушок кріплення. Їх застосування дає змогу зафіксувати такі елементи у строго визначеному положенні відносно базових осей виробу. Це важливо тому, що кронштейни відвалу повинні точно збігатися з елементами кріплення на бульдозері.

Пневмосистема 8 забезпечує роботу затискних механізмів. Вона складається з пневмоциліндрів, трубопроводів, розподільної апаратури та органів керування. Використання пневматичного приводу дозволяє швидко притискати та звільняти деталі, зменшити фізичне навантаження на робітника і забезпечити однакове зусилля закріплення. Це підвищує стабільність складання і зменшує ймовірність зміщення деталей перед зварюванням.

Притискачі 9 служать для надійного закріплення елементів відвалу в установленому положенні. Вони повинні забезпечувати достатнє зусилля, щоб деталі не зміщувалися під час прихоплення і зварювання. Водночас притискання не повинно бути надмірним, оскільки це може спричинити місцеву деформацію листових деталей. Тому в місцях контакту притискачів із заготовками доцільно застосовувати змінні опорні накладки.

Окремим пристосуванням є пристрій для виготовлення планера відвалу, зображений на рис. 3.2. У даному випадку планер можна розглядати як основний щит відвалу, який формує його робочу поверхню. До нього належать лобовий лист, боковини, ребра жорсткості та підсилювальні елементи. Саме цей вузол найбільше впливає на форму і жорсткість відвалу, тому його складання повинно виконуватися у спеціальному пристосуванні.

Пристосування для виготовлення планера складається з боковин 1, основи 2, упорів 3, кронштейнів 4, опор 5, притискачів 6, затискного пристрою 7 та пневмосистеми 8. Його конструкція забезпечує правильне базування деталей, їх фіксацію у заданому положенні та збереження форми вузла під час прихоплення і зварювання.

Боковини 1 пристосування обмежують положення деталей по краях і задають правильне розміщення торцевих частин планера. Вони виконують роль напрямних і базових поверхонь, за якими встановлюються бокові елементи відвалу. Точність їхнього положення безпосередньо впливає на ширину готового виробу та симетричність конструкції.

Основа 2 є головним несучим елементом пристосування. Вона об'єднує всі опори, упори, кронштейни, притискачі та фіксатори в одну жорстку систему. Основа сприймає вагу заготовок, зусилля затискання і навантаження, які виникають у процесі зварювання. Її жорсткість має вирішальне значення, оскільки будь-яке прогинання основи може призвести до порушення форми планера.

Упори 3 визначають положення деталей у пристосуванні. Вони задають базові розміри і не допускають зміщення заготовок під час складання. Упори можуть бути нерухомими або регульованими. Нерухомі застосовуються для

фіксації основних розмірів, а регульовані — для компенсації допусків заготовок і налаштування пристосування під конкретні деталі.

Кронштейни 4 призначені для встановлення допоміжних затискних і фіксуєчих елементів. Вони дають змогу розміщувати притискачі саме в тих місцях, де необхідно забезпечити щільне прилягання деталей. Для планера відвалу це особливо важливо, оскільки ребра жорсткості повинні рівномірно прилягати до внутрішньої поверхні лобового листа.

Опори 5 підтримують деталі під час складання і задають їх положення по висоті. У пристосуванні для планера вони можуть виконувати функцію ложементів, які повторюють форму лобового листа. Завдяки цьому криволінійна поверхня відвалу зберігається під час прихоплення і зварювання, а ризик появи місцевих прогинів зменшується.

Притискачі 6 забезпечують закріплення лобового листа, боковин і ребер жорсткості. Вони притискають деталі до опор та упорів, не допускаючи їх зміщення. Правильне розташування притискачів має важливе значення: сила притиску повинна бути спрямована до базової поверхні, а не створювати додатковий перекис деталі.

Затискний пристрій 7 використовується для остаточного закріплення складеного вузла перед прихопленням. Він повинен забезпечувати швидке затискання, надійне утримання деталей і зручне звільнення виробу після завершення зварювання. При цьому затискний пристрій не повинен перекривати доступ до місць постановки прихоплень і виконання швів.

Пневмосистема 8 забезпечує механізоване керування притискними елементами. Її застосування дозволяє прискорити процес складання, забезпечити рівномірне зусилля притиску та зменшити частку ручної праці. Для великогабаритного вузла, яким є планер відвалу, це має суттєве значення, оскільки одночасно необхідно зафіксувати декілька деталей у різних зонах конструкції.

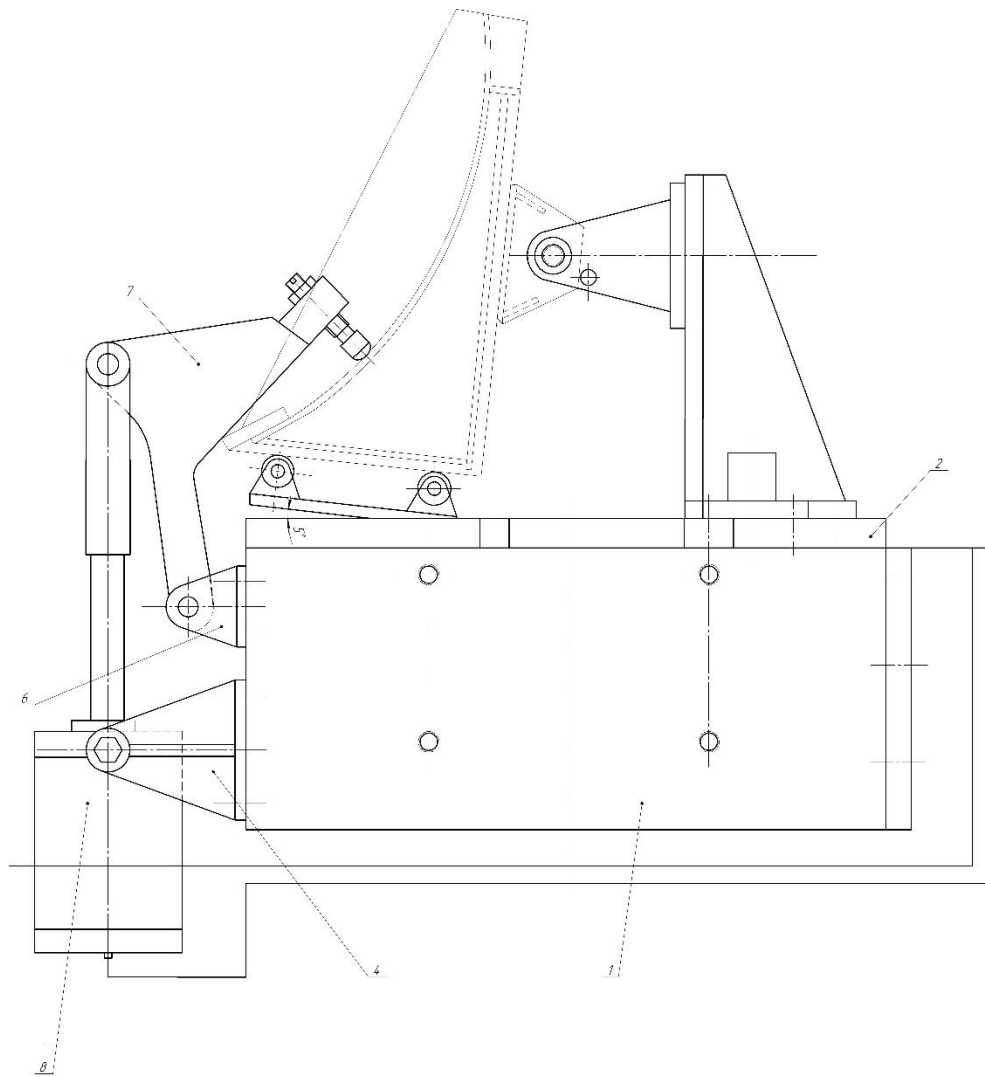


Рис. 3.2 – Пристосування для виготовлення відвалу бульдозера

Основа пристосування виконує роль базової частини всієї складальної системи. На ній встановлюються опори, упори, направляючі елементи, фіксатори, кронштейни і затискні механізми. Основа повинна мати достатню жорсткість, оскільки вона сприймає не лише масу деталей, але й зусилля, що виникають під час притискання, прихоплення і зварювання.

Форма та розміри основи залежать від габаритів планера, конфігурації лобового листа і розміщення ребер жорсткості. Для забезпечення довговічності пристосування на ділянках інтенсивного контакту доцільно передбачати змінні накладки. Це дозволяє відновлювати точність пристосування без повної заміни його основних елементів.

Розміщення фіксуючих елементів пристосування показано на рисунку 2.10. Фіксатори забезпечують правильне положення деталей у просторі та не допускають їх переміщення під час складання. Вони розташовуються таким чином, щоб обмежити можливі зміщення заготовок у поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямках.

Особливо важливим є правильне розміщення фіксаторів у зонах кріплення боковин, ребер жорсткості та кронштейнів. Саме ці ділянки визначають жорсткість відвалу і правильність його подальшого встановлення на бульдозер. Фіксатори повинні бути розміщені так, щоб не заважати доступу зварювального пальника до місць прихоплення та зварювання.

Пристосування для складання планера, наведене на рис. 3.3, забезпечує послідовне встановлення всіх основних деталей вузла. Спочатку в пристосування укладається лобовий лист, який базується по опорах і притискається до ложементів. Потім встановлюються боковини, після чого монтуються поздовжні та поперечні ребра жорсткості. Після перевірки положення деталей виконуються прихоплення, а потім основне зварювання.

Перевага такого пристосування полягає в тому, що воно дозволяє зберегти правильну форму планера протягом усього процесу складання і зварювання. Деталі не потрібно постійно виставляти вручну, оскільки їх положення задається упорами, фіксаторами та опорами. Це підвищує точність складання, зменшує трудомісткість операції та забезпечує стабільність якості зварного вузла.

Під час експлуатації складально-зварювальної оснастки важливо дотримуватися правильної послідовності встановлення деталей. Спочатку встановлюються базові елементи, які визначають положення всього вузла. Після цього монтуються допоміжні деталі, ребра жорсткості та кронштейни. Перед прихопленням обов'язково перевіряються діагоналі, положення боковин, прилягання ребер до лобового листа та відповідність основних розмірів кресленню.

Після зварювання можливе виникнення місцевих деформацій, тому для їх усунення застосовується правильна оснастка з гідравлічними домкратами Enerpac RC-Series. Домкрати дозволяють створювати контрольоване зусилля на

деформовану ділянку без ударного навантаження. Це дає змогу виконати правлення лобового листа, боковин або окремих ділянок рами без пошкодження поверхні виробу.

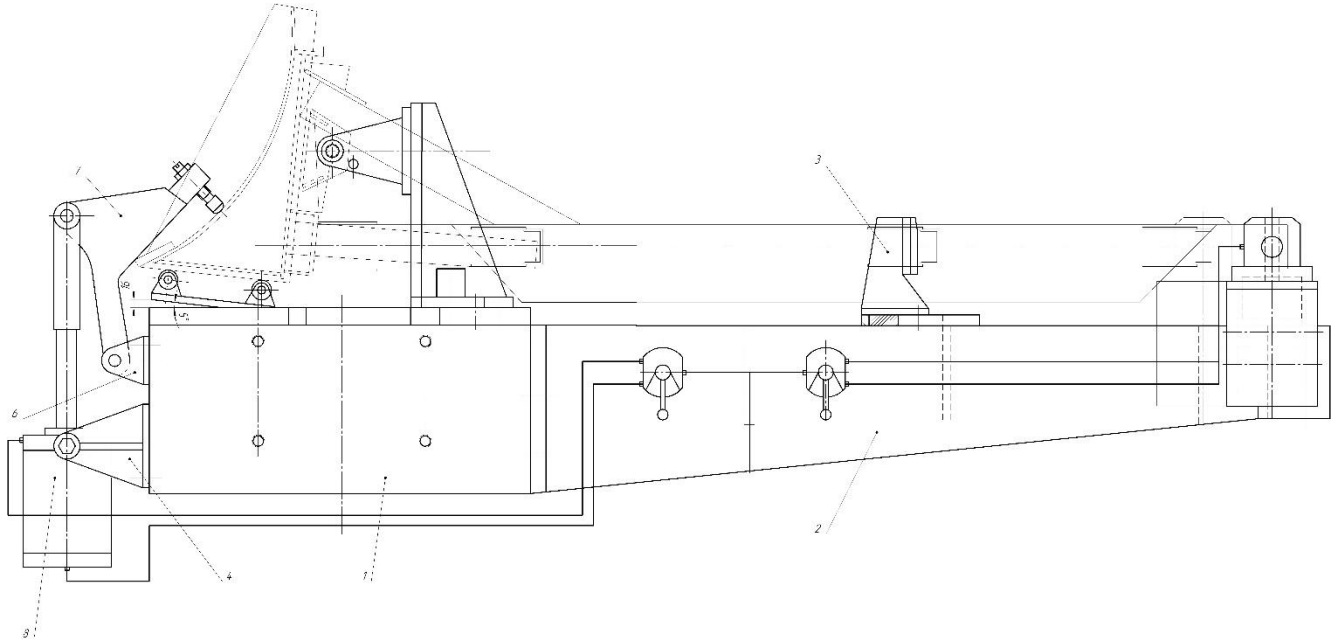


Рис. 3.3 – Пристосування для складання планера бульдозера

Для переміщення деталей і готових вузлів застосовується підйимально-транспортна оснастка: мостовий кран, траверса, стропи, листові захвати та внутрішньоцеховий візок. Їх використання необхідне через значну масу і габарити відвалу. Траверса забезпечує рівномірний розподіл навантаження під час піднімання, запобігає перекосу виробу і зменшує ризик місцевого прогину лобового листа.

Вибрана складально-зварювальна оснастка відповідає конструктивним особливостям відвалу бульдозера. Кондуктор для складання і зварювання відвалу забезпечує точне базування рами та кронштейнів, пристосування для виготовлення планера дає змогу зберегти форму лобового листа і правильно розмістити ребра жорсткості, а система упорів, фіксаторів, притискачів і пневматичних механізмів забезпечує надійне закріплення деталей під час зварювання. Застосування такої оснастки дозволяє підвищити якість зварного виробу, зменшити деформації та забезпечити стабільність технологічного процесу виготовлення відвалу.

3.2 Розрахунок притискача пристосування для складання відвалу

Під час складання планера відвалу бульдозера необхідно забезпечити надійне закріплення лобового листа, боковин і ребер жорсткості у складально-зварювальному пристосуванні. У процесі прихоплення та зварювання деталі можуть зміщуватися під дією власної ваги, пружного відновлення після гнуття, зварювальних напружень і додаткових технологічних зусиль. Для запобігання цьому у пристосуванні застосовуються притискачі з пневматичним приводом.

Розрахунок виконуємо для одного пневматичного важільного притискача, який притискає ділянку лобового листа або ребро жорсткості до опорної поверхні пристосування. Основним завданням розрахунку є визначення необхідного зусилля притискання, зусилля на штоку пневмоциліндра та вибір діаметра поршня пневмоциліндра [38].

Вихідні дані для розрахунку:

- маса ділянки деталі, яка утримується одним притискачем $m = 65$ кг
- кут нахилу ділянки лобового листа до горизонталі $\alpha = 30^\circ$
- додаткове технологічне зусилля від пружного відновлення та підганяння деталей $F_d = 450$ Н
- коефіцієнт тертя між сталевими поверхнями $\mu = 0,25$
- коефіцієнт запасу закріплення $k = 1,5$
- робочий тиск у пневмосистемі $p = 0,6$ МПа $= 0,6$ Н/мм²
- коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра $\eta_{\text{ц}} = 0,90$
- коефіцієнт корисної дії важільного механізму $\eta_{\text{м}} = 0,85$
- відстань від осі повороту важеля до точки прикладання сили притискання $a = 120$ мм
- відстань від осі повороту важеля до точки приєднання штока пневмоциліндра $b = 220$ мм

Сила ваги ділянки деталі

$$G = m \cdot g = 65 \cdot 9,81 = 637,65 \text{ Н}$$

Складова сили ваги, яка намагається змістити деталь по похилій поверхні

$$F_{\text{зм1}} = G \cdot \sin \alpha = 637,65 \cdot \sin 30^\circ = 637,65 \cdot 0,5 = 318,8 \text{ Н}$$

Загальна сила, яка може зміщувати деталь під час складання, визначається як сума складової сили ваги та додаткового технологічного зусилля

$$F_{\text{зм}} = F_{\text{зм1}} + F_{\text{д}} = 318,8 + 450 = 768,8 \text{ Н}$$

Приймаємо $F_{\text{зм}} \approx 770 \text{ Н}$.

Для надійного утримання деталі сила тертя, створена притискачем, повинна бути більшою за силу зміщення з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$F_{\text{тр}} \geq k \cdot F_{\text{зм}}$$

Сила тертя, яка утримує деталь від зміщення

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot P$$

де P — зусилля притискання, Н.

Звідси мінімально необхідне зусилля притискання

$$P_{\min} = \frac{k \cdot F_{\text{зм}}}{\mu} = \frac{1,5 \cdot 770}{0,25} = 4620 \text{ Н} = 4,62 \text{ кН}$$

З урахуванням можливих неточностей установлення деталей, нерівномірності прилягання лобового листа до опор і впливу зварювальних напружень приймаємо розрахункове зусилля притискання $P = 5,0 \text{ кН} = 5000 \text{ Н}$.

Далі визначаємо необхідне зусилля на штоку пневмоциліндра. Для важільного притискача умову рівноваги моментів записуємо у вигляді

$$F_{\text{ц}} \cdot b \cdot \eta_{\text{м}} = P \cdot a$$

Звідси зусилля на штоку пневмоциліндра

$$F_{\text{ц}} = \frac{P \cdot a}{b \cdot \eta_{\text{м}}}$$

Підставляємо числові значення

$$F_{\text{ц}} = \frac{5000 \cdot 120}{220 \cdot 0,85} = 3208 \text{ Н} = 3,21 \text{ кН}$$

Необхідна площа поршня пневмоциліндра

$$A = \frac{F_{\text{ц}}}{p \cdot \eta_{\text{ц}}} = \frac{3208}{0,6 \cdot 0,90} = 5941 \text{ мм}^2$$

Діаметр поршня пневмоциліндра

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5941}{3,14}} = \sqrt{7568} = 87 \text{ мм}$$

За стандартним рядом приймаємо пневмоциліндр із діаметром поршня $D = 100 \text{ мм}$.

Перевіряємо фактичне зусилля, яке може розвинути вибраний пневмоциліндр. Площа поршня прийнятого пневмоциліндра

$$A_{\phi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} = 7850 \text{ мм}^2$$

Фактичне зусилля на штоку пневмоциліндра

$$F_{ц.ф} = p \cdot A_{\phi} \cdot \eta_{ц} = 0,6 \cdot 7850 \cdot 0,90 = 4239 \text{ Н}$$

Фактичне зусилля притискання на кінці важеля:

$$P_{\phi} = \frac{F_{ц.ф} \cdot b \cdot \eta_{м}}{a} = \frac{4239 \cdot 220 \cdot 0,85}{120} = 6605 \text{ Н} = 6,6 \text{ кН}$$

Перевіряємо умову надійного закріплення

$$P_{\phi} \geq P_{min}$$

$$6,6 \text{ кН} \geq 4,62 \text{ кН}$$

Умова виконується, отже вибраний пневмоциліндр забезпечує необхідне зусилля притискання деталі у пристосуванні.

Для пристосування складання планера відвалу приймаємо пневматичний важільний притискач із пневмоциліндром діаметром поршня 100 мм і ходом штока 80 мм. Такий притискач забезпечує фактичне зусилля притискання близько 6,6 кН, що перевищує мінімально необхідне значення 4,62 кН. Запас зусилля дозволяє компенсувати можливі відхилення форми лобового листа, неточності прилягання ребер жорсткості та дію зварювальних напружень під час прихоплення і зварювання.

Обраний пневматичний притискач забезпечує надійне закріплення деталей у пристосуванні для складання відвалу бульдозера, зменшує імовірність зміщення елементів, підвищує точність складання та сприяє зменшенню зварювальних деформацій.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів в процесі виготовлення відвалу бульдозера

Технологічний процес виготовлення відвалу бульдозера DRESSSTA TD-20 включає заготівельні, складальні, зварювальні, контрольні, опоряджувальні та транспортні операції. Під час їх виконання на працівників можуть діяти небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з переміщенням великогабаритних заготовок, роботою металообробного обладнання, термічним різанням, механізованим і роботизованим зварюванням, правленням, дробоструминним очищенням та нанесенням лакофарбового покриття.

Відвал бульдозера є масивною зварною металоконструкцією, тому значна частина операцій виконується із застосуванням мостового крана, траверс, стропів, складально-зварювальних стендів, кантувачів, гідравлічних притискачів і домкратів. У зв'язку з цим особливу увагу необхідно приділяти безпеці підіймально-транспортних робіт, надійності закріплення деталей у пристосуваннях, захисту працівників від рухомих частин обладнання, електричного струму, випромінювання зварювальної дуги, шуму, пилу, аерозолів металу та шкідливих газів.

На заготівельній дільниці основними джерелами небезпеки є роликова дробоструминна установка Wheelabrator Roller Conveyor, роликотправильна машина Faccin R9, профілеправильна машина MG AR, листообробний комплекс Peddinghaus HSFDB-C, стрічкопильний верстат KASTOtec AC 5, установка 3D-різання профілів HGG SPC, зачисна машина Weber PT, кромкофрезерна машина Promotech BM-21 та фаскознімальна машина GERIMA MMB 500. Під час роботи цього обладнання можливі травмування рухомими механізмами, затягування одягу або рук у зону роликів, виліт стружки, підвищений рівень шуму, утворення пилу, а також ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції або порушення правил експлуатації.

Під час термічного різання листових деталей на комплексі Peddinghaus HSFDB-C виникають інтенсивне світлове та теплове випромінювання, виділення

аерозолів металу, оксидів заліза, оксидів азоту, оксиду вуглецю та продуктів окиснення металу. У зоні різання також можливе утворення іскор, бризок розплавленого металу та локальне нагрівання заготовки. Тому робоче місце оператора повинно бути обладнане місцевою витяжною вентиляцією, захисними екранами, справними кожухами та засобами пожежогасіння.

Операції правлення та гнуття виконуються на машинах Fassin R9, MG AR, HAEUSLER VRM та LVD PPEB-H. Основними небезпеками при цьому є затискання рук між валками або інструментом преса, раптове переміщення листа, пружне повернення заготовки після деформації, падіння великогабаритного листа з рольганга або робочого столу. Для запобігання травмуванню працівники повинні перебувати поза небезпечною зоною, а подавання і знімання заготовок має виконуватися із застосуванням крана, траверс, роликів опор і спеціальних захватів.

Складальні операції проводяться у спеціальних кондукторах і на складально-зварювальних стендах. Під час складання рами, лобового листа, боковин і ребер жорсткості можливі удари деталями, защемлення пальців між елементами, зміщення деталей у разі недостатнього закріплення, травмування під час роботи пневматичних або гідравлічних притискачів. Перед початком прихоплення необхідно перевірити правильність встановлення деталей, справність упорів, фіксаторів, притискачів і пневмосистеми.

Зварювання відвалу виконується механізованим MAG-зварюванням із використанням джерела Fronius TPS 500i, а протяжні та повторювані шви виконуються роботизованим комплексом Yaskawa MOTOMAN AR3120 із пальником Fronius Robacta. Під час зварювання виникають ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, бризки розплавленого металу, підвищена температура поверхонь, зварювальний аерозоль, оксиди азоту, оксид вуглецю, озон, сполуки марганцю та інші продукти плавлення металу і зварювального дроту. Крім того, існує небезпека ураження електричним струмом, опіків, займання горючих матеріалів і травмування під час переміщення виробу кантувачем.

Під час роботи роботизованого зварювального комплексу додатковою небезпекою є переміщення маніпулятора в автоматичному режимі. У робочу зону робота не допускається входити під час виконання програми. Роботизована ділянка повинна мати захисне огороження, світлову сигналізацію, аварійні вимикачі та блокування дверей. Налагодження робота дозволяється виконувати лише у спеціальному режимі з пониженою швидкістю переміщення.

Після зварювання проводяться зачистка швів, правлення та контроль якості. Під час зачистки кутовими шліфувальними машинами Bosch GWS 24-230, пневматичними машинками Rodcraft і голчастим молотком Atlas Copco виникають іскри, абразивний пил, шум, вібрація та можливий виліт частинок металу або абразивного круга. Під час правлення гідравлічними домкратами Enerpac RC-Series небезпеку становлять високі зусилля, можливе раптове переміщення деталі, пошкодження гідравлічного рукава або перекіс виробу на стенді. Тому правлення слід виконувати поступово, із контролем положення відвалу та без перебування працівника в напрямку можливого зміщення деталі.

Контроль якості виконується візуально-вимірним, геометричним, ультразвуковим і магнітопорошковим методами. Під час використання ультразвукового дефектоскопа небезпечні фактори є незначними, однак необхідно дотримуватися правил електробезпеки та роботи з контактними рідинами. Під час магнітопорошкового контролю можливий контакт із суспензіями або аерозолями, тому працівник повинен використовувати рукавички, окуляри та забезпечувати провітрювання робочої зони.

Особливу увагу слід приділяти зварювальній ділянці, оскільки під час MAG-зварювання утворюється зварювальний аерозоль, до складу якого можуть входити оксиди заліза, марганцю, вуглецю, азоту та інші сполуки. Наявність цих речовин у повітрі робочої зони потребує застосування місцевих витяжних пристроїв безпосередньо біля зони зварювання, а також загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції. Основні шкідливі речовини, які можуть утворюватися під час різання, зварювання, дробоструминного очищення та фарбування відвалу, наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Шкідливі речовини, що можуть утворюватися [39]

Назва речовини або фактора	Технологічний процес	Можливий вплив на організм працівника	Основні заходи захисту
Оксиди заліза	Зварювання, різання, шліфування	Подразнення органів дихання, утворення металевого пилу	Місцева вентиляція, респіратор, очищення повітря
Оксиди марганцю	МАГ-зварювання дротом для низьколегованих сталей	Токсична дія на нервову систему та органи дихання	Витяжна вентиляція, респіратор, обмеження часу перебування в зоні диму
Оксиди азоту	Плазмове і кисневе різання, зварювання	Подразнення слизових оболонок, кашель, задуха	Вентиляція, екрани, контроль повітря робочої зони
Оксид вуглецю	Термічне різання, зварювання	Порушення перенесення кисню кров'ю, головний біль, запаморочення	Загальнообмінна вентиляція, контроль газового середовища
Озон	Електродугове зварювання	Подразнення дихальних шляхів і слизових оболонок	Місцеві відсмоктувачі, вентиляція
Абразивний пил	Дробоструминне очищення, зачистка	Подразнення органів дихання, очей і шкіри	Дробоструминний костюм, шолом із подачею повітря, пиловловлювання
Пари розчинників	Фарбування	Токсична дія, подразнення органів дихання, пожежна небезпека	Вентиляція, респіратор, вибухобезпечне обладнання, заборона відкритого вогню
Ультрафіолетове випромінювання	Зварювання	Ураження очей і відкритих ділянок шкіри	Зварювальна маска, спецодяг, захисні ширми
Шум і вібрація	Різання, зачищення, дробоструминне очищення	Погіршення слуху, втома, вібраційний вплив на руки	Протишумні навушники, рукавиці, обмеження тривалості роботи

Для забезпечення безпечних умов праці на дільниці виготовлення відвалу необхідно передбачити такі основні заходи:

- обладнання робочих місць місцевою витяжною вентиляцією;
- застосування загальнообмінної припливно-витяжної вентиляції;
- використання захисних екранів у зоні зварювання та різання;
- справне заземлення зварювального і металообробного обладнання;
- огороження рухомих частин верстатів, роликів, валків і роботизованої зони;
- застосування справних вантажозахоплювальних пристроїв;
- заборону перебування працівників під піднятим вантажем;

- використання засобів індивідуального захисту;
- регулярну перевірку пневматичних, гідравлічних і електричних систем;
- підтримання чистоти робочих місць і своєчасне видалення відходів металу;
- наявність первинних засобів пожежогасіння біля зварювальних, різальних і фарбувальних постів.

З урахуванням характеру виконуваних робіт діляниця виготовлення відвалу повинна бути забезпечена засобами індивідуального захисту. До них належать зварювальна маска з автоматичним світлофільтром, захисні окуляри, брезентовий або шкіряний спецодяг, рукавиці, захисне взуття з металевим підноском, протишумні навушники, респіратори для захисту органів дихання, а також спеціальний костюм і шолом із подачею повітря для дробоструминних робіт.

4.2 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання

Безпечне виконання технологічного процесу виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20 забезпечується комплексом організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і протипожежних заходів. Оскільки відвал є великогабаритною зварною конструкцією, основну небезпеку становлять операції переміщення заготовок, розкрою товстолистового металу, гнуття, складання, прихоплення, основного зварювання, кантування, правлення, дробоструминного очищення та нанесення лакофарбового покриття.

Під час експлуатації діляниці найбільша кількість небезпечних ситуацій може виникати не лише у процесі основного виготовлення виробу, але й під час налагодження, технічного обслуговування, очищення та ремонту обладнання. Тому всі роботи повинні виконуватися відповідно до технологічної документації, інструкцій з охорони праці та правил експлуатації конкретного обладнання. До самостійної роботи допускаються лише працівники, які пройшли вступний, первинний і повторний інструктажі, мають необхідну професійну підготовку та ознайомлені з безпечними методами виконання робіт.

Організація робочих місць на ділянці повинна забезпечувати достатню ширину проходів, вільний доступ до органів керування, аварійних вимикачів, засобів пожежогасіння та евакуаційних виходів. Робочі зони біля верстатів, зварювальних постів, складально-зварювальних стендів і кантувачів не допускається захащувати заготовками, відходами металу, інструментом або тарою. Великогабаритні заготовки розміщують на стелажах, підкладках або спеціальних опорах, які унеможливають їх самовільне зміщення чи падіння [39-40].

Перед початком роботи на обладнанні працівник повинен перевірити справність органів керування, захисних кожухів, огорожень, блокувальних пристроїв, заземлення, аварійної сигналізації, пневматичних і гідравлічних магістралей. Робота на несправному обладнанні, із знятими кожухами, пошкодженими кабелями, несправними кнопками аварійної зупинки або порушеними захисними огороженнями не допускається.

Безпека під час підйимально-транспортних операцій забезпечується правильним використанням мостового крана, траверс, стропів, захватів і внутрішньоцехових візків. Оскільки листові заготовки, лобовий лист, рама і готовий відвал мають значну масу та габарити, їх переміщення необхідно виконувати тільки за допомогою справних вантажозахоплювальних пристроїв. Перед підніманням перевіряють стан стропів, надійність зачеплення, симетричність підвішування та відсутність людей у зоні можливого переміщення вантажу. Перебування працівників під піднятим вантажем забороняється.

Під час подавання листового прокату на дробоструминну установку Wheelabrator Roller Conveyor необхідно контролювати правильне положення листа на рольгангу. Працівник не повинен перебувати в зоні затягування листа роликками та поблизу рухомих частин конвеєра. Завантажувальні та розвантажувальні операції виконуються з використанням крана або роликів опор. Установка повинна мати справні захисні кожухи, блокування та систему аспірації для видалення пилу.

Під час правлення листів на роликотправильній машині Faccin R9 і профільного прокату на машині MG AR небезпеку становлять затискання заготовки між роликами, раптове переміщення листа або профілю, а також пружне повернення металу після деформації. Працівник повинен перебувати поза площиною можливого руху заготовки. Налаштування роликів виконується тільки після повної зупинки машини. Забороняється торкатися листа або профілю руками під час їх проходження через робочі ролики.

Розкрій товстолистого металу на комплексі Peddinghaus HSFDB-C супроводжується дією високої температури, іскор, бризок розплавленого металу, світлового випромінювання та виділенням газів і аерозолів. Зона різання повинна бути обладнана місцевою витяжною вентиляцією, захисними екранами та системою видалення продуктів різання. Оператор повинен перебувати за межами небезпечної зони та користуватися захисними окулярами або щитком, рукавицями і спецодягом. Після різання заготовки вважаються нагрітими, тому їх переміщення виконується тільки після контролю температури або із застосуванням спеціальних захватів.

Під час різання профільного прокату на стрічкопилальному верстаті KASTOtec AC 5 необхідно забезпечити надійне затискання заготовки. Ріжуча зона повинна бути закрита кожухом, а очищення верстата від стружки дозволяється виконувати лише після повної зупинки пиляльної стрічки. Забороняється утримувати короткі заготовки руками поблизу зони різання. Для видалення стружки слід застосовувати щітки або спеціальний інструмент, а не виконувати очищення руками.

Під час роботи кромкофрезерної машини Promotech BM-21 і фаскознімальної машини GERIMA MMB 500 основну небезпеку становлять обертовий інструмент, виліт стружки, гострі крайки та підвищений рівень шуму. Оброблення кромки виконується тільки після надійної фіксації заготовки. Працівник повинен використовувати захисні окуляри, рукавиці, спецодяг і засоби захисту слуху. Забороняється торкатися фрези, регулювати машину або очищати стружку під час обертання інструменту.

Гнуття лобового листа на чотиривалковій листозгинальній машині HAEUSLER VRM потребує підвищеної уваги, оскільки заготовка має значні габарити й може зміщуватися під час проходження між валками. Подавання листа виконується мостовим краном або за допомогою роликових опор. Працівники повинні перебувати поза зоною можливого зміщення листа. Забороняється стояти перед торцем листа, біля робочих валків або в зоні можливого пружного повернення заготовки.

Під час гнуття боковин, накладок і елементів кронштейнів на гідравлічному листозгинальному пресі LVD PPEB-H необхідно забезпечити правильне встановлення заготовки за упорами. Небезпеку становить зона між пуансоном і матрицею, де можливе защемлення рук. Робота повинна виконуватися із застосуванням захисних пристроїв, світлових бар'єрів або дворучного керування. Під час ходу траверси забороняється поправляти положення заготовки руками.

Безпека складальних операцій забезпечується використанням кондукторів, стендів, упорів, фіксаторів, пневматичних і гідравлічних притискачів. Перед початком прихоплення перевіряють правильність положення деталей, надійність притискання, справність пневмосистеми та відсутність сторонніх предметів у зоні зварювання. Під час роботи притискачів руки працівника не повинні перебувати між деталлю і базовою поверхнею пристосування. Пневматичні та гідравлічні елементи повинні мати справні рукави, з'єднання і регулятори тиску.

Особливу увагу необхідно приділяти електробезпеці під час виконання зварювальних робіт. Механізоване MAG-зварювання відвалу виконується з використанням джерела Fronius TPS 500i, а роботизоване зварювання — комплексом Yaskawa MOTOMAN AR3120 із пальником Fronius Robacta. Корпуси зварювального обладнання, джерела живлення, зварювальні столи, кантувачі та інші металеві частини повинні бути надійно заземлені. Зварювальні кабелі мають бути цілими, без пошкоджень ізоляції, перегріву, скручування та неякісних з'єднань.

Для запобігання ураженню електричним струмом необхідно застосовувати рубильники, вимикачі та розподільні пристрої закритого типу, регулярно

перевіряти ізоляцію проводів і справність контактних з'єднань. Зварнику забороняється торкатися струмопровідних частин незахищеними руками. Роботи повинні виконуватися у сухому спецодязі, брезентових або шкіряних рукавицях і захисному взутті. У вологих місцях необхідно застосовувати діелектричні рукавиці, гумові килимки або ізолюючі підставки [39-40].

У разі виявлення напруги на корпусі обладнання, захисному кожусі, кантувачі або зварювальному столі роботу необхідно негайно припинити, вимкнути обладнання і повідомити майстра або електромонтера. Самостійне усунення несправностей електричної частини працівниками, які не мають відповідного допуску, не допускається.

Зварювальна дуга є джерелом інтенсивного видимого, ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання. Видиме світло дуги спричиняє засліплення і перевтому органів зору, ультрафіолетове випромінювання може викликати запалення рогівки та опіки відкритих ділянок шкіри, а інфрачервоне випромінювання при тривалому впливі сприяє перегріванню тканин і погіршенню стану очей. Тому під час зварювання необхідно застосовувати зварювальну маску з відповідним світлофільтром, захисний одяг, рукавиці та екрани для захисту працівників, які перебувають поблизу [39-40].

Для захисту оточуючих від випромінювання дуги зварювальні пости повинні бути обладнані стаціонарними або переносними захисними ширмами. Під час роботизованого зварювання робоча зона комплексу повинна бути огорожена, обладнана світловою сигналізацією, блокуванням дверей та аварійними кнопками зупинки. Вхід у зону руху робота під час автоматичного циклу забороняється. Налагодження маніпулятора дозволяється виконувати тільки в режимі пониженої швидкості та за умови дотримання інструкції з безпеки.

Захист від бризок розплавленого металу забезпечується застосуванням спецодягу з вогнестійкої тканини, шкіряних або брезентових рукавиць, захисного взуття та головного убору без козирка. Куртка зварника повинна закривати верхню частину штанів, а штани не повинні заправлятися у взуття, щоб розплавлений метал

не потрапляв усередину. На спецодязі не допускається наявність відкритих кишень, у яких можуть затримуватися іскри або краплі металу.

Під час зварювання і термічного різання утворюються шкідливі гази та аерозолі, зокрема оксиди заліза, марганцю, азоту, вуглецю, озон і дрібнодисперсний металевий пил. Для зниження їх концентрації необхідно застосовувати місцеві витяжні пристрої в зоні утворення зварювального диму та загальнообмінну припливно-витяжну вентиляцію. У разі недостатньої ефективності вентиляції працівники повинні використовувати респіратори або засоби захисту органів дихання.

Після зварювання під час зачистки швів кутовими шліфувальними машинами Bosch GWS 24-230, пневматичними машинками Rodcraft і голчастим молотком Atlas Copco необхідно застосовувати захисні окуляри або щиток, рукавиці, спецодяг і протишумні навушники. Абразивні круги перед установленням перевіряють на відсутність тріщин і пошкоджень. Робота без захисного кожуха на шліфувальній машині не допускається.

Правлення відвалу після зварювання виконується на стенді з гідравлічними домкратами Enerpac RC-Series. Оскільки гідравлічні пристрої створюють значні зусилля, перед роботою необхідно перевірити справність домкратів, насосів, рукавів високого тиску і з'єднань. Навантаження слід прикладати поступово, контролюючи положення виробу. Працівник не повинен перебувати у напрямку можливого зміщення деталі або розриву гідравлічного рукава.

Дробоструминне очищення у камері Clemco виконується тільки у спеціальному захисному костюмі, шоломі з подачею очищеного повітря, рукавицях і захисному взутті. Камера повинна мати справну систему вентиляції, пиловловлювання та блокування. Відкривання дверей під час роботи установки не допускається. Після завершення очищення необхідно дочекатися осідання пилу та зупинки вентиляційної системи згідно з інструкцією виробника.

Під час ґрунтування і фарбування відвалу установкою безповітряного розпилення Graco King 45:1 необхідно враховувати токсичність парів розчинників і пожежонебезпечність лакофарбових матеріалів. Фарбування виконується у

вентилюваній зоні або фарбувальній камері. Працівник повинен використовувати респіратор, захисний костюм, рукавиці й окуляри. У зоні фарбування забороняється паління, використання відкритого вогню, зварювання або виконання робіт, що можуть спричинити іскроутворення.

Для підтримання безпечного стану обладнання необхідно проводити планові огляди, профілактичне обслуговування і ремонт згідно з графіком.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра розроблено технологічний процес зварювання відвалу бульдозера DRESSTA TD-20. Установлено, що відвал є відповідальною великогабаритною зварною конструкцією, яка працює в складних умовах експлуатації та зазнає одночасної дії ударних, згинальних, вібраційних і абразивних навантажень. Тому під час його виготовлення необхідно забезпечити високу якість зварних з'єднань, точність просторової геометрії, достатню жорсткість і ремонтпридатність найбільш зношуваних елементів.

Проведено аналіз конструкції відвалу та визначено призначення його основних складових частин. Встановлено, що лобовий щит формує робочу поверхню виробу, боковини забезпечують просторову форму та обмежують переміщення ґрунту, ребра жорсткості й силова рама підвищують опір деформаціям, а кронштейни та провусини забезпечують з'єднання відвалу з базовою машиною. Нижня ножова частина є найбільш навантаженою зоною, тому вона повинна мати підвищену зносостійкість і можливість заміни після спрацювання.

Обґрунтовано вибір матеріалів для виготовлення відвалу. Для основної зварної конструкції прийнято сталь 09Г2С, яка є доцільною для виготовлення несучих зварних металоконструкцій завдяки поєднанню міцності, пластичності та доброї зварюваності. Для ножів, бокових ножів і захисних накладок передбачено використання сталей Hardox 450 і Hardox 500, які забезпечують підвищену стійкість до абразивного зношування. Такий розподіл матеріалів дозволяє раціонально поєднати технологічність виготовлення, довговічність і економічну доцільність конструкції.

Виконано аналіз можливих способів зварювання та встановлено, що найбільш раціональним для даної конструкції є застосування MAG-зварювання. Для коротких, кутових і важкодоступних швів прийнято механізоване зварювання, а для протяжних повторюваних з'єднань — роботизоване MAG-зварювання. Такий підхід забезпечує підвищення продуктивності, стабільність параметрів процесу,

рівномірне формування швів і зменшення впливу людського чинника на якість готового виробу.

Для реалізації технологічного процесу вибрано зварювальне джерело Fronius TPS 500i, роботизований комплекс Yaskawa MOTOMAN AR3120 із пальником Fronius Robacta, а також комплекс обладнання для заготівельних, складальних, зварювальних, контрольних і опоряджувальних операцій. Запропонований маршрут виготовлення охоплює всі основні етапи.

Розроблено технологічну послідовність зварювання, спрямовану на зменшення залишкових деформацій. Передбачено симетричне прихоплення деталей, чергування швів на протилежних сторонах, виконання зварювання від середньої частини конструкції до крайніх ділянок та застосування складально-зварювальних пристосувань. Це дозволяє зберегти задану кривизну лобового листа, правильне положення боковин, рами та кронштейнів.

У роботі обґрунтовано застосування складально-зварювальної оснастки для виготовлення відвалу. Розглянуто кондуктор для складання і зварювання відвалу, пристосування для виготовлення планера, систему упорів, фіксаторів, притискачів, пневматичних механізмів і правильний стенд. Використання такої оснастки забезпечує точне базування деталей, зменшує обсяг ручного припасування, скорочує допоміжний час і підвищує повторюваність геометрії виробу. Для оцінювання якості готового відвалу передбачено комплексний контроль.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які виникають під час виготовлення відвалу.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи сформовано технологічний процес виготовлення відвалу бульдозера DRESSTA TD-20, який є технічно обґрунтованим і придатним для впровадження у виробництво. Запропоновані рішення дозволяють підвищити якість зварних з'єднань, зменшити трудомісткість складання, забезпечити стабільність геометрії виробу та підвищити довговічність відвалу в умовах експлуатації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. : <https://www.dressta.com/>
3. <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/09g2s>
4. <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/hardox/product-program/450>
5. <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/hardox/product-program/500>
6. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРІ ЛТД, 2003. 263 с.
7. <https://www.ssab.com/en/-/media/files/en/hardox/hardox-welding-103env52024.pdf>
8. ДСТУ EN ISO 3834-2:2022. Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 2. Всебічні вимоги до якості.
9. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості.
10. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні з'єднання, виконані зварюванням плавленням. Рівні якості залежно від дефектів.
11. ДСТУ ISO 5817:2016. Зварювання. Рівні якості залежно від дефектів.
12. ДСТУ EN ISO 9692-1:2014. Зварювання та споріднені процеси. Типи підготовки з'єднань. Частина 1.
13. ISO 5817:2023. Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys — Quality levels for imperfections.
14. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
15. 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.
16. ДСТУ EN ISO 14171:2015. Матеріали зварювальні. Суцільні дроти, порошкові дроти та комбінації дріт-флюс для зварювання під флюсом нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація.
17. <https://evrosvarka.com.ua/ua/p1201583612-svarochnaya-provoloka-lincoln.html?srsId=AfmBOoronBjSJ-Z9zrgT8hAvp4jg3FKNTsZAGitST5QNvTEWs80S7NUM>
18. 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.
19. <https://www.fronius.com/>
20. <https://www.motoman.com/en-us/products/robots/industrial/welding-cutting/ar/ar3120>
21. ДСТУ EN ISO 17637:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=72977
22. <https://www.elcometer.com/en/elcometer-147-weld-gauge.html>

23. ДСТУ EN ISO 17640:2022. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролю та оцінювання. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104111
24. <https://advanspec.kz/en/shop/product/conventional-ut/masterscan-d-70/>
25. ДСТУ EN ISO 17638:2016. Неруйнівний контроль зварних швів. Магнітопорошковий контроль. URL: <https://online.budstandart.com/ua/catalog/search?query=ДСТУ%20EN%20ISO%2017638>
26. <https://m-technologijos.lt/en/produktai/karl-deutsch-magnetic-particles-testing-deutropuls-hand-yokes/>
27. <https://www.faro.com.ua/oborudovanie/faro-laser-tracker/faro-vantage/>
28. <https://www.wheelabratorgroup.com/wheelblast-equipment/roller-conveyor-machines>
29. https://www.facinggroup.com/?utm_source=chatgpt.com
30. https://mgsrl.com/en/portfolio_page/3-roll-profile-benders/?utm_source=chatgpt.com
31. https://www.peddinghaus.com/plate-processing-machine/hsfdb-c/machines/13?utm_source=chatgpt.com
32. https://www.kasto.com/en/saws/bandsaws/detail/kastotec-ac-5?utm_source=chatgpt.com
33. <https://www.hansweber.de/en/grinding/series/weber-pt>
34. https://www.promotech.eu/product/bm-21-industrial-plate-pipe-beveler/?utm_source=chatgpt.com
35. <https://www.gerima.de/en/>
36. <https://mach4metal.com/ua/valci/4-rol/haeusler-vrm-hy-18>
37. https://www.lvdgroup.com/en/press-brakes/xxl-press-brakes/ppeb-h?utm_source=chatgpt.com
38. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
39. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
40. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.

ДОДАТКИ