

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на тему: «Розроблення технологічного процесу зварювання рами автогрейдера GR1003».

У роботі розглянуто конструктивні особливості рами автогрейдера GR1003, яка складається з передньої та задньої напіврам, з'єднаних шарнірним вузлом. Передня напіврама виконана у вигляді зварної балки коробчастого перерізу, а задня напіврама є просторовою лонжеронною конструкцією на базі двох швелероподібних лонжеронів. Проаналізовано умови роботи рами, характер навантажень, відповідальні зони конструкції та вимоги до точності її виготовлення.

Для виготовлення рами обґрунтовано застосування конструкційної сталі S355J2+N, яка має достатню міцність, ударну в'язкість і придатність до зварювання. Вибрано спосіб механізованого MAG-зварювання у середовищі захисної газової суміші M21 із використанням зварювального дроту G3Si1. Запропоновано технологічний процес виготовлення рами за вузловим принципом із попереднім очищенням і правленням прокату, розкром листових і профільних заготовок, підготовкою кромок, складанням передньої та задньої напіврам у спеціальних пристосуваннях, зварюванням, правленням, механічною обробкою отворів шарнірного вузла, контролем якості та нанесенням захисного покриття.

У технологічній частині підібрано сучасне обладнання для виконання основних операцій: дробоструминного очищення, правлення листового прокату, розкром листових і профільних деталей, видалення ґрату, фаскування, MAG-зварювання, індукційного підігріву, розточування отворів, контролю геометрії та підготовки поверхні до фарбування. Для забезпечення якості зварних з'єднань передбачено візуально-вимірювальний, ультразвуковий, магнітопорошковий контроль і контроль геометричних параметрів рами.

У конструкторській частині розглянуто складально-зварювальні пристосування для виготовлення передньої балки, задньої рами та шарнірного вузла. Виконано розрахунок сили притиску в кондукторі для складання передньої коробчастої балки, що дозволяє забезпечити стабільність геометрії під час прихвачування і зварювання. У розділі з охорони праці проаналізовано небезпечні

та шкідливі виробничі фактори, а також запропоновано заходи щодо забезпечення безпеки працівників під час реалізації технологічного процесу.

Результатом роботи є розроблений технологічний процес зварювання рами автогрейдера GR1003, який забезпечує точне складання конструкції, стабільну якість зварних з'єднань, зменшення зварювальних деформацій, підвищення продуктивності та надійність готового виробу.

Ключові слова: АВТОГРЕЙДЕР, РАМА, ПЕРЕДНЯ НАПІВРАМА, ЗАДНЯ НАПІВРАМА, ЗВАРНА КОНСТРУКЦІЯ, MAG-ЗВАРЮВАННЯ, КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції виробу	9
1.2 Характеристика матеріалу виробу	13
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу	17
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу....	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	29
2.1 Обґрунтування способу зварювання	29
2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування	38
2.3 Вибір методу контролю якості виробу	38
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	61
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	69
4.1 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів в процесі виготовлення відвалу бульдозера	69
4.2 Забезпечення безпеки технологічних процесів, монтажу та експлуатації обладнання	72
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	76
ДОДАТКИ.....	78

ВСТУП

Одним із провідних чинників сучасного науково-технічного розвитку є постійне вдосконалення зварювальної науки, технологій та обладнання. На сьогодні зварювання належить до найбільш поширених технологічних процесів і застосовується майже в усіх галузях промисловості. Його використання дало змогу істотно зменшити масу металоконструкцій і виробів, підвищити їх технологічність, скоротити витрати матеріалів та забезпечити виготовлення конструкцій складної форми.

Підвищення ефективності виробництва, розвиток механізації та автоматизації технологічних процесів, покращення якості продукції, а також широке впровадження досягнень науки і техніки є важливими напрямками удосконалення сучасного зварювального виробництва. Саме в цій сфері особливо активно застосовуються нові технічні рішення, спрямовані на підвищення продуктивності праці, стабільності технологічних режимів і надійності зварних з'єднань.

Залежно від умов виробництва, властивостей зварюваних матеріалів, товщини деталей, конструктивних особливостей виробу та вимог до якості з'єднань у промисловості використовують значну кількість способів зварювання. Різноманітність зварювальних процесів зумовлює широкий вибір обладнання, технологічного оснащення та схем його компонування. За кількістю різновидів і конструктивних виконань зварювальне обладнання значно відрізняється від багатьох інших видів виробничої техніки, зокрема металорізальних верстатів або ковальсько-пресового устаткування.

Подальший розвиток зварювального виробництва, створення нових способів механізованого зварювання і наплавлення, а також удосконалення вже відомих технологій потребують розроблення сучасних зразків обладнання та постійного підвищення його технічного рівня. Таке обладнання повинно забезпечувати ефективне застосування різних способів зварювання у промисловості, стабільність процесу, високу якість швів і можливість виконання робіт у різних виробничих умовах [1].

На сучасному етапі зварювальне виробництво є однією з провідних галузей техніки, що має важливе значення для розвитку машинобудування, будівництва, транспорту, енергетики та інших сфер господарства. Сучасні зварювальні технології дають змогу з'єднувати й обробляти широкий діапазон конструкційних матеріалів різної товщини — від тонколистових елементів до великогабаритних деталей значного перерізу. Досягнутий рівень розвитку зварювальної техніки створює необхідні передумови для підвищення продуктивності праці, економії металу й енергетичних ресурсів, покращення якості та зниження собівартості зварної продукції.

Забезпечення високої якості виробів потребує постійного оновлення технічної бази підприємств, впровадження сучасного обладнання, удосконалення технологічних процесів і підвищення рівня організації виробництва. Важливе значення має також поліпшення системи управління виробничими процесами, прискорення розроблення та промислового впровадження нової техніки, а також підвищення результативності роботи науково-технічних організацій.

Нова техніка, що впроваджується у виробництво, повинна відповідати не лише сучасним технічним вимогам, а й бути економічно обґрунтованою. Кожне нове технічне рішення має оцінюватися з погляду ефективності його розроблення, виготовлення та подальшої експлуатації. Тому всі заходи, спрямовані на вдосконалення зварювального виробництва, повинні поєднувати технічну доцільність, надійність, продуктивність і економічну ефективність.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Автогрейдер GR1003 (рис. 1.1) належить до колісних дорожньо-будівельних машин, призначених для виконання планувальних, профілювальних, землерийних і допоміжних робіт під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг. Машина застосовується для розрівнювання ґрунту, формування поперечного профілю дорожнього полотна, очищення поверхні, переміщення сипких матеріалів, підрізання узбіч та виконання робіт на будівельних майданчиках. Загальні габаритні розміри автогрейдера GR1003 становлять 7230×2375×3150 мм, експлуатаційна маса — 7500 кг, а розмір робочого відвала — 3048×450 мм.



Рис. 1.1 Автогрейдер GR1003 [2]

Рама автогрейдера GR1003 має шарнірно-зчленовану будову і складається з передньої та задньої напіврам, з'єднаних між собою центральним шарнірним вузлом. Загальна довжина рамної конструкції становить 5850 мм. Довжина передньої напіврами становить 3500 мм, довжина задньої напіврами — 2350 мм. Шарнірне з'єднання забезпечує можливість повороту передньої та задньої частин машини одна відносно одної, завдяки чому підвищується маневреність автогрейдера під час роботи.

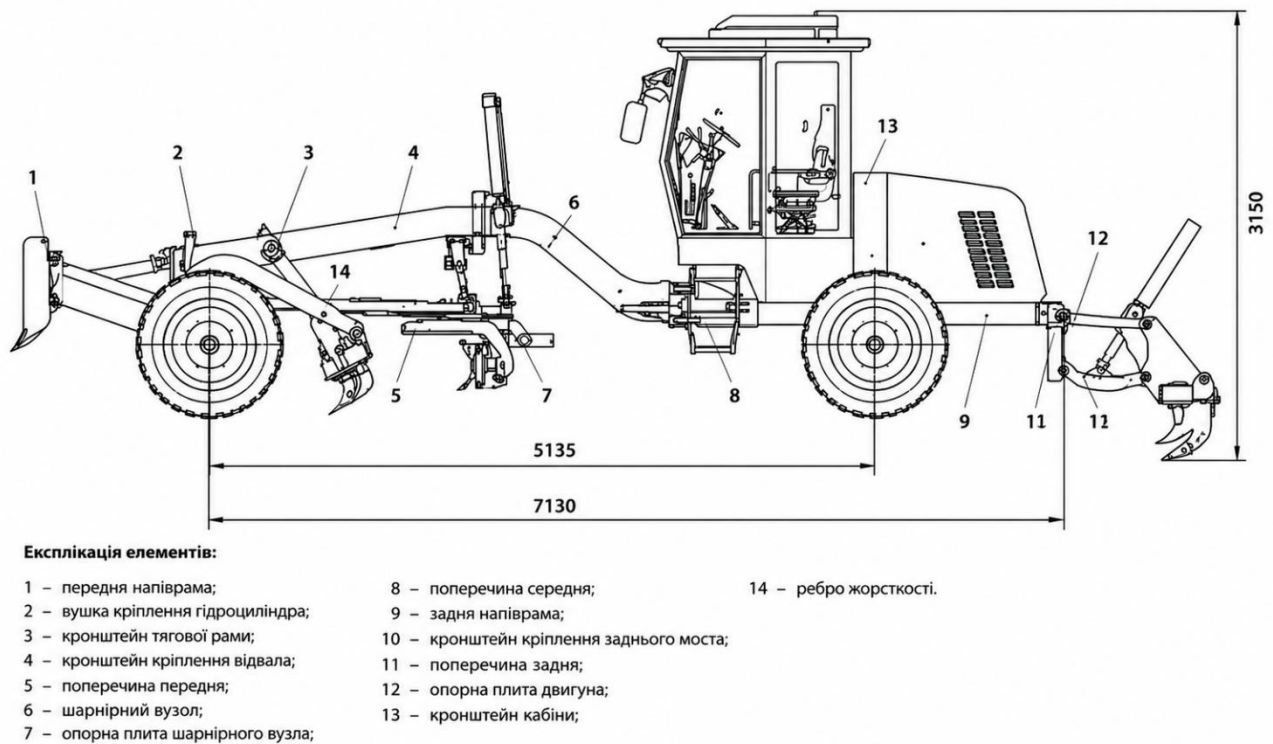


Рис. 1.2 Конструктивна схема GR1003 [2]

Передня напіврама виконана у вигляді видовженої зварної балки коробчастого перерізу. Вона є основним несучим елементом передньої частини машини і сприймає навантаження від тягової рами, поворотного круга, робочого відвала, переднього моста та гідроциліндрів керування робочим обладнанням. Коробчата форма перерізу забезпечує високий опір згину і крученню, що особливо важливо для передньої частини автогрейдера, яка безпосередньо пов'язана з робочим обладнанням.

Довжина передньої напіврами становить 3500 мм. Поперечний переріз передньої балки має висоту 320 мм і ширину 260 мм. Коробчастий переріз утворюють нижній лист, дві вертикальні стінки, верхній лист, внутрішні ребра жорсткості та підсилювальні елементи. Вертикальні стінки передньої балки мають товщину 12 мм. Верхній і нижній пояси виконані з листової сталі товщиною 16 мм. Така будова забезпечує необхідну жорсткість передньої напіврами під час передавання зусиль від робочого органа, тягової рами та гідравлічних механізмів.

Усередині коробчастої балки передньої напіврами розміщені ребра жорсткості товщиною 10–12 мм. Вони встановлені в зонах передавання

зосереджених навантажень: біля кронштейнів тягової рами, вушок гідроциліндрів, опорних ділянок поворотного круга, місць з'єднання з шарнірним вузлом та ділянок переходу перерізів. Ребра жорсткості стабілізують форму коробчастого перерізу, зменшують місцеве деформування листових елементів і підвищують довговічність передньої напіврами.

У передній частині напіврами розміщені кронштейни кріплення тягової рами. Вони виконані з листової сталі товщиною 20 мм і приварені до коробчастої балки в місцях передавання значних робочих зусиль. Для зменшення концентрації напружень у зоні кріплення кронштейнів застосовують підсилювальні накладки та косинки. Таке конструктивне виконання забезпечує надійне з'єднання тягової рами з передньою напіврамою і підвищує опір вузла змінним навантаженням.

Вушка кріплення гідроциліндрів належать до відповідальних елементів передньої напіврами. Вони мають товщину 25 мм. Діаметр отворів під пальці становить 60 мм, відстань між щокми одного кронштейна — 86 мм. Такі розміри забезпечують встановлення шарнірного з'єднання з пальцем і втулкою. Вушка працюють під дією змінних зосереджених навантажень від гідроциліндрів, тому їх положення відносно поздовжньої осі напіврами витримується з підвищеною точністю.

Задня напіврама автогрейдера GR1003 є просторовою лонжеронною зварною конструкцією. Вона призначена для розміщення двигуна, трансмісійних вузлів, кабіни, заднього моста, паливного бака, гідравлічного обладнання та допоміжних систем. На відміну від передньої напіврами, задня частина не має вигляду однієї коробчастої балки. Її основу утворюють два готові швелероподібні лонжерони, розміщені паралельно один одному.

Для задньої напіврами застосовують два швелероподібні лонжерони висотою 360 мм. Ширина полиці лонжерона становить 220 мм. Товщина вертикальної стінки лонжерона становить 12 мм, товщина полиць — 16 мм. Лонжерони є основними поздовжніми силовими елементами задньої частини рами. Вони сприймають навантаження від силового агрегату, кабіни, заднього моста, трансмісії та реакції, що виникають під час руху автогрейдера.

Довжина задньої напіврамы становить 2350 мм. Найбільша ширина в зоні встановлення силового агрегату становить 1050 мм. Два поздовжні лонжерони з'єднані між собою поперечинами, опорними плитами, монтажними площадками, кронштейнами і заднім силовим елементом. Таке компонування формує просторову несучу систему, зручну для розміщення двигуна, трансмісії, кабіни та допоміжного обладнання.

Поперечини задньої напіврамы забезпечують зв'язок між двома швелероподібними лонжеронами та підвищують жорсткість конструкції на кручення. У конструкції рами застосовані передня, середня та задня поперечини. Довжина передньої поперечини становить 820 мм, середньої — 960 мм, задньої — 1050 мм. Висота перерізу поперечин становить 240 мм, товщина стінок — 10 мм, товщина торцевих пластин — 14 мм. Поперечини утримують сталість відстані між лонжеронами, запобігають перекосу задньої напіврамы та створюють базу для встановлення опорних і монтажних елементів.

У зоні встановлення двигуна і трансмісії до лонжеронів приварені опорні плити товщиною 18 мм. Вони передають навантаження від силового агрегату на поздовжні лонжерони. У місцях передавання значних навантажень опорні плити підсилені ребрами товщиною 10 мм. Монтажні площадки допоміжного обладнання виконані з листової сталі товщиною 12 мм. Вони використовуються для закріплення елементів гідравлічної системи, паливного бака, допоміжних кронштейнів та інших вузлів автогрейдера.

Кронштейни, що входять до складу рами, мають різну товщину залежно від навантаження та призначення. Кронштейни допоміжного призначення мають товщину 12 мм. Кронштейни середньої навантаженості мають товщину 16 мм. Відповідальні кронштейни шарнірних, тягових і силових вузлів виконані з листової сталі товщиною 20–25 мм. Отвори у кронштейнах виконані з підвищеною точністю, оскільки від їх розташування залежить правильність встановлення пальців, втулок і шарнірних з'єднань.

Одним із найбільш відповідальних вузлів рами є шарнірне з'єднання передньої та задньої напіврам. Воно забезпечує поворот частин автогрейдера одна

відносно одної і передає згинальні та крутні навантаження між передньою і задньою частинами машини. До складу шарнірного вузла входять щоки, провусини, втулки, опорні плити, палець і підсилювальні ребра. Товщина щік шарнірного вузла становить 30 мм, діаметр отвору під шарнірний палець — 80 мм, товщина опорних плит — 25 мм. У зоні шарнірного вузла встановлені ребра жорсткості товщиною 12 мм.

Ребра жорсткості, косинки та підсилювальні накладки розміщені в найбільш навантажених зонах рами. До таких зон належать шарнірний вузол, місця кріплення кронштейнів, ділянки встановлення поперечин, опорні площадки силового агрегату, монтажні отвори та зони переходу перерізів. Ребра жорсткості мають товщину 10–12 мм, підсилювальні накладки — 16 мм. Їх застосування підвищує втомну міцність рами, зменшує ймовірність появи тріщин і забезпечує стабільність геометричної форми конструкції під час експлуатації.

Під час експлуатації автогрейдера GR1003 рама працює в умовах складного навантаження. На неї діють маса встановлених агрегатів, тягові зусилля, реакції від робочого відвала довжиною 3048 мм, крутні моменти під час повороту шарнірної рами, а також динамічні навантаження, що виникають під час руху нерівною поверхнею. Найбільш навантаженими зонами є шарнірний вузол, місця кріплення тягової рами, кронштейни гідроциліндрів, поперечини та ділянки переходу перерізів. Саме в цих місцях необхідно забезпечити високу якість зварних швів, правильну послідовність зварювання та контроль геометрії після виконання основних операцій.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення рами автогрейдера GR1003 приймається конструкційна сталь S355J2+N за EN 10025-2. Даний матеріал належить до групи сталей підвищеної міцності, які широко застосовуються для виготовлення відповідальних зварних металоконструкцій машинобудівного, транспортного та будівельного призначення. Вибір сталі S355J2+N пояснюється тим, що вона забезпечує

раціональне поєднання міцності, пластичності, ударної в'язкості, технологічності та зварюваності.

Рама автогрейдера GR1003 є основним несучим елементом машини. Під час експлуатації вона сприймає навантаження від силового агрегату, трансмісії, кабіни, мостів, гідравлічного обладнання, тягової рами, робочого відвала та шарнірного вузла. Крім статичних зусиль, на раму діють згинальні моменти, крутні навантаження, вібрації та ударні впливи, які виникають під час руху машини нерівною поверхнею і виконання планувальних робіт. Тому матеріал рами повинен мати достатню несучу здатність, опір залишковим деформаціям і здатність працювати при змінному навантаженні без утворення тріщин.

Сталь S355J2+N є доцільною для виготовлення рамної конструкції автогрейдера, оскільки має гарантовану ударну в'язкість при зниженій температурі та добру придатність до зварювання. Це важливо для дорожньо-будівельної машини, яка працює в різних кліматичних умовах і зазнає дії динамічних навантажень. Нормалізований стан постачання сприяє отриманню більш стабільної структури металу, покращує однорідність механічних властивостей і знижує ризик виникнення внутрішніх напружень у прокаті.

Зі сталі S355J2+N виготовляються основні елементи зварної рами автогрейдера: передня та задня напіврами, поздовжні балки, поперечини, опорні плити, кронштейни, косинки, ребра жорсткості та підсилювальні накладки. Основні листові елементи конструкції мають товщину 10–16 мм, а найбільш навантажені деталі, зокрема щоби шарнірного вузла, кронштейни кріплення гідроциліндрів, опорні плити та підсилювальні накладки, виконуються з листового прокату товщиною 20–30 мм. Такий підбір товщин дозволяє забезпечити необхідну міцність у відповідальних ділянках і водночас не перевантажувати конструкцію зайвою масою.

Хімічний склад сталі S355J2+N наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі S355J2+N, % [3]

Марка сталі	C	Si	Mn	P	S	Cu
S355J2+N	до 0,20	до 0,55	до 1,60	до 0,025	до 0,025	до 0,55

Низький вміст вуглецю у сталі S355J2+N позитивно впливає на її зварюваність і знижує схильність металу до утворення холодних тріщин. Марганець підвищує міцність сталі та сприяє формуванню більш сприятливої структури металу. Кремній бере участь у розкисленні сталі й підвищує її опір деформаціям. Обмежений вміст сірки та фосфору має важливе значення для зварних конструкцій, оскільки ці домішки можуть погіршувати пластичність і ударну в'язкість металу.

Основні механічні властивості сталі S355J2+N наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні механічні властивості сталі S355J2+N [3]

Товщина прокату, мм	Границя текучості Re, МПа	Тимчасовий опір розриву Rm, МПа	Відносне видовження A, %	Ударна робота KV, Дж
10–16	не менше 355	510–680	не менше 22	27 при –20 °C
20–30	не менше 345	470–630	не менше 22	27 при –20 °C

Наведені механічні властивості свідчать, що сталь S355J2+N має достатній запас міцності для виготовлення рами автогрейдера GR1003. Границя текучості не менше 355 МПа для листів товщиною до 16 мм і не менше 345 МПа для листів більшої товщини забезпечує опір залишковим деформаціям під час дії робочих навантажень. Тимчасовий опір розриву в межах 470–680 МПа характеризує здатність матеріалу витримувати значні силові впливи без руйнування. Відносне видовження не менше 22 % свідчить про достатню пластичність сталі, що є важливим для конструкції, яка працює при ударах, вібраціях і змінних навантаженнях.

Особливо важливою характеристикою сталі S355J2+N є гарантована ударна робота 27 Дж при температурі –20 °C. Для рами автогрейдера це має практичне значення, оскільки машина експлуатується на відкритому повітрі та може працювати за знижених температур. Наявність гарантованої ударної в'язкості зменшує ризик крихкого руйнування в найбільш навантажених зонах конструкції, зокрема біля шарнірного вузла, кронштейнів гідроциліндрів і поперечин.

Однією з головних причин вибору сталі S355J2+N є її добра зварюваність. Під зварюваністю розуміють здатність металу утворювати якісне нероз'ємне

з'єднання без появи тріщин, непроварів, пор, крихких структур у зоні термічного впливу та значного зниження механічних властивостей після зварювання. Для рами автогрейдера це особливо важливо, оскільки більшість її елементів з'єднуються між собою кутовими, тавровими та стиковими швами, які працюють під дією складного навантаження.

Попередню оцінку зварюваності сталі S355J2+N виконуємо за еквівалентним вмістом вуглецю. Цей показник враховує вплив вуглецю та легувальних елементів на схильність сталі до утворення загартованих структур і холодних тріщин у зоні термічного впливу.

Еквівалент вуглецю визначаємо за формулою [4]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0,473$$

Отримане значення $C_{\text{екв}} = 0,473$ свідчить, що сталь S355J2+N має задовільну зварюваність і може застосовуватися для виготовлення зварної рами автогрейдера GR1003. Для елементів товщиною 10–16 мм зварювання може виконуватися без обов'язкового попереднього підігріву за умови правильного вибору режимів, якісної підготовки кромки і контролю тепловкладення. Для деталей товщиною 20–30 мм, особливо в зоні шарнірного вузла та відповідальних кронштейнів, необхідно уникати швидкого охолодження зварного з'єднання, а за потреби застосовувати помірний попередній підігрів.

Під час виготовлення рами зі сталі S355J2+N необхідно забезпечити якісну підготовку деталей до зварювання. Кромки та прилеглі поверхні повинні бути очищені від іржі, окалини, мастила, вологи та інших забруднень. Наявність сторонніх включень у зоні зварювання може спричинити пористість, непровари, нестабільне формування шва та зниження міцності з'єднання. Перед складанням потрібно перевіряти геометричні розміри деталей, правильність підготовки кромки, величину зазорів і точність взаємного розташування елементів рами.

Для зменшення залишкових деформацій під час зварювання необхідно застосовувати раціональну послідовність прихвачування та накладання швів. Рама автогрейдера має значну довжину і складну просторову форму, тому нерівномірне нагрівання може призвести до перекосу конструкції, зміщення базових поверхонь

і порушення розташування шарнірного вузла. З цієї причини зварювання слід виконувати симетрично, з чергуванням швів на протилежних сторонах конструкції та проміжним контролем геометрії після виконання основних операцій.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Рама автогрейдера GR1003 є відповідальною просторовою зварною металоконструкцією, що має значну довжину, складну форму та велику кількість зварних з'єднань. Вона виконує функцію основної несучої бази машини, тому під час її виготовлення необхідно забезпечити точність геометричних розмірів, міцність зварних швів, стабільність взаємного розташування монтажних поверхонь і мінімальні залишкові деформації після зварювання.

Рама повинна виготовлятися відповідно до робочих креслень, технічної документації, технологічного процесу, вимог до зварних конструкцій і чинних нормативних документів, які регламентують якість зварювання, допуски на розміри та порядок контролю. Усі відхилення від креслень або технологічної документації допускаються тільки після погодження з відповідальною технічною службою.

Основним матеріалом для виготовлення зварної частини рами є конструкційна сталь S355J2+N. Усі листові заготовки, прокат, напівфабрикати та комплектувальні деталі, що надходять у виробництво, повинні мати сертифікати якості або супровідні документи заводу-постачальника. У документах мають бути зазначені марка сталі, номер плавки, хімічний склад, механічні властивості, стан постачання та відповідність матеріалу встановленим вимогам. Матеріали без підтверджувальної документації не допускаються до виготовлення рами без попередньої перевірки та випробувань.

Заготовки для виготовлення елементів рами повинні відповідати розмірам, зазначеним у кресленнях. Перед подачею на складання деталі мають бути очищені, виправлені та перевірені за основними геометричними параметрами. Неплощинність і непрямолінійність листових елементів не повинні перевищувати 3 мм на 1 м довжини, якщо в кресленні не встановлено жорсткіших вимог. На

поверхнях, що підлягають зварюванню, не допускається наявність іржі, окалини, мастила, вологи, фарби, бруду та інших забруднень.

Кромки деталей повинні бути підготовлені відповідно до типу зварного з'єднання, товщини металу та способу зварювання. Задирки, напливи після термічного різання, гострі нерівності та забруднення мають бути видалені механічним способом. Перед складанням необхідно перевірити правильність підготовки кромок, величину зазорів, притуплення, кут розкриття та взаємне розташування деталей. Зазори у стиках і таврових з'єднаннях повинні відповідати вимогам креслення та технологічної карти.

Складання рами необхідно виконувати у спеціальному складально-зварювальному пристосуванні або на стенді, який забезпечує точне базування передньої та задньої напіврам, поперечин, кронштейнів, опорних плит і шарнірного вузла. Пристосування повинно запобігати зміщенню деталей під час прихвачування та зварювання, а також забезпечувати збереження основних розмірів виробу. Встановлення деталей “по місцю” без базування у пристосуванні не допускається для відповідальних елементів рами.

Під час складання необхідно забезпечити правильне взаємне розташування осей, отворів, опорних площин і кронштейнів. Особливу увагу слід приділяти шарнірному вузлу, кронштейнам кріплення гідроциліндрів, елементам встановлення тягової рами, поперечинам і опорним плитам двигуна. Відхилення у цих зонах можуть призвести до порушення роботи механізмів, перекосу напіврам, підвищеного зношування пальців і втулок, а також до появи додаткових напружень у зварних з'єднаннях.

Прихвачування деталей повинно виконуватися тим самим способом зварювання і з використанням тих самих або сумісних зварювальних матеріалів, що й основне зварювання. Прихватки мають бути очищені від шлаку, бризок і дефектних ділянок. Не допускаються прихватки з тріщинами, порами, підрізами або непроварами. Дефектні прихватки необхідно видалити механічним способом і виконати повторно.

Конструкція рами повинна забезпечувати зручний доступ зварювального пальника до всіх швів. У зоні виконання шва має бути забезпечена можливість спостереження за зварювальною ванною, стабільного ведення дуги та правильного формування валика. За можливості зварювання слід виконувати у нижньому або зручному просторовому положенні, оскільки це сприяє кращому формуванню шва, підвищенню продуктивності та зниженню ймовірності дефектів.

Зварювання рами необхідно виконувати за затвердженою технологічною картою. У ній мають бути вказані спосіб зварювання, марка зварювального дроту, захисне середовище, діаметр електродного дроту, сила струму, напруга дуги, швидкість зварювання, кількість проходів, порядок накладання швів і вимоги до міжпрохідного очищення. Самовільна зміна режимів зварювання не допускається, оскільки це може призвести до непровару, перегріву металу, підвищених деформацій або зниження механічних властивостей зварного з'єднання.

Для зменшення залишкових напружень і деформацій зварювання рами слід виконувати у раціональній послідовності. Насамперед зварюються менш відповідальні та симетрично розташовані шви, після чого виконуються шви основних силових елементів. Рекомендується застосовувати чергування швів з протилежних боків конструкції, зварювання від середини до країв, а також поетапний контроль геометрії після виконання найбільш протяжних швів. Не допускається скупчення великої кількості швів в одній зоні без конструктивного або технологічного обґрунтування.

Зварні шви рами повинні мати плавний перехід до основного металу, рівномірну ширину, правильну форму валика та необхідний катет відповідно до креслення. Не допускаються тріщини, непровари, прожоги, підрізи, напливи, кратери, шлакові включення, пори та інші дефекти, що перевищують допустимі норми. У відповідальних зонах, зокрема біля шарнірного вузла, кронштейнів гідроциліндрів, поперечин і опорних плит, якість швів повинна контролюватися особливо ретельно.

Після завершення зварювання необхідно виконати очищення швів і прилеглих поверхонь від бризок металу, шлаку, окалини та технологічних

забруднень. Місця початку і закінчення швів, зони перетину швів та ділянки з підвищеною концентрацією напружень підлягають додатковому огляду. Виявлені дефекти повинні бути видалені механічним способом із подальшим повторним зварюванням відповідно до технологічних вимог.

Правлення рами після зварювання допускається лише за умови збереження міцності зварних з'єднань і відсутності пошкодження основного металу. виправлення деформацій повинно виконуватися контрольованим способом, без різкого локального перегріву та без утворення тріщин. Після правлення необхідно повторно перевірити основні розміри, прямолінійність, положення кронштейнів, співвісність отворів і якість зварних з'єднань у зонах, які зазнавали впливу під час виправлення.

Основні контрольовані параметри рами автогрейдера GR1003 наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні технічні вимоги до виготовлення рами автогрейдера GR1003

<i>Контрольований параметр</i>	<i>Вимога</i>
Загальна довжина рами	5850 мм згідно з кресленням
Довжина передньої напіврами	3500 мм
Довжина задньої напіврами	2350 мм
Максимальна ширина рами	420 мм
Максимальна висота перерізу	320 мм
Непрямолінійність елементів	не більше 3 мм на 1 м довжини
Стан кромки перед зварюванням	без іржі, окалини, мастила, вологи та забруднень
Складання вузлів	у складально-зварювальному пристосуванні або на спеціальному стенді
Якість зварних швів	без тріщин, непроварів, прожогів, недопустимих пор і подрізів
Контроль після зварювання	перевірка геометрії, візуально-вимірний контроль, неруйнівний контроль відповідальних зон
Правлення після зварювання	допускається за умови збереження міцності швів і геометрії виробу

Контроль якості рами повинен виконуватися на всіх етапах виробництва: під час вхідного контролю матеріалів, перевірки заготовок, складання, прихватування, зварювання, очищення швів, правлення та остаточного приймання

виробу. Вхідний контроль передбачає перевірку сертифікатів матеріалів, марки сталі, товщини прокату та стану поверхні. Операційний контроль включає перевірку розмірів деталей, якості підготовки кромок, правильності складання, величини зазорів і положення прихваток. Після зварювання виконується контроль зовнішнього вигляду швів, геометричних розмірів рами та стану відповідальних з'єднань.

Для оцінювання якості зварних з'єднань застосовується візуально-вимірний контроль. У найбільш відповідальних місцях, зокрема у зоні шарнірного вузла, кронштейнів кріплення гідроциліндрів, опорних плит і поперечин, додатково може застосовуватися неруйнівний контроль. Його використання дозволяє виявити внутрішні дефекти, які не визначаються зовнішнім оглядом, але можуть знизити довговічність і безпечність конструкції під час експлуатації.

Готова рама повинна відповідати вимогам креслення за розмірами, формою, взаємним розташуванням елементів і якістю зварних з'єднань. На виробі або в супровідній документації має бути зазначена інформація про виконавця зварювання, дату виготовлення, результати контролю та відповідність виробу технічним вимогам. Рама, яка має недопустимі дефекти або відхилення геометрії, не може бути передана на подальше складання автогрейдера без усунення невідповідностей і повторної перевірки [1, 5-11].

Технічні умови спрямовані на забезпечення точності складання, стабільності геометричних параметрів, високої якості зварних з'єднань і надійності виробу під час експлуатації. Дотримання встановлених вимог дає змогу отримати міцну і довговічну рамну конструкцію, здатну працювати в умовах згинальних, крутих, ударних і вібраційних навантажень.

1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення зварного виробу

Базовий технологічний процес виготовлення рами автогрейдера GR1003 охоплює комплекс заготівельних, складальних, зварювальних, контрольних і завершальних операцій. Рама є просторовою зварною металоконструкцією значної довжини, до складу якої входять передня та задня напіврами, поздовжні балки,

поперечини, шарнірний вузол, кронштейни, опорні плити, ребра жорсткості й підсилювальні накладки. Тому виготовлення такого виробу не може розглядатися як проста послідовність з'єднання окремих деталей. Для отримання якісної рамної конструкції необхідно забезпечити точне базування елементів, правильну підготовку кромek, раціональну послідовність складання, стабільні режими зварювання та постійний контроль геометрії.

У типовому варіанті технологічний процес виготовлення рами починається з вхідного контролю металопрокату. Листовий матеріал зі сталі S355J2+N перевіряють за сертифікатами якості, маркою сталі, товщиною, станом поверхні та відповідністю механічних властивостей вимогам креслення. Після цього листи подаються на очищення, розкрій і підготовку заготовок. Основні елементи рами виготовляють із листового прокату товщиною 10–16 мм, а найбільш навантажені деталі, зокрема щок шарнірного вузла, кронштейни гідроциліндрів і підсилювальні накладки, — з листів товщиною 20–30 мм.

Заготівельний етап у базовому процесі передбачає розкрій листів на окремі деталі, вирізання отворів, підготовку контурів, зачищення крайок і, за потреби, механічну обробку посадкових поверхонь. Найчастіше для розкрою застосовують термічне різання, оскільки воно забезпечує високу продуктивність під час виготовлення деталей складної форми. Проте при недостатньому контролі якості різання на крайках можуть залишатися задирки, окалина, місцеві підплавлення та нерівності. Якщо такі дефекти не видалити перед складанням, вони можуть погіршити формування зварного шва, спричинити непровари, пористість або нестабільне горіння дуги. Особливо це важливо для товстолистових елементів шарнірного вузла і кронштейнів, де якість з'єднань безпосередньо впливає на довговічність рами.

Після розкрою заготовки підлягають правленню, маркуванню та сортуванню за складальними одиницями. Для рами автогрейдера доцільним є поділ виробу на окремі вузли: передню напівраму, задню напівраму, шарнірний вузол, поперечини, кронштейни робочого обладнання та опорні елементи. Такий поділ спрощує організацію виробництва, дозволяє виконувати частину операцій паралельно на

різних робочих місцях і зменшує тривалість загального виробничого циклу. Водночас у базових технологічних процесах цей принцип не завжди реалізується повною мірою. Часто окремі елементи рами збираються без достатньої попередньої вузлової підготовки, що збільшує обсяг ручного підганяння під час остаточного складання.

Одним із основних недоліків традиційного процесу виготовлення рам автогрейдерів є значна частка ручних складальних операцій. Рама GR1003 має видовжену форму, змінний переріз, шарнірну зону та велику кількість приварюваних кронштейнів. Навіть незначне зміщення одного з елементів під час складання може спричинити порушення співвісності отворів, перекіс напіврам, неточність встановлення гідроциліндрів або зміну положення опорних плит. У разі використання універсальних стендів або недостатньо жорстких пристосувань значно зростає потреба в ручному контролі, тимчасових підкладках, підтисканні деталей і додатковому рихтуванні після зварювання.

Особливо відповідальною є операція складання передньої напіврами. Вона має довжину 3500 мм і сприймає основні зусилля від робочого обладнання, тягової рами та гідравлічних механізмів. У базовому процесі передня напіврама зазвичай складається з поздовжніх листових елементів, поперечин, кронштейнів і підсилювальних деталей. Якщо складання виконується без спеціального базування, виникає ризик викривлення поздовжньої осі, нерівномірності зазорів у стиках і неточного розташування вушок кріплення. Такі відхилення надалі ускладнюють встановлення шарнірного вузла і можуть призвести до появи додаткових напружень під час експлуатації машини.

Задня напіврама довжиною 2350 мм також потребує високої точності виготовлення, оскільки на ній розміщуються двигун, трансмісія, кабіна, задній міст та допоміжні системи. У базових процесах часто недостатньо уваги приділяється точності встановлення опорних плит і монтажних площадок. Унаслідок цього після зварювання може виникати необхідність у додатковій механічній обробці, свердлінні або розточуванні отворів за місцем. Такий підхід збільшує

трудомісткість виробництва і знижує стабільність повторюваності конструкції в серійному або дрібносерійному виготовленні.

Найбільш складним вузлом рами є шарнірне з'єднання передньої та задньої напіврам. Воно працює під дією згинальних, крутних і контактних навантажень, а також забезпечує поворот частин автогрейдера одна відносно одної. У базовому процесі виготовлення цього вузла часто виникають труднощі із забезпеченням співвісності отворів, паралельності щік і точності встановлення втулок. Якщо ці параметри не витримані, під час експлуатації можливе нерівномірне навантаження пальця, прискорене зношування втулок, утруднений поворот напіврам і поява тріщин біля зварних швів.

Суттєвим недоліком базового технологічного процесу є недостатньо обґрунтована послідовність зварювання. Конструкція рами містить довгі кутові, таврові та стикові шви, розташовані на елементах різної товщини. Під час зварювання відбувається нерівномірне нагрівання і охолодження металу, внаслідок чого виникають залишкові напруження та деформації. Для рамної конструкції це проявляється у вигляді прогину поздовжніх балок, перекосу поперечин, зміщення кронштейнів, порушення співвісності отворів і зміни положення шарнірного вузла. Якщо зварювання виконується без чергування швів і без проміжного контролю геометрії, після завершення процесу зростає обсяг правлення.

У базових технологіях зварювання рам часто переважає ручне або напівавтоматичне зварювання у середовищі захисних газів без достатнього рівня механізації. Такий спосіб залишається універсальним і зручним для коротких швів, кронштейнів, ребер жорсткості та важкодоступних ділянок. Однак під час виконання довгих прямолінійних швів основних балок якість значною мірою залежить від кваліфікації зварника, рівномірності переміщення пальника, стабільності вильоту електродного дроту та дотримання заданого тепловкладення. Унаслідок цього можливі коливання ширини шва, нерівномірний провар, подрізи, напливи та збільшення розбризкування металу.

Недоліком базового процесу є також недостатня деталізація режимів зварювання для різних груп з'єднань. У рамі автогрейдера присутні з'єднання

листів товщиною 10–16 мм, а також вузли з деталями товщиною 20–30 мм. Використання однакових режимів для всіх швів є технологічно неправильним, оскільки для тонших елементів це може спричинити перегрів і деформації, а для масивних деталей — недостатній провар. Тому режими зварювання повинні встановлюватися окремо для стикових, таврових і кутових з'єднань з урахуванням товщини металу, просторового положення шва, довжини проходу і відповідальності вузла.

Окремою проблемою є зварювання в зоні шарнірного вузла. Тут поєднуються товсті листові елементи, щоки, втулкові вузли, підсилювальні накладки та ребра жорсткості. Таке скупчення металу сприяє підвищенню жорсткості вузла і збільшує ризик утворення залишкових напружень. Якщо зварювання виконувати без попереднього технологічного планування, можливе виникнення тріщин, місцевого перегріву, непроварів у кореневих ділянках або зміщення щік після охолодження. Тому саме шарнірний вузол потребує найбільш жорсткого контролю складання, прихвачування, режимів зварювання та послідовності накладання швів.

У базовому процесі часто недостатньо враховується необхідність поетапного контролю геометрії. Контроль готової рами лише після завершення всіх зварювальних операцій є недостатньо ефективним, оскільки значні відхилення, виявлені на кінцевому етапі, складно усунути без додаткового правлення або переробки окремих вузлів. Для рамної конструкції необхідно контролювати геометрію після складання передньої напіврами, після складання задньої напіврами, після прихвачування шарнірного вузла, після зварювання основних швів і після остаточного очищення. Такий підхід дозволяє своєчасно виявити зміщення елементів і усунути їх до того, як вони стануть критичними.

Завершальні операції базового процесу включають очищення зварних швів, видалення бризок, правлення деформацій, контроль якості, підготовку поверхні до фарбування і здавання виробу на подальше складання автогрейдера. Проте в існуючих процесах очищення і контроль інколи виконуються формально, без достатнього розмежування відповідальних і допоміжних зон. Для рами автогрейдера найбільшу увагу слід приділяти швам біля шарнірного вузла,

кронштейнів гідроциліндрів, поперечин, опорних плит двигуна та кріплення заднього моста. Саме ці ділянки працюють при найбільш складному напруженому стані.

Недостатньо ефективною у базовому технологічному процесі може бути система контролю якості зварних з'єднань. Використання лише візуально-вимірjuвального контролю не завжди дозволяє виявити внутрішні дефекти, зокрема непровари, пори, шлакові включення або несплавлення. Для допоміжних швів такий контроль може бути достатнім, однак для відповідальних з'єднань шарнірного вузла, кронштейнів робочого обладнання і поперечин необхідно передбачати додаткові методи неруйнівного контролю. Це дозволяє підвищити надійність конструкції і зменшити ризик передчасного руйнування під час експлуатації.

Аналіз базового технологічного процесу показує, що його основними недоліками є висока частка ручних складальних операцій, значна залежність якості від кваліфікації виконавців, недостатня жорсткість універсального оснащення, ризик порушення геометрії під час зварювання, недостатній контроль деформацій, відсутність чіткого розподілу режимів зварювання для різних типів з'єднань і обмежене застосування неруйнівного контролю в найбільш відповідальних зонах. У сукупності ці фактори можуть збільшувати трудомісткість виготовлення, підвищувати обсяг виправних робіт і знижувати стабільність якості готової рами.

Для вдосконалення технологічного процесу виготовлення рами автогрейдера GR1003 необхідно насамперед підвищити рівень технологічної підготовки виробництва. Раму слід виготовляти не як єдину складну конструкцію з початку до кінця, а за вузловим принципом: окремо формувати передню напівраму, задню напівраму, шарнірний вузол, поперечини та кронштейни, після чого виконувати їх остаточне складання на спеціальному стенді. Такий підхід зменшує кількість одночасно контрольованих параметрів, покращує доступ до швів і дає можливість виконувати частину операцій паралельно.

Важливим напрямом удосконалення є використання спеціалізованого складально-зварювального стенда для рами. Такий стенд повинен забезпечувати

фіксацію поздовжніх балок, точне встановлення поперечин, базування шарнірного вузла, контроль положення кронштейнів і запобігання зміщенню деталей під час прихвачування. Наявність механічних, пневматичних або гідравлічних притискачів дозволить зменшити обсяг ручного підганяння, підвищити повторюваність розмірів і скоротити час складання. Для шарнірного вузла необхідно застосовувати окремі базувальні оправки, які забезпечують співвісність отворів і правильне положення щік.

Для виконання довгих прямолінійних швів основних балок раціональним є застосування механізованого або автоматизованого MAG-зварювання із стабілізованими параметрами режиму. Такий спосіб дозволяє зменшити вплив людського фактора, забезпечити рівномірну швидкість переміщення пальника і стабільне формування шва. Для коротких швів, кронштейнів, ребер жорсткості та важкодоступних ділянок доцільно залишити механізоване MAG-зварювання ручним переміщенням пальника, оскільки воно забезпечує необхідну гнучкість під час роботи з просторовими вузлами.

Під час розроблення вдосконаленого процесу необхідно передбачити раціональну послідовність зварювання. Основні шви повинні виконуватися симетрично, з чергуванням ділянок на протилежних сторонах рами. Протяжні шви доцільно виконувати від середини до країв або ділянками з проміжним контролем геометрії. Такий порядок дозволяє зменшити залишкові деформації, уникнути перекосу напіврам і забезпечити стабільність положення шарнірного вузла. У місцях значного скупчення швів необхідно обмежувати тепловкладення і контролювати міжпрохідну температуру.

Удосконалений технологічний процес повинен передбачати посилений контроль якості на всіх стадіях виготовлення. До початку зварювання необхідно контролювати матеріал, геометрію заготовок, якість підготовки кромки і точність складання. У процесі зварювання потрібно перевіряти відповідність режимів технологічній карті, якість прихваток, послідовність накладання швів і стан міжпрохідного очищення. Після зварювання необхідно виконати візуально-

вимірювальний контроль усіх швів, перевірку геометрії рами, а для відповідальних зон — неруйнівний контроль.

Найбільш раціональним напрямом удосконалення є перехід до вузлового складання, застосування спеціального складально-зварювального стенда, використання механізованого та автоматизованого МАГ-зварювання, розроблення окремих режимів для різних груп швів і впровадження поетапного контролю геометрії. Реалізація цих заходів дозволить знизити трудомісткість виготовлення, підвищити стабільність розмірів і забезпечити надійність рами під час експлуатації автогрейдера.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Вибір способу зварювання для виготовлення рами автогрейдера GR1003 необхідно виконувати з урахуванням конструктивних особливостей виробу, марки основного металу, товщини зварюваних елементів, просторового положення швів, вимог до міцності з'єднань та умов виробництва. Рама автогрейдера є відповідальною просторовою металоконструкцією, що працює під дією згинальних, крутних, динамічних і вібраційних навантажень. Тому спосіб зварювання повинен забезпечувати високу якість швів, достатню продуктивність, стабільність режимів і можливість виконання з'єднань у різних просторових положеннях.

Основним матеріалом рами прийнято конструкційну сталь S355J2+N. Вона належить до сталей підвищеної міцності та добре зварюється за умови правильного вибору зварювальних матеріалів, режимів і тепловкладення. У конструкції рами застосовуються листові елементи товщиною 10–16 мм, а в найбільш навантажених зонах, зокрема в ділянці шарнірного вузла, кронштейнів і підсилювальних накладок, товщина деталей може становити 20–30 мм. Це потребує застосування такого способу зварювання, який дозволяє отримати достатній провар, рівномірне формування шва та стабільні механічні властивості зварного з'єднання.

Для виготовлення рами автогрейдера теоретично можуть застосовуватися кілька способів зварювання: ручне покритими електродами, неплавким електродом, зварювання під флюсом та механізоване у середовищі захисних газів.

Ручне покритими електродами є універсальним способом і може застосовуватися для ремонтних робіт або виконання коротких швів у важкодоступних місцях. Однак для виготовлення рами автогрейдера як основний спосіб воно є менш раціональним. Його продуктивність порівняно невисока, якість шва значною мірою залежить від кваліфікації зварника, а під час роботи необхідно часто замінювати електроди та видаляти шлакову кірку. Крім того, при виконанні довгих швів важко забезпечити стабільність параметрів дуги, однакову ширину валика і рівномірне тепловкладення. Це може призвести до збільшення деформацій та нерівномірності якості з'єднань.[5]

Зварювання неплавким електродом забезпечує високу якість шва, добре контрольовану зварювальну ванну і мінімальну кількість бризок. Проте для виготовлення великогабаритної рамної конструкції зі сталі S355J2+N цей спосіб не є економічно доцільним. Він має нижчу продуктивність, потребує ретельнішої підготовки деталей і частіше застосовується для тонколистових конструкцій, нержавіючих сталей, алюмінієвих, титанових та інших спеціальних сплавів. Для рами автогрейдера, де переважають з'єднання середньої та значної товщини, використання такого способу призвело б до збільшення трудомісткості і собівартості виготовлення.

Автоматичне під флюсом має високу продуктивність і забезпечує якісне формування протяжних прямолінійних швів. Його доцільно застосовувати для довгих стикових або кутових з'єднань, які розташовані в зручному нижньому положенні. Однак рама автогрейдера GR1003 має складну просторову форму, велику кількість кронштейнів, ребер, коротких швів і вузлів із обмеженим доступом. У таких умовах застосування зварювання під флюсом ускладнюється, оскільки флюс потребує горизонтального або близького до нього положення шва, а контроль положення електродного дроту в зоні з'єднання є складнішим. Тому цей спосіб може бути ефективним лише для окремих прямолінійних швів, але не для всього технологічного процесу виготовлення рами.

Найбільш раціональним способом для виготовлення рами автогрейдера GR1003 є механізоване у середовищі захисних газів, тобто MAG-зварювання (рис. 2.1). При цьому електродний дріт подається в зону дуги механізовано, а захисний газ ізолює зварювальну ванну від впливу повітря. Такий спосіб забезпечує високу продуктивність, стабільне формування шва, добрий провар, можливість виконання з'єднань у різних просторових положеннях і достатню технологічну гнучкість під час зварювання рамних конструкцій складної форми. [5]

Для виготовлення рами доцільно застосовувати MAG-зварювання не в чистому вуглекислому газі, а в газовій суміші групи M21. Використання такої суміші забезпечує стабільніше горіння дуги, менше розбризкування металу, кращу форму шва і плавніший перехід наплавленого металу до основного металу. Це особливо важливо для зварювання рами, оскільки після виконання швів необхідно

забезпечити не тільки міцність з'єднань, а й мінімальний обсяг зачищення, стабільну геометрію та зменшення концентрації напружень у переходах від шва до основного металу.

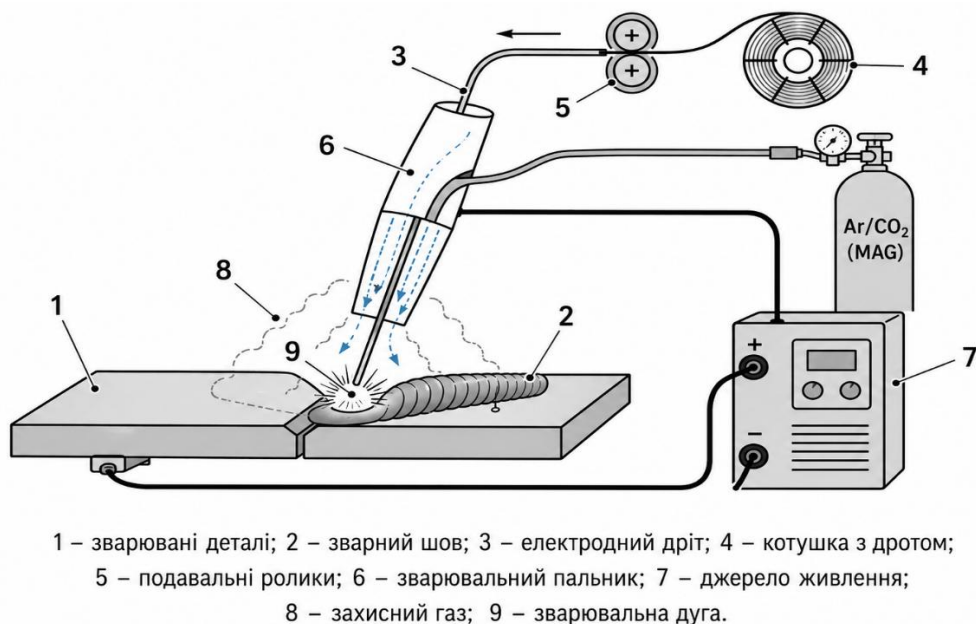


Рис. 2.1 – Схема MAG-зварювання

Для зварювання сталі S355J2+N приймається суцільний зварювальний дріт типу G3Si1 за EN ISO 14341-A. За міжнародною класифікацією цей дріт близький до ER70S-6 і призначений для зварювання низьковуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей у середовищі захисних газів. Наявність марганцю і кремнію у складі дроту сприяє розкисленню металу шва, покращує його формування та забезпечує необхідні механічні властивості зварного з'єднання. [12-14]

Для основних швів рами доцільно застосовувати дріт діаметром 1,2 мм, а для з'єднань більшої товщини та відповідальних вузлів, зокрема в зоні шарнірного з'єднання і кронштейнів, — дріт діаметром 1,6 мм. Вибір діаметра залежить від товщини деталей, положення шва, необхідного катета, кількості проходів і прийнятого режиму зварювання. Застосування дроту G3Si1 у суміші M21 дозволяє отримати метал шва з достатньою міцністю, пластичністю та стійкістю до утворення гарячих тріщин. Хімічний склад зварювального дроту G3Si1 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Орієнтовний хімічний склад зварювального дроту G3Si1, % [12]

Марка дроту	C	Si	Mn	P	S
G3Si1	0,06–0,14	0,70–1,00	1,30–1,60	до 0,025	до 0,025

До переваг MAG-зварювання у газовій суміші M21 для виготовлення рами автогрейдера GR1003 належать висока продуктивність процесу, механізована подача електродного дроту, стабільність горіння дуги, можливість зварювання елементів різної товщини, зменшене розбризкування металу порівняно зі зварюванням у чистому CO₂, а також висока якість формування кутових, таврових і стикових швів. Крім того, цей спосіб дає змогу краще контролювати тепловкладення, що є важливим для зниження залишкових деформацій рамної конструкції.

Разом з тим MAG-зварювання потребує якісної підготовки поверхонь, стабільної подачі дроту, правильного вибору витрати захисного газу та захисту зони зварювання від протягів. За недостатньої витрати газу або порушення захисту зварювальної ванни можуть виникати пори, окиснення металу шва та погіршення механічних властивостей з'єднання. Тому під час виготовлення рами необхідно контролювати параметри режиму, стан пальника, виліт електродного дроту, якість очищення кромки і стабільність подавання газової суміші.

Для забезпечення необхідної якості зварних з'єднань рами автогрейдера GR1003 необхідно обґрунтовано визначити основні параметри режиму MAG-зварювання. До таких параметрів належать діаметр електродного дроту, сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість подачі дроту, швидкість зварювання, виліт електродного дроту, витрата захисного газу та кількість проходів. Правильно підібрані режими зварювання забезпечують потрібну глибину проплавлення, стабільне формування валика, рівномірне заповнення з'єднання, зменшення розбризкування металу та обмеження залишкових деформацій рамної конструкції.

У конструкції рами автогрейдера переважно застосовуються кутові, таврові та стикові з'єднання. Найбільш відповідальними є шви поздовжніх балок, поперечин, шарнірного вузла, кронштейнів кріплення гідроциліндрів, опорних плит, ребер жорсткості та підсилювальних накладок. Саме ці ділянки під час експлуатації сприймають згинальні, крутні, ударні та вібраційні навантаження, тому параметри режиму зварювання для них повинні забезпечувати достатню міцність, пластичність і надійність зварних з'єднань.

Для основних швів рами доцільно виконувати розрахунок за характерними групами з'єднань, оскільки в різних зонах конструкції застосовуються шви різного катета та різної відповідальності. У даному розрахунку основні зварні шви рами поділяємо на три характерні групи: шов №1 з катетом 6 мм, шов №2 з катетом 8 мм і шов №3 з катетом 10 мм. Шов №1 застосовується для приварювання ребер жорсткості та підсилювальних накладок; шов №2 — для з'єднання поздовжніх балок і поперечин; шов №3 — для найбільш відповідальних ділянок, зокрема шарнірного вузла та кронштейнів, які сприймають значні зосереджені навантаження. Для швів великого катета передбачається багатопрохідне виконання, що дає змогу уникнути надмірного зварювального струму, зменшити тепловкладення за один прохід і покращити формування металу шва. Розрахунок режимів MAG-зварювання виконуємо для кутових швів без урахування випуклості. Такий підхід дає змогу визначити основні технологічні параметри процесу. [15]

Таблиця 2.2 Вихідні дані для розрахунку

Найменування параметра	Позначення	Значення
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 дроту	ρ	$7800 \text{ кг}/\text{м}^3$
Розрахункова густина струму	j	$180 \text{ А}/\text{мм}^2$
Коефіцієнт витрат дроту з урахуванням втрат	$K_{\text{др}}$	1,12
Витрата захисного газу	$q_{\text{г}}$	$18 \text{ л}/\text{хв} = 1,08 \text{ м}^3/\text{год}$
Коефіцієнт корисної дії джерела живлення	η	0,85
Коефіцієнт допоміжного часу	$K_{\text{ч}}$	1,35

Розрахунок режиму для шва №1. Для шва №1 приймаємо катет $k = 6 \text{ мм}$ і кількість проходів $n = 1$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу становить

$$F_{\text{н}} = \frac{k^2}{2} = \frac{6^2}{2} = 18 \text{ мм}^2.$$

Оскільки шов виконується за один прохід,

$$F_{\text{п}} = F_{\text{н}} = 18 \text{ мм}^2.$$

Розрахунковий катет одного проходу становить

$$k_{\Pi} = \sqrt{2F_{\Pi}} = \sqrt{2 \cdot 18} = 6 \text{ мм.}$$

Висота наплавленого металу дорівнює

$$h_{\Pi} = \sqrt{F_{\Pi}} = \sqrt{18} = 4,24 \text{ мм.}$$

Ширина шва становить

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

Загальна висота шва дорівнює

$$H = \frac{e}{\psi_{\text{пр}}} = \frac{8,49}{0,8} = 10,61 \text{ мм.}$$

Глибина проплавлення основного металу становить

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

Сила зварювального струму дорівнює

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_0}{K_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{6,37}{1,75} \cdot 100 = 363,7 \text{ А.}$$

Приймаємо стандартне значення $I_{\text{зв}} = 360 \text{ А.}$

Розрахунковий діаметр електродного дроту становить

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

Для виконання шва №1 приймаємо стандартний діаметр дроту $d_{\text{ел}} = 1,6 \text{ мм.}$

Напруга на дузі становить

$$U_{\text{д}} = 14 + 0,05I_{\text{зв}} = 14 + 0,05 \cdot 360 = 32 \text{ В.}$$

Швидкість подачі електродного дроту дорівнює

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 360}{3,14 \cdot 0,0016^2 \cdot 7800} = 275,5 \text{ м/год.}$$

Швидкість зварювання становить

$$V_{\text{зв}} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 360}{18 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 30,77 \text{ м/год.}$$

Розрахунок режиму для шва №2. Для шва №2 приймаємо катет $k = 8 \text{ мм.}$ З метою обмеження тепловкладення шов виконуємо за два проходи, тобто $n = 2$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу становить

$$F_{\text{н}} = \frac{k^2}{2} = \frac{8^2}{2} = 32 \text{ мм}^2.$$

Площа металу одного проходу дорівнює

$$F_{\Pi} = \frac{F_H}{n} = \frac{32}{2} = 16 \text{ мм}^2.$$

Розрахунковий катет одного проходу становить

$$k_{\Pi} = \sqrt{2F_{\Pi}} = \sqrt{2 \cdot 16} = 5,66 \text{ мм.}$$

Висота наплавленого металу одного проходу дорівнює

$$h_H = \sqrt{F_{\Pi}} = \sqrt{16} = 4 \text{ мм.}$$

Ширина шва одного проходу становить

$$e = \sqrt{2k_{\Pi}^2} = \sqrt{2 \cdot 5,66^2} = 8 \text{ мм.}$$

Загальна висота шва дорівнює

$$H = \frac{e}{\psi_{\text{пр}}} = \frac{8}{0,8} = 10 \text{ мм.}$$

Глибина проплавлення основного металу становить

$$h_0 = H - h_H = 10 - 4 = 6 \text{ мм.}$$

Сила зварювального струму дорівнює

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_0}{K_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{6}{1,75} \cdot 100 = 342,9 \text{ А.}$$

Приймаємо стандартне значення $I_{\text{зв}} = 340 \text{ А.}$

Розрахунковий діаметр електродного дроту становить

$$d_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{4I_{\text{зв}}}{\pi j}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 340}{3,14 \cdot 180}} = 1,55 \text{ мм.}$$

Для виконання шва №2 приймаємо стандартний діаметр дроту $d_{\text{ел}} = 1,6 \text{ мм.}$

Напруга на дузі становить

$$U_{\text{д}} = 14 + 0,05I_{\text{зв}} = 14 + 0,05 \cdot 340 = 31 \text{ В.}$$

Швидкість подачі електродного дроту дорівнює

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 340}{3,14 \cdot 0,0016^2 \cdot 7800} = 260,2 \text{ м/год.}$$

Швидкість зварювання одного проходу становить

$$V_{\text{зв}} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 340}{16 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 32,69 \text{ м/год.}$$

Розрахунок режиму для шва №3. Для шва №3 приймаємо катет $k = 10$ мм. Оскільки цей шов застосовується для відповідальних вузлів рами, його виконуємо за три проходи, тобто $n = 3$.

Площа поперечного перерізу наплавленого металу становить

$$F_{\text{н}} = \frac{k^2}{2} = \frac{10^2}{2} = 50 \text{ мм}^2.$$

Площа металу одного проходу дорівнює

$$F_{\text{п}} = \frac{F_{\text{н}}}{n} = \frac{50}{3} = 16,67 \text{ мм}^2.$$

Розрахунковий катет одного проходу становить

$$k_{\text{п}} = \sqrt{2F_{\text{п}}} = \sqrt{2 \cdot 16,67} = 5,77 \text{ мм.}$$

Висота наплавленого металу одного проходу дорівнює

$$h_{\text{н}} = \sqrt{F_{\text{п}}} = \sqrt{16,67} = 4,08 \text{ мм.}$$

Ширина шва одного проходу становить

$$e = \sqrt{2k_{\text{п}}^2} = \sqrt{2 \cdot 5,77^2} = 8,16 \text{ мм.}$$

Загальна висота шва дорівнює

$$H = \frac{e}{\psi_{\text{пр}}} = \frac{8,16}{0,8} = 10,20 \text{ мм.}$$

Глибина проплавлення основного металу становить

$$h_0 = H - h_{\text{н}} = 10,20 - 4,08 = 6,12 \text{ мм.}$$

Сила зварювального струму дорівнює

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_0}{K_{\text{п}}} \cdot 100 = \frac{6,12}{1,75} \cdot 100 = 349,9 \text{ А.}$$

Приймаємо стандартне значення $I_{\text{зв}} = 350$ А.

Розрахунковий діаметр електродного дроту становить

$$d_{\text{ел}} = \sqrt{\frac{4I_{\text{зв}}}{\pi j}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 350}{3,14 \cdot 180}} = 1,57 \text{ мм.}$$

Для виконання шва №3 приймаємо стандартний діаметр дроту $d_{\text{ел}} = 1,6$ мм.

Напруга на дузі становить

$$U_{\text{д}} = 14 + 0,05I_{\text{зв}} = 14 + 0,05 \cdot 350 = 31,5 \text{ В.}$$

Швидкість подачі електродного дроту дорівнює

$$V_{п.д.} = \frac{4 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 350}{3,14 \cdot 0,0016^2 \cdot 7800} = 267,8 \text{ м/год.}$$

Швидкість зварювання одного проходу становить

$$V_{зв} = \frac{12 \cdot 10^{-3} \cdot 350}{16,67 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 32,31 \text{ м/год.}$$

Зведена таблиця режимів MAG-зварювання основних швів

Номер шва	Призначення шва	k, мм	n- проходів	I _{зв} , А	U _д , В	d _{ел} , мм	V _{п.д.} , м/ГОД	V _{зв} , м/ГОД
1	Рєбра жорсткості, підсилювальні накладки	6	1	360	32,0	1,6	275,5	30,77
2	Поздовжні шви балок, поперечини	8	2	340	31,0	1,6	260,2	32,69
3	Шарнірний вузол, відповідальні кронштейни	10	3	350	31,5	1,6	267,8	32,31

Нормування витрат зварювальних матеріалів виконують з метою визначення їх необхідної кількості для виготовлення рами автогрейдера GR1003 та забезпечення раціонального використання виробничих ресурсів. До основних матеріалів, витрати яких підлягають нормуванню, належать зварювальний дріт, захисна газова суміш та електроенергія. Правильно встановлені норми дають змогу оцінити матеріаломісткість зварювальних операцій, зменшити перевитрати дроту й газу, забезпечити стабільність технологічного процесу та обґрунтувати собівартість виготовлення зварної конструкції.

Масу наплавленого металу для одного погонного метра шва

$$m_n = F_n \cdot 10^{-6} \cdot \rho.$$

Нормативну витрату електродного дроту з урахуванням втрат

$$m_{др} = K_{др} \cdot m_n.$$

Основний час зварювання одного погонного метра шва

$$t_o = \frac{n}{V_{зв}}.$$

Витрату захисного газу на один погонний метр шва визначаємо за формулою

$$V_r = q_r \cdot t_o.$$

Витрату електроенергії на один погонний метр шва визначаємо за формулою

$$E = \frac{U_{\text{дзв}} t_0}{1000 \eta}.$$

Нормований час з урахуванням допоміжних витрат визначаємо за формулою

$$T_{\text{н}} = K_{\text{ч}} \cdot t_0.$$

Для нормування витрат приймаємо такі сумарні довжини основних швів: для шва №1 — 12,0 м; для шва №2 — 31,6 м; для шва №3 — 5,6 м.

Таблиця 2.3 – Зведені розрахункові нормовані значення на 1 м

Шов	k , мм	$m_{\text{н}}$, кг/м	$m_{\text{др}}$, кг/м	t_0 , год/м	$V_{\text{г}}$, м ³ /м	E , кВт·год/м
1	6	0,140	0,157	0,0325	0,035	0,440
2	8	0,250	0,280	0,0612	0,066	0,759
3	10	0,390	0,437	0,0929	0,100	1,204

Таблиця 2.4 – Нормовані витрати матеріалів і часу на МАГ-зварювання основних швів рами

Номер шва	Довжина швів, м	Маса наплавленого металу, кг	Витрата дроту, кг	Основний час, год	Нормований час, год	Витрата газу, м ³	Електроенергія, кВт·год
1	12,0	1,68	1,89	0,39	0,53	0,42	5,29
2	31,6	7,89	8,84	1,93	2,61	2,09	23,97
3	5,6	2,18	2,45	0,52	0,70	0,56	6,75

2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування

Після вибору МАГ-зварювання та визначення параметрів режимів для основних швів рами автогрейдера GR1003 необхідно підібрати зварювальне устаткування, яке забезпечить стабільне виконання зварних з'єднань. Прийняте обладнання повинно відповідати розрахованим режимам зварювання, забезпечувати рівномірну подачу електродного дроту, стійке горіння дуги, якісний газовий захист зварювальної ванни та можливість роботи з великогабаритною просторовою рамною конструкцією.

Рама автогрейдера GR1003 є відповідальним зварним виробом, до складу якого входять передня і задня напіврами, поздовжні балки, поперечини, шарнірний вузол, кронштейни, опорні плити, ребра жорсткості та підсилювальні накладки. Під час її виготовлення виконуються кутові, таврові та стикові з'єднання різної довжини й відповідальності. Частина швів є короткими або розміщується в зонах зі

складним доступом, а основні силові шви поздовжніх балок і поперечин мають значну довжину та потребують рівномірного ведення пальника. Тому для виготовлення рами приймається комплект обладнання, який поєднує механізований MAG-пост і рейкову зварювальну каретку для виконання протяжних швів.

Для виконання MAG-зварювання рами автогрейдера GR1003 приймається інверторне джерело живлення Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ (рис. 2.2). Це сучасне промислове джерело живлення, призначене для високопродуктивного MIG/MAG-зварювання конструкційних сталей. Його застосування є обґрунтованим, оскільки обладнання має максимальний зварювальний струм 500 А, що забезпечує необхідний запас відносно розрахованого струму 360 А. Такий запас дозволяє виконувати зварювання без роботи апарата на межі можливостей, що позитивно впливає на стабільність дуги, ресурс обладнання та якість формування шва.

Джерело Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ дає змогу виконувати звичайне, синергетичне та імпульсне MIG/MAG-зварювання. Для рами автогрейдера це має практичне значення, оскільки в конструкції поєднуються елементи різної товщини, а шви відрізняються за довжиною, катетом і доступністю. Електронне керування параметрами процесу дозволяє точніше підтримувати задані значення струму, напруги та швидкості подачі дроту, що зменшує коливання режиму та підвищує повторюваність якості зварних з'єднань.

Для подачі електродного дроту приймається механізм Kemppi X5 Wire Feeder HD300 APC. Він забезпечує стабільну чотирироликову подачу дроту, що є важливою умовою якісного MAG-зварювання. Для даної рами прийнято суцільний дріт G3Si1 діаметром 1,6 мм, тому подаючий механізм повністю відповідає технологічним вимогам. Рівномірна подача електродного дроту забезпечує сталість довжини дуги, зменшує розбризкування металу, покращує формування зварного валика та підвищує стабільність процесу під час виконання довгих і відповідальних швів.

Для механізованого зварювання коротких швів, прихвачування деталей, приварювання кронштейнів, ребер жорсткості, опорних плит і підсилювальних накладок приймається рідинно-охолоджуваний пальник Kemppi Flexlite GX 505W

(рис. 2.3). Вибір пальника з рідинним охолодженням пояснюється тим, що основні режими зварювання рами передбачають роботу на підвищених струмах. Охолодження пальника зменшує перегрів контактного наконечника, газового сопла та шийки пальника, забезпечує стабільність подачі дроту в зону дуги та збільшує ресурс витратних елементів.



Рис. 2.2 – Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ [16-18]



Рис. 2.3 – Рідинно-охолоджуваний пальник Kemppi Flexlite GX 505W [19-20]

Для виконання протяжних прямолінійних швів поздовжніх балок і поперечин рами приймається рейкова зварювальна каретка Kemppi A3 MIG Rail System 2500 (рис. 2.4). Каретка не є самостійним зварювальним апаратом, а виконує функцію керованого переміщення пальника вздовж заданої траєкторії. Завдяки цьому забезпечується постійна швидкість зварювання, рівномірне тепловкладення, стабільна ширина шва та повторювана якість з'єднань.

Рейкова каретка Kemppi A3 MIG Rail System 2500 застосовується для швів поздовжніх балок, поперечин і протяжних підсилювальних елементів рами. Під час ручного ведення пальника на таких ділянках можливі коливання швидкості зварювання, зміна вильоту електродного дроту та нерівномірне формування шва. Кероване переміщення пальника по напрямній рейці забезпечує стабільну траєкторію руху, що особливо важливо для швів із катетом 8 мм, які мають найбільшу сумарну довжину в конструкції рами автогрейдера GR1003.

Застосування рейкової каретки також сприяє зменшенню залишкових деформацій, оскільки зварювання виконується з більш рівномірною швидкістю і стабільним тепловим впливом на метал. Це має важливе значення для рамної конструкції, де необхідно зберегти прямолінійність поздовжніх балок, правильне положення поперечин і точність розташування шарнірного вузла.

Крім основного зварювального обладнання, до складу зварювальної дільниці входить 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 механічних властивостей зварного з'єднання.

Основні технічні характеристики прийнятого обладнання наведено в таблицях 2.4-2.7.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ [16]

<i>Параметр</i>	<i>Значення</i>
Тип обладнання	інверторне джерело живлення для MIG/MAG-зварювання
Модель	Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+
Напруга мережі	3~ 380–460 В
Частота мережі	50/60 Гц
Максимальний зварювальний струм	500 А
Зварювальний струм при ПВ 60 %	500 А
Діапазон MIG/MAG-зварювання	15–500 А
Діапазон регулювання напруги MIG/MAG	8–50 В

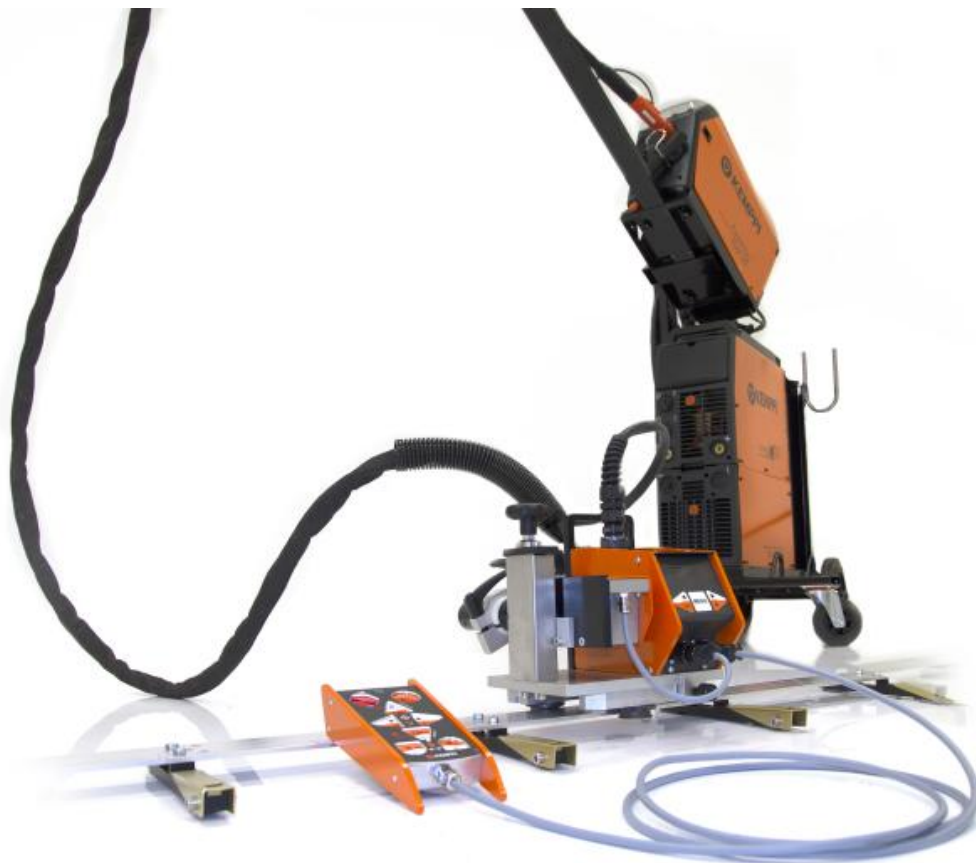


Рис. 2.4 – Рейкова зварювальна каретка Kemppi A3 MIG Rail System 2500 [21]

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики Kemppi X5 Wire Feeder HD300 APC [18]

Параметр	Значення
Тип обладнання	механізм подачі електродного дроту
Модель	Kemppi X5 Wire Feeder HD300 APC
Механізм подачі	чотирироликівий
Діаметр сталевого дроту	0,8–2,0 мм
Прийнятий діаметр дроту для рами	1,6 мм
Швидкість подачі дроту	0,5–25 м/хв
Максимальна маса котушки	20 кг
Максимальний діаметр котушки	300 мм

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики пальника Kemppi Flexlite GX 505W [19]

Параметр	Значення
Тип обладнання	рідинно-охолоджуваний MIG/MAG-пальник
Модель	Kemppi Flexlite GX 505W
Спосіб зварювання	MIG/MAG
Допустиме навантаження в Ar + 18 % CO ₂	500 А при ПВ 100 %
Тип охолодження	рідинне
Діаметр дроту	0,8–1,6 мм
Прийнятий діаметр дроту	1,6 мм
Довжина пальника	3,5 або 5 м

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики Kemppi A3 MIG Rail System 2500 [21]

Параметр	Значення
Тип обладнання	рейкова каретка для механізованого MIG/MAG-зварювання
Модель	Kemppi A3 MIG Rail System 2500
Призначення	механізоване виконання прямолінійних зварних швів
Основна сфера застосування	MIG/MAG-зварювання довгих швів без коливання пальника
Можливість додаткового використання	термічне різання з плазмовим або газовим пальником
Тип переміщення	по алюмінієвій напрямній рейці
Довжина рейки	2500 мм
Швидкість переміщення каретки	5–100 см/хв
Живлення каретки	18 В постійного струму, акумулятор
Орієнтовний час роботи від акумулятора	до 8 год
Тип акумулятора	BL1840
Габаритні розміри каретки	330 × 290 × 250 мм
Маса каретки з акумулятором	6,1 кг
Сумісність	MIG/MAG-апарати з ручним пальником у режимі 4T
Кріплення рейки	магнітні або вакуумні опори залежно від матеріалу виробу
Призначення для рами GR1003	механізоване зварювання протяжних швів поздовжніх балок і поперечин
Технологічна перевага	забезпечення постійної швидкості переміщення пальника, рівномірного тепловкладення та стабільної форми шва

2.3 Вибір методу контролю якості виробу

Контроль якості зварних з'єднань рами автогрейдера GR1003 є важливою складовою технологічного процесу її виготовлення. Під час виготовлення рами GR1003 переважають кутові, таврові та частково стикові з'єднання. Найбільш відповідальними є шви поздовжніх балок, поперечин, шарнірного вузла, кронштейнів кріплення гідроциліндрів, опорних плит, ребер жорсткості та підсилювальних накладок. У цих ділянках можливе виникнення підвищених

напружень, тому контроль повинен забезпечувати не тільки виявлення зовнішніх дефектів, а й перевірку внутрішньої суцільності металу шва та правильності просторового положення елементів рами.

Для рами автогрейдера GR1003 приймається комбінована система контролю, яка включає візуально-вимірний контроль, ультразвуковий контроль із застосуванням фазованих решіток, магнітопорошковий контроль і геометричну перевірку готової конструкції.

Першим і обов'язковим етапом є візуально-вимірний контроль. Його виконують після очищення зварних швів від бризок металу, окалини, пилу, мастила та інших забруднень. Під час огляду перевіряють рівномірність формування валика, плавність переходу шва до основного металу, відповідність катета заданому значенню, відсутність підрізів, напливів, пор, тріщин, незаварених кратерів, пропалів, зміщення деталей і порушення форми шва. Візуально-вимірному контролю підлягають 100 % зварних швів рами.

Для виконання візуально-вимірнього контролю приймається універсальний зварювальний шаблон Elcometer 147 Weld Gauge. Його застосування дозволяє контролювати катет кутових швів, товщину горла шва, величину підрізів, зміщення крайок, надлишок наплавленого металу та кут підготовки крайок. Дане обладнання зручне для перевірки швів поздовжніх балок, поперечин, ребер жорсткості, кронштейнів і підсилювальних накладок, оскільки контроль може виконуватися безпосередньо на виробі без переміщення рами на окремий пост.

Візуально-вимірний контроль не дає повної інформації про внутрішню суцільність металу шва, тому для відповідальних з'єднань рами приймається ультразвуковий контроль. Його необхідно застосовувати для стикових з'єднань листових елементів, зварних швів шарнірного вузла, кронштейнів кріплення гідроциліндрів, опорних плит і масивних ділянок, де можливе утворення внутрішніх дефектів. До таких дефектів належать непровари, несплавлення, внутрішні тріщини, пори та шлакові включення.

Для ультразвукового контролю приймається дефектоскоп Evident OmniScan X3 64 (рис.2.5). На відміну від звичайного одноканального ультразвукового дефектоскопа, даний прилад дозволяє застосовувати фазовані решітки, що

підвищує інформативність контролю і дає змогу отримувати більш наочне зображення зони шва. Це особливо важливо для рами автогрейдера, де відповідальні шви мають значну товщину, різну конфігурацію і працюють під дією змінних навантажень. Використання OmniScan X3 64 дає можливість не тільки виявити дефект, а й точніше оцінити його розташування, протяжність і характер.



Рис. 2.5 – Ультразвуковий дефектоскоп Evident OmniScan X3 64 [22]

Ультразвуковий контроль доцільно виконувати після візуально-вимірального контролю, коли поверхня шва очищена і підготовлена до перевірки. Для забезпечення акустичного контакту між перетворювачем і металом застосовується контактна рідина. Особливу увагу приділяють зонам шарнірного вузла, місцям приварювання кронштейнів, стиковим з'єднанням і ділянкам, де товщина деталей становить 20–30 мм. У цих місцях наявність внутрішніх дефектів може суттєво знизити несучу здатність конструкції.

Оскільки рама виготовляється зі сталі S355J2+N, яка є феромагнітним матеріалом, для контролю поверхневих і приповерхневих дефектів приймається магнітопорошковий метод. Його застосування є найбільш виправданим у зонах концентрації напружень: біля шарнірного вузла, кронштейнів гідроциліндрів, опорних плит, ребер жорсткості, косинок і підсилювальних накладок. Магнітопорошковий контроль дає змогу виявляти тріщини, несплавлення, надриви та інші дефекти, які виходять на поверхню або розташовані на невеликій глибині.

Для магнітопорошкового контролю приймається переносне магнітне ярмо Magnaflux Y-7 (рис.2.6). Дане обладнання є зручним для контролю великогабаритних рамних конструкцій, оскільки може використовуватися безпосередньо на виробничій дільниці. Ярмо має шарнірні полюсні наконечники,

що дає змогу встановлювати його на деталі складної форми. Під час контролю ділянка шва намагнічується, після чого на поверхню наноситься магнітний порошок або суспензія. У місцях наявності тріщин або інших дефектів виникає розсіювання магнітного поля, внаслідок чого порошок концентрується вздовж дефектної зони.



Рис. 2.6 – Переносне магнітне ярмо Magnaflux Y-7 [23]

Магнітопорошковий метод доцільно застосовувати для 100 % контролю швів шарнірного вузла і кронштейнів кріплення гідроциліндрів, оскільки ці елементи працюють під дією значних знакозмінних навантажень. Для швів поперечин, опорних плит, підсилювальних накладок і ребер жорсткості магнітопорошковий контроль може виконуватися вибірково або в зонах підвищеної відповідальності. Перевагою методу є висока чутливість до поверхневих тріщин і можливість швидкої перевірки окремих ділянок без руйнування виробу.

Після зварювання в конструкції можуть виникати залишкові деформації, які впливають на прямолінійність поздовжніх балок, положення поперечин, співвісність отворів шарнірного вузла, паралельність опорних поверхонь і точність розташування кронштейнів. Порушення геометрії рами може ускладнити подальше складання автогрейдера, спричинити перекоси під час роботи шарнірного вузла та нерівномірний розподіл навантажень у конструкції.

Для геометричного контролю приймається лазерний трекер FARO Vantage S6 Max Laser Tracker. Його застосування дає змогу виконувати просторове вимірювання великогабаритної конструкції безпосередньо на виробничій ділянці. За допомогою лазерного трекера перевіряють загальну довжину рами,

прямолінійність поздовжніх балок, положення поперечин, відстані між монтажними площинами, співвісність отворів шарнірного вузла, паралельність опорних плит і відповідність розташування кронштейнів кресленню.

У разі виявлення дефектів, які перевищують допустимі норми, дефектну ділянку необхідно усунути. Незаварені кратери повторно заварюють, підрізи зачищають і за потреби підварюють з 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 встановленого режиму MAG-зварювання. [24-26]

Після усунення дефектів відремонтовані ділянки підлягають повторному контролю тим самим методом, яким дефект було виявлено. Якщо дефект встановлено під час візуально-вимірювального контролю, виконують повторний огляд і вимірювання. Якщо дефект мав внутрішній характер, проводять повторний ультразвуковий контроль. Якщо дефект був поверхневим або приповерхневим, застосовують повторний магнітопорошковий контроль. Такий порядок дозволяє підтвердити якість виправлення дефектів і не допустити передачу рами на наступну операцію з невиправленими недоліками. Прийнята схема контролю якості зварних з'єднань рами автогрейдера GR1003 наведена в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Схема контролю якості зварних з'єднань рами

Елемент конструкції	Метод контролю	Обсяг контролю
Усі зварні шви рами	Візуально-вимірювальний контроль	100 %
Поздовжні шви основних балок	ВВК + вибірково УЗК/РАУТ	100 % ВВК, вибірково УЗК/РАУТ
Шви поперечин до поздовжніх балок	ВВК + МПК	100 % ВВК, вибірково МПК
Стикові з'єднання листових елементів	ВВК + УЗК/РАУТ	100 % ВВК, УЗК/РАУТ для відповідальних стиків
Шви шарнірного вузла	ВВК + МПК + УЗК/РАУТ	100 % ВВК, 100 % МПК, вибірково УЗК/РАУТ
Шви кронштейнів кріплення гідроциліндрів	ВВК + МПК + за потреби УЗК/РАУТ	100 % ВВК, 100 % МПК, вибірково УЗК/РАУТ
Шви опорних плит і монтажних площадок	ВВК + МПК	100 % ВВК, вибірково МПК
Шви ребер жорсткості і підсилювальних накладок	ВВК + МПК	100 % ВВК, вибірково МПК
Готова рама після зварювання	Геометричний контроль	100 %

Застосування прийнятої системи контролю дозволяє комплексно оцінити якість виготовлення рами автогрейдера GR1003. Така схема контролю підвищує надійність зварної конструкції, зменшує ризик передчасного руйнування відповідальних вузлів і забезпечує якісне виготовлення рами автогрейдера.

2.4 Опис технологічного процесу виготовлення виробу

Технологічний процес виготовлення рами автогрейдера GR1003 належить до процесів виробництва відповідальних великогабаритних зварних металоконструкцій. Рама є основним несучим елементом машини, тому під час її виготовлення необхідно забезпечити не тільки міцність зварних з'єднань, але й точність просторового положення поздовжніх балок, поперечин, шарнірного вузла, кронштейнів, опорних плит і монтажних поверхонь. Порушення геометрії рами може призвести до ускладнення складання автогрейдера, перекосу шарнірного з'єднання, неправильного розташування гідроциліндрів і нерівномірного розподілу навантажень під час експлуатації.

Виготовлення рами доцільно виконувати за вузловим принципом. Спочатку проводять вхідний контроль металопрокату, очищення, правлення та розкрій листових і профільних заготовок. Далі виконують підготовку кромки, виготовлення деталей передньої і задньої напіврам, складання окремих вузлів, прихоплення, основне зварювання, механічне оброблення відповідальних отворів, правлення, контроль якості, очищення поверхні та нанесення захисного покриття. Така послідовність дозволяє зменшити кількість ручних підгінних операцій, забезпечити повторюваність розмірів і знизити вплив зварювальних деформацій.

Першою операцією є вхідний контроль листового та профільного прокату. У виробництво надходять листи сталі S355J2+N для виготовлення опорних плит, кронштейнів, ребер жорсткості, підсилювальних накладок і щік шарнірного вузла, а також профільний прокат для поздовжніх балок і поперечин. Під час контролю перевіряють марку сталі за сертифікатом, товщину листів, стан поверхні, наявність хвилястості, розшарувань, корозії, механічних пошкоджень і відхилень за геометрією. Для переміщення металу застосовується мостовий кран

вантажопідйомністю 10 т із траверсою, а для вимірювання — рулетка, штангенциркуль, контрольна лінійка, кутник і ультразвуковий товщиномір.

Після приймання металопрокат подається на попереднє очищення. Для цієї операції приймається роликова дробоструминна установка AGTOS Roller Conveyor Shot Blast Machine (рис.2.7). Установка призначена для очищення листового і профільного прокату від окалини, іржі, пилу та технологічних забруднень. Попереднє дробоструминне очищення покращує якість подальшого різання, полегшує візуальний контроль поверхні, зменшує кількість дефектів під час зварювання і забезпечує кращу підготовку металу до наступних технологічних операцій.

Правлення листового прокату виконується на роликотправильній машині ARKU FlatMaster 180 (рис.2.8). Дане обладнання раціонально застосовувати для деталей рами, оскільки конструкція містить листові елементи товщиною 10–30 мм, а якісне правлення є важливою умовою точного складання. Під час проходження між роликами у металі створюються контрольовані пластичні деформації, завдяки чому усуваються хвилястість, залишкові напруження після прокатування та місцеві відхилення форми. Після правлення листи перевіряють за площинністю і подають на розкрій.



Рис. 2.7 – Установка AGTOS Roller Conveyor Shot Blast Machine [27]



Рис. 2.8 – Роликоправильна машина ARKU FlatMaster 180

Розкрій листових деталей виконується на багатофункціональному листообробному комплексі Voortman V310 (рис.2.9). Дане обладнання дозволяє в одній установці виконувати плазмове та кисневе різання, свердління, нарізання різьби, фрезерування і фаскування. На цьому комплексі виготовляють опорні плити, ребра жорсткості, кронштейни, підсилювальні накладки, щоки шарнірного вузла та інші листові деталі рами. Для деталей середньої товщини застосовується плазмове різання, а для більш товстих елементів шарнірного вузла — кисневе різання з подальшим зачищенням і механічною обробкою.



Рис. 2.9 – Листообробний комплекс Voortman V310 [28]

Розкрій профільного прокату виконується на роботизованій установці Voortman V807 (рис.2.10). Вона застосовується для оброблення профільних труб, швелерів, балок і фасонних елементів, з яких виготовляються поздовжні та поперечні елементи рами. На цій операції виконують відрізання за довжиною, підготовку торців, вирізання технологічних отворів, розмічання та формування складних контурів. Застосування такої установки зменшує кількість ручного

розмічування, підвищує точність стикування профільних деталей і скорочує тривалість підготовчих операцій.



Рис. 2.10 – Роботизована установка Voortman V807 [29]

Після термічного різання виконується видалення ґрату, задирок і напливів металу. Для оброблення листових деталей приймається зачисна машина LISSMAC SBM-M D2, яка призначена для механічного видалення шлаку і задирок після плазмового та кисневого різання. Для локального зачищення важкодоступних місць застосовуються кутові шліфувальні машини Metabo W 26-230 MVT і пневматичні зачистні машинки. На цій операції видаляють гострі кромки, залишки ґрату та нерівності, які можуть заважати щільному приляганню деталей під час складання.

Підготовка зварювальних кромок виконується на фаскознімальній машині N.KO UZ30 Express (рис. 2.11). Її застосовують для оброблення кромок товстолистових деталей, кронштейнів, підсилювальних накладок, щік шарнірного вузла і опорних плит. Фаски виконуються відповідно до типу зварного з'єднання, товщини металу та прийнятого способу МАГ-зварювання. Після оброблення кромки очищаються від стружки, а їхня геометрія контролюється універсальним зварювальним шаблоном. Якісна підготовка кромок забезпечує правильне формування кореня шва, зменшує ризик непровару і підвищує стабільність зварювального процесу.

Після заготівельних операцій виконують комплектування деталей перед складанням. Деталі розподіляють за складальними одиницями: передня напіврама, задня напіврама, шарнірний вузол, поперечини, кронштейни, опорні плити,

косинки й підсилювальні накладки. Перед подачею на складання перевіряють довжину, ширину, товщину заготовок, положення отворів, якість фасок, відсутність задирок і чистоту зон майбутнього зварювання.



Рис. 2.11 – Фаскознімальна машина N.KO UZ30 Express [30]

Перед складанням вузлів усі заготовки перевіряють на відповідність кресленню. Контролюють довжину, ширину, товщину, положення отворів, якість фасок, прямолінійність профільних елементів і чистоту зварювальних кромок. Деталі з відхиленнями, які перевищують допустимі норми, направляють на виправлення або повторну механічну обробку. Такий операційний контроль дає змогу зменшити кількість підгінних робіт під час складання рами.

Передню напівраму виготовляють як зварну балку коробчастого перерізу. Складання виконують у спеціальному складально-зварювальному кондукторі. Спочатку на базову площину кондуктора встановлюють нижній лист передньої балки. Його положення задають торцеві та бокові упори. Далі встановлюють першу вертикальну стінку, фіксують її магнітними упорами і виконують прихватки. Після цього встановлюють другу вертикальну стінку, вирівнюють її за шириною коробчастого перерізу та також закріплюють прихватками.

Після формування відкритого П-подібного контуру передньої балки встановлюють внутрішні ребра жорсткості. Їх розміщують у зонах кріплення тягової рами, гідроциліндрів, поворотного круга, шарнірного вузла та в місцях передавання зосереджених навантажень. Положення ребер задають шаблонами й упорами кондуктора. Для збереження геометрії коробчастого перерізу застосовують багатоточкове притискне пристосування, яке утримує вертикальні

стілки від розходження або зближення, забезпечує сталість ширини перерізу та щільне прилягання ребер до листових елементів.

Після встановлення ребер жорсткості монтують верхній лист передньої балки. Його притискають до вертикальних стінок і ребер жорсткості за допомогою притискних планок та гвинтових затискачів. Після перевірки щільності прилягання виконують прихватки, які остаточно формують коробчасту балку передньої напіврамі. Перед основним зварюванням перевіряють довжину, прямолінійність, висоту і ширину перерізу, паралельність стінок, положення ребер та відсутність скручування балки.

Прихвачування деталей передньої напіврамі виконують обладнанням Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ із механізмом подачі дроту Kemppi X5 Wire Feeder HD300 APC і пальником Kemppi Flexlite GX 505W. Застосування цього комплексу забезпечує стабільну подачу дроту, рівномірне горіння дуги та якісне формування коротких прихваток. Прихватки накладають симетрично з правого і лівого боків балки, щоб уникнути перекосу коробчастого перерізу.

Основне зварювання передньої напіврамі виконують MAG-способом. Для ручного механізованого зварювання застосовують Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+, механізм подачі Kemppi X5 Wire Feeder HD300 APC і рідинно-охолоджуваний пальник Kemppi Flexlite GX 505W. Довгі прямолінійні шви передньої коробчастої балки виконують із застосуванням рейкової зварювальної каретки Kemppi A3 MIG Rail System 2500. Каретка забезпечує рівномірне переміщення пальника вздовж шва, стабілізує швидкість зварювання і зменшує вплив людського фактора під час виконання протяжних швів.

Зварювання передньої коробчастої балки виконують у раціональній послідовності. Спочатку зварюють поздовжні шви з'єднання нижнього листа з вертикальними стінками, потім шви ребер жорсткості, після цього шви верхнього листа. Протяжні шви виконують із чергуванням ділянок на протилежних сторонах балки. Такий порядок зменшує однобічне тепловкладення і обмежує викривлення передньої напіврамі.

Після формування коробчастої балки до передньої напіврамі встановлюють кронштейни тягової рами, вушка кріплення гідроциліндрів, підсилювальні

накладки та косинки. Ці деталі встановлюють за шаблонами і контрольними пальцями, які забезпечують співвісність отворів і правильне положення відносно поздовжньої осі. Після перевірки положення кронштейни прихоплюють, шаблони знімають, а основне зварювання виконують Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ із пальником Kemppi Flexlite GX 505W.

Задню напівраму складають у складально-зварювальному стапелі. Для її основи застосовують два готові швелероподібні лонжерони. Перед установленням у стапель лонжерони проходять очищення, контроль прямолінійності, перевірку стану полиць і стінки, а також підготовку зон майбутнього зварювання. Лонжерони встановлюють на базові опори стапеля паралельно один одному. Торцеві упори задають їх положення за довжиною, бокові обмежувачі забезпечують паралельність, а гвинтові та пневматичні притискачі утримують лонжерони під час складання.

Після встановлення лонжеронів у стапель між ними монтують поперечини. Передня, середня та задня поперечини з'єднують два лонжерони в єдину просторову конструкцію. Їх положення задають упори й шаблони стапеля. Після перевірки перпендикулярності поперечин до поздовжньої осі, щільності прилягання та правильності міжосьових відстаней виконують прихвачування за допомогою Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+.

Далі на задню напівраму встановлюють опорні плити двигуна і трансмісії, монтажні площадки допоміжного обладнання, кронштейни заднього моста, кронштейни кабіни, косинки, ребра жорсткості та підсилювальні накладки. Опорні плити встановлюють на базові площадки стапеля, які задають їх висотне положення. Після встановлення плити притискають гвинтовими притискачами, перевіряють площинність і положення відносно лонжеронів. Кронштейни та монтажні площадки встановлюють за шаблонами і фіксаторами.

Основне зварювання задньої напіврамы виконують після повної перевірки складеного вузла. Самі швелероподібні лонжерони не зварюють. Зварювальні операції виконують у місцях приєднання поперечин, опорних плит, монтажних площадок, кронштейнів, косинок, ребер жорсткості та підсилювальних накладок до готових лонжеронів. Для коротких, монтажних і складнодоступних швів

застосовують Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ з пальником Kemppi Flexlite GX 505W. Для доступних протяжних швів поперечин і опорних елементів застосовують Kemppi A3 MIG Rail System 2500.

Шарнірний вузол складають окремо із застосуванням пристосування з базувальною оправкою. До складу вузла входять щоки, провусини, втулки, опорні плити, косинки та ребра жорсткості. Базувальна оправка забезпечує співвісність отворів і правильне взаємне положення щік. Після встановлення деталей вузол фіксують притискачами, виконують прихватки та перевіряють співвісність отворів, відстань між щоками, положення втулок і щільність прилягання підсилювальних деталей.

Зварювання шарнірного вузла виконують із місцевим індукційним підігрівом масивних деталей. Для підігріву застосовують ENRX Minac (рис. 2.12). Після досягнення необхідної температури виконують багатопрохідне МАГ-зварювання обладнанням Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+. Підігрів зменшує швидкість охолодження металу, знижує ризик утворення холодних тріщин і забезпечує стабільні умови формування шва. Під час зварювання контролюють температуру між проходами, а після завершення шви очищають і оглядають.



Рис. 2.12 – Мобільна індукційна система ENRX Minac [31]

Після виготовлення передньої напіврами, задньої напіврами та шарнірного вузла виконують загальне складання рами. Передню і задню напіврами встановлюють у складально-зварювальний стапель у проектне положення. Шарнірний вузол базують за контрольними оправками та пальцями. Після встановлення всіх елементів перевіряють загальну довжину рами, положення напіврам, співвісність шарнірного вузла, діагоналі, відстані між базовими поверхнями та правильність розташування кронштейнів.

Остаточне зварювання рами виконують після повторної перевірки геометрії. Для завершального зварювання підсилювальних накладок, монтажних елементів, коротких і складнодоступних швів застосовують Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+. Шви накладають симетрично, з чергуванням ділянок на протилежних сторонах конструкції. У зонах із великою кількістю швів контролюють тепловкладення, щоб не допустити перекосу напіврам і зміщення шарнірного вузла.

Після зварювання виконують зачищення швів. Для видалення бризок металу, напливів, гострих крайок, залишків тимчасових прихваток і нерівностей у місцях початку та завершення швів застосовують Metabo W 26-230 MVT, пневматичні зачистні машинки та ручний інструмент. Зачистка забезпечує підготовку поверхонь до контролю якості та подальшого дробоструминного очищення.

Після очищення швів виконують правлення рами на правильному стенді. На цій операції усувають місцеві зварювальні деформації, перевіряють прямолінійність передньої коробчастої балки, паралельність швелероподібних лонжеронів задньої напіврами, положення поперечин, діагоналі та монтажні площини. Правлення проводять контрольовано, без пошкодження зварних швів і основного металу.

Контроль якості виконується комплексно. Для візуально-вимірювального контролю застосовують Elcometer 147 Weld Gauge. Відповідальні зварні з'єднання контролюють ультразвуковим фазованим методом із застосуванням Evident OmniScan X3 64. Для виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів у зонах шарнірного вузла, кронштейнів, опорних плит і підсилювальних елементів застосовують магнітопорошковий контроль Magnaflux Y-7. Геометрію готової рами, положення монтажних поверхонь, діагоналі, співвісність шарнірного вузла і взаємне положення напіврам перевіряють за допомогою FARO Vantage Laser Tracker.

Після контролю зварних швів виконують остаточне розточування отворів шарнірного вузла. Для цієї операції застосовують переносну розточувальну систему CLIMAX BB5000 (рис. 2.13). Розточування після зварювання забезпечує точну співвісність отворів, усуває вплив можливих зварювальних деформацій і забезпечує правильне встановлення пальця шарнірного з'єднання.



Рис. 2.13 – Переносний розточувальний верстат CLIMAX BB5000 [32]

Після контролю рама подається на заключне дробоструминне очищення. Для цієї операції застосовується камера дробоструминного очищення SciTeeX BlastLux (рис. 2.14). На цій операції з поверхні видаляються залишки окалини, продукти окиснення, сліди зачистки, пи́л і технологічні забруднення. Очищена поверхня забезпечує якісне зчеплення ґрунтового шару з металом.



Рис. 2.14 – Дробоструминна камера SciTeeX BlastLux [33]

Фінішною операцією є нанесення захисного покриття. Для фарбування приймається установка безповітряного розпилення WIWA Professional Classic. Спочатку на поверхню рами наноситься антикорозійний ґрунт, після чого виконується нанесення покривного шару. Після висихання покриття перевіряють рівномірність нанесення, відсутність пропусків, потьоків, механічних пошкоджень і забруднень. Готова рама маркується, на неї оформлюється супровідна документація, після чого виріб передається на дільницю складання автогрейдера або на склад готової продукції.

Маршрут виготовлення рами автогрейдера GR1003 наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Запропонований технологічний процес виготовлення рами автогрейдера GR1003

<i>№ операції</i>	<i>Найменування операції</i>	<i>Зміст операції</i>	<i>Основне обладнання та оснащення</i>
010	Вхідний контроль матеріалів і заготовок	Перевірка сертифікатів, марки сталі, товщини листів, стану поверхні, геометрії готових швелероподібних лонжеронів і комплектувальних деталей	Вимірювальний інструмент, ультразвуковий товщиномір, контрольна карта
020	Попереднє дробоструминне очищення прокату	Видалення окалини, іржі, пилу, мастила та технологічних забруднень із листового і профільного прокату	AGTOS Roller Conveyor Shot Blast Machine
030	Правлення листового прокату	Усунення хвилястості, залишкових напружень і місцевих відхилень форми листових заготовок	ARKU FlatMaster 180
040	Розкрій листових деталей	Виготовлення листів передньої балки, опорних плит, кронштейнів, ребер жорсткості, підсилювальних накладок, щік шарнірного вузла	Voortman V310
050	Розкрій і оброблення профільного прокату	Підготовка готових швелероподібних лонжеронів та інших профільних елементів: різання за довжиною, отвори, вирізи, торці	Voortman V807
060	Видалення грату та задирок	Зачистка крайок після різання, видалення напливів, гострих кромок і залишків грату	LISSMAC SBM-M D2, Metabo W 26-230 MVT, пневматичні зачистні машинки
070	Підготовка зварювальних кромок	Фаскування товстолистових деталей, кронштейнів, підсилювальних накладок, щік шарнірного вузла та опорних плит	N.KO UZ30 Express
080	Комплектування та перевірка заготовок перед складанням	Розподіл деталей за вузлами, перевірка розмірів, отворів, фасок, чистоти кромок і відповідності кресленню	Вимірювальний інструмент, шаблони, контрольні карти
090	Складання передньої напіврами	Складання коробчастої балки з нижнього листа, вертикальних стінок, ребер жорсткості та верхнього листа; фіксація у кондукторі	Складально-зварювальний кондуктор, магнітні упори, багатоточкове притискне пристосування

100	Складання задньої напіврами	Установлення двох готових швелероподібних лонжеронів у стапель, монтаж поперечин, опорних плит, кронштейнів, косинок і накладок	Складально-зварювальний стапель, шаблони, гвинтові та пневматичні притискачі
110	Складання шарнірного вузла	Установлення щік, провущин, втулок, опорних плит, косинок і ребер жорсткості із забезпеченням співвісності отворів	Пристосування з базувальною оправкою
120	Прихвачування деталей	Фіксація складених елементів короткими прихватками з дотриманням симетричної послідовності	Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+, Kemppi X5 Wire Feeder HD300 APC, Kemppi Flexlite GX 505W
130	Зварювання передньої напіврами	Зварювання поздовжніх швів коробчастої балки, ребер жорсткості, верхнього листа, кронштейнів, вушок гідроциліндрів і накладок	Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+, Kemppi A3 MIG Rail System 2500
140	Зварювання задньої напіврами	Зварювання з'єднань готових швелероподібних лонжеронів із поперечинами, опорними плитами, площадками, кронштейнами і накладками	Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+, Kemppi A3 MIG Rail System 2500 для доступних довгих швів
150	Зварювання шарнірного вузла з місцевим підігрівом	Індукційний підігрів масивних елементів, багатопрхідне зварювання щік, втулок, ребер, косинок і опорних плит	ENRX Minac, Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+
160	Остаточне зварювання рами	Завершальне зварювання підсилювальних накладок, монтажних елементів, коротких і складнодоступних швів	Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+
170	Розточування отворів шарнірного вузла	Остаточне оброблення отворів після зварювання для забезпечення співвісності та точності посадкових поверхонь	CLIMAX BB5000
180	Зачистка після зварювання	Видалення бризок, напливів, гострих крайок, залишків прихваток і нерівностей у місцях початку та завершення швів	Metabo W 26-230 MVT, пневматичні зачистні машинки
190	Правлення рами після зварювання	Усунення місцевих зварювальних деформацій, перевірка прямолінійності, діагоналей і монтажних площин	Правильний стенд
200	Контроль якості	ВБК усіх швів, УЗК/PAUT і МПК відповідальних з'єднань, контроль геометрії рами	Elcometer 147 Weld Gauge, Evident OmniScan X3 64, Magnaflux Y-7, FARO Vantage Laser Tracker

210	Заключне дробоструминне очищення	Видалення залишків окалини, продуктів окиснення, пилу та підготовка поверхні до покриття	AGTOS Roller Conveyor Shot Blast Machine
220	Ґрунтування і фарбування	Нанесення захисного лакофарбового покриття на очищену поверхню рами	Фарбувальна камера, пневморозпилювач
230	Приймальний контроль	Перевірка комплектності, геометрії, якості швів, стану покриття і готовності до подальшого складання	Контрольна карта, вимірювальний інструмент

Запропонований технологічний процес забезпечує послідовне виготовлення рами із урахуванням конструктивної складності виробу. Використання сучасного обладнання дозволяє підвищити точність виготовлення, зменшити обсяг ручної підгонки та забезпечити стабільну якість готової рамної конструкції.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції пристосувань для складання та зварювання рами автогрейдера GR1003

Для виготовлення рами автогрейдера GR1003 застосовують комплект спеціалізованої складально-зварювальної оснастки, яка забезпечує точне базування елементів, їх надійну фіксацію під час прихвачування і зварювання, а також збереження геометрії після дії зварювальних деформацій. Оскільки передня і задня частини рами мають різну конструктивну будову, для них застосовують різні пристосування. Передню напівраму складають у кондукторі для коробчастої балки, а задню раму — у складально-зварювальному стапелі для двох готових швелероподібних лонжеронів, поперечин, плит і кронштейнів.

Кондуктор для складання та зварювання передньої балки (рис. 3.1). Передня напіврама автогрейдера GR1003 виконана у вигляді зварної балки коробчастого перерізу довжиною 3500 мм. Її поперечний переріз має висоту 320 мм і ширину 260 мм. Балка складається з нижнього листа, двох вертикальних стінок, верхнього листа, внутрішніх ребер жорсткості, підсилювальних накладок і кронштейнів. Для складання такої конструкції застосовують спеціальний складально-зварювальний кондуктор, який формує геометрію коробчастого перерізу і забезпечує правильне взаємне положення листових елементів.

Кондуктор для передньої балки має жорстку зварну основу рамного типу. Основа виконана з поздовжніх і поперечних силових елементів, які забезпечують нерухомість пристосування під час встановлення деталей, прихвачування та зварювання. Верхня частина основи має базову площину для встановлення нижнього листа коробчастої балки. Базова площина задає прямолінійність передньої балки по довжині та запобігає провисанню листа між опорними зонами.

Для орієнтування нижнього листа в кондукторі встановлені торцеві та бокові упори. Торцевий упор задає положення листа за довжиною, а бокові упори забезпечують його правильне розташування відносно поздовжньої осі кондуктора. Така система базування не допускає зміщення нижнього листа під час встановлення

вертикальних стінок і ребер жорсткості. Нижній лист після встановлення притискається до базової площини гвинтовими або пневматичними притискачами.

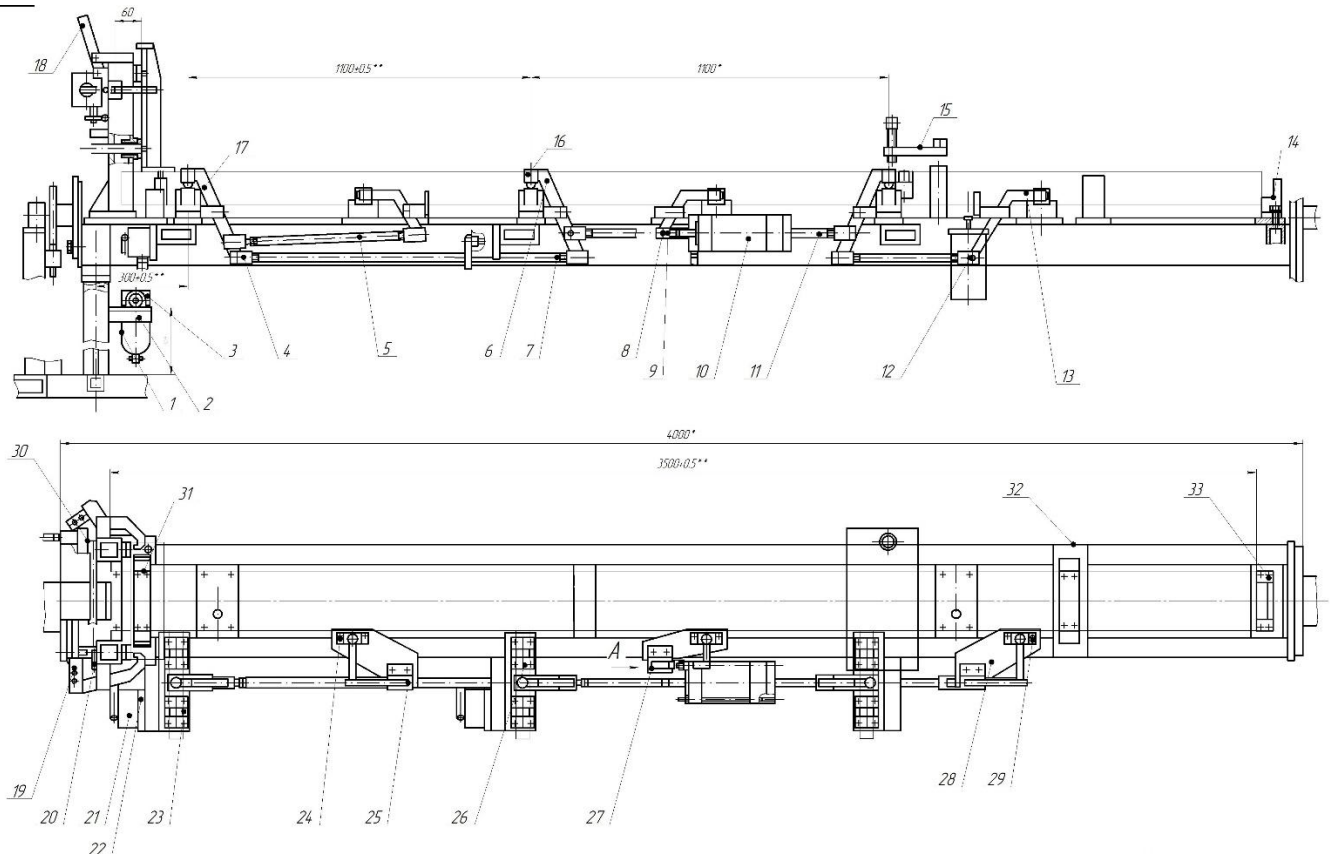


Рис. 3.1 Кондуктор для складання та зварювання передньої балки

Вертикальні стінки передньої балки встановлюють уздовж крайок нижнього листа. Для їх фіксації в кондукторі передбачені бокові напрямні, переставні упори та магнітні фіксатори. Магнітні фіксатори утримують стінки у вертикальному положенні до виконання прихваток. Вони забезпечують перпендикулярність стінок до нижнього листа та дозволяють швидко виставити елементи без додаткового ручного утримування. Для контролю ширини коробчастого перерізу між стінками застосовують калібрувальні вставки або поперечні шаблони на розмір 260 мм.

Після встановлення двох вертикальних стінок кондуктор утримує відкритий П-подібний контур передньої балки. У цій зоні основне завдання пристосування полягає у збереженні паралельності стінок, їх вертикальності та сталості ширини перерізу по всій довжині балки. Для цього на кондукторі розміщені декілька поперечних притискних секцій. Вони встановлені через визначені проміжки по

довжині балки та працюють як калібрувальні рамки, що утримують коробчастий переріз від розкриття або звуження.

У середині передньої балки встановлюються ребра жорсткості. Для їх точного розташування в кондукторі передбачені змінні шаблони та упори. Шаблони задають місце встановлення ребра, його перпендикулярність до поздовжньої осі балки і щільне прилягання до нижнього листа та вертикальних стінок. Після встановлення кожного ребра його положення фіксується локальним притискачем. Така конструкція пристосування забезпечує однаковий крок ребер і правильне розташування підсилювальних елементів у зонах найбільших навантажень.

Для остаточної стабілізації відкритого коробчастого профілю застосовують багатоточкове притискне пристосування. Воно складається з ряду однакових затискних модулів, встановлених уздовж балки. Кожен модуль має дві вертикальні стійки, верхню притискну траверсу, бокові притискні елементи та нижні опорні елементи. Верхні притискачі утримують верхні кромки вертикальних стінок, бокові притискачі не допускають їхнього поперечного зміщення, а нижні опори забезпечують щільний контакт нижнього листа з базовою площиною кондуктора.

Багатоточкове притискне пристосування працює як просторовий калібр для передньої коробчастої балки. Воно забезпечує сталість ширини 260 мм, збереження висоти перерізу 320 мм, паралельність вертикальних стінок і щільне прилягання ребер жорсткості до листових елементів. Розміщення притискних модулів по довжині балки усуває місцеві відхилення між крайніми точками закріплення та зменшує вплив зварювальних усадок на форму перерізу.

Після встановлення ребер жорсткості та фіксації стінок на балку укладають верхній лист. Для його притискання застосовують верхні траверси, гвинтові притискачі та притискні планки. Вони забезпечують щільне прилягання верхнього листа до вертикальних стінок і внутрішніх ребер. Верхній лист замикає коробчастий переріз передньої балки, тому його положення контролюється за шириною, висотою, щільністю контакту і рівномірністю зазорів по довжині.

У конструкції кондуктора також передбачені локальні пристосування для встановлення кронштейнів тягової рами, вушок гідроциліндрів, косинок і

підсилювальних накладок. Кронштейни встановлюються за допомогою шаблонів і контрольних пальців. Контрольні пальці входять в отвори кронштейнів і забезпечують їх співвісність. Шаблони задають положення кронштейнів відносно поздовжньої осі передньої балки, а гвинтові притискачі утримують їх під час прихвачування. Така конструкція забезпечує точне встановлення вушок гідроциліндрів і кронштейнів тягового вузла без додаткового підганяння.

Кондуктор для передньої балки має відкриту будову з вільним доступом до зон прихвачування і зварювання. Притискачі та фіксатори розміщені так, щоб не перекривати зони виконання поздовжніх швів коробчастої балки та швів приварювання ребер. Це дозволяє виконувати прихватки та основне MAG-зварювання без зняття балки з пристосування. Для протяжних прямолінійних швів конструкція кондуктора залишає місце для встановлення рейкової зварювальної каретки Kemppi A3 MIG Rail System 2500, а короткі та монтажні шви виконуються обладнанням Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+.

Стапель для складання та зварювання задньої рами (рис. 3.2). Задня рама автогрейдера GR1003 має лонжеронну конструкцію. Її основою є два готові швелероподібні лонжерони, які встановлюються паралельно один одному та з'єднуються поперечинами, опорними плитами, монтажними площадками, кронштейнами, косинками, ребрами жорсткості та заднім силовим елементом. Для складання такої конструкції застосовують складально-зварювальний стапель, який забезпечує точне взаємне положення лонжеронів і приєднуваних до них елементів.

Стапель для задньої рами має масивну зварну основу з поздовжніх і поперечних балок. Основа забезпечує жорсткість пристосування і не деформується під дією маси лонжеронів, поперечин, плит і притискних зусиль. На верхній частині стапеля розміщені базові опори для встановлення двох швелероподібних лонжеронів. Опори задають висотне положення лонжеронів, а також забезпечують їх однаковий рівень по всій довжині задньої рами.

Для орієнтування лонжеронів за довжиною у стапелі встановлені торцеві упори. Вони задають початкове положення кожного лонжерона та забезпечують однаковий виступ або розташування торців відносно базової осі. Бокові упори і

Technical drawing of a mechanical assembly in cross-section. The drawing shows a long central shaft or tube with various components mounted along its length. Key features include:

- Central Component:** A large, cylindrical component, possibly a motor or actuator, is mounted in the middle of the shaft. It has a central shaft passing through it.
- Mounting Brackets:** The assembly is supported by mounting brackets at both ends. The left bracket is more complex, featuring a vertical plate and a horizontal plate.
- Dimensions:** Numerous dimensions are indicated with arrows and numbers:
 - 1000:** The overall length of the assembly.
 - 150:** The length of the central component.
 - 100:** The length of the mounting bracket on the right.
 - 50:** The length of the mounting bracket on the left.
 - 20:** The thickness of the central component.
 - 10:** The thickness of the mounting bracket on the right.
 - 5:** The thickness of the mounting bracket on the left.
 - 1000:** The overall length of the assembly.
 - 150:** The length of the central component.
 - 100:** The length of the mounting bracket on the right.
 - 50:** The length of the mounting bracket on the left.
 - 20:** The thickness of the central component.
 - 10:** The thickness of the mounting bracket on the right.
 - 5:** The thickness of the mounting bracket on the left.
- Labels:** The letter 'C' is used as a label for a specific part of the assembly, located near the right mounting bracket.

Рис. 3.2 Стапель для складання та зварювання задньої рами

Готові швелероподібні лонжерони встановлюються у стапель по нижніх опорних площинах і бокових поверхнях. Для їх закріплення застосовують гвинтові та пневматичні притискачі. Гвинтові притискачі використовуються в зонах, де потрібно плавно регулювати зусилля притискання і точно підвести елемент до упору. Пневматичні притискачі застосовуються для швидкої фіксації повторюваних положень. Притискні елементи розміщені так, щоб не деформувати полиці швелероподібних лонжеронів і не перекривати доступ до місць зварювання.

Між лонжеронами встановлюються поперечини. Для їх розміщення в стапелі передбачені поперечні опори, торцеві упори та шаблони. Поперечні опори задають висоту поперечини, торцеві упори — її положення за довжиною, а бокові фіксатори — перпендикулярність до поздовжньої осі рами. Після встановлення поперечина притискається до лонжеронів гвинтовими притискачами. Така схема забезпечує щільне прилягання торцевих пластин поперечини до стінок або полиць лонжеронів.

Для встановлення опорних плит двигуна і трансмісії на стапелі передбачені окремі базові площадки. Вони задають висотне положення плит і їх розташування відносно осей лонжеронів. Опорні плити притискаються гвинтовими

притискачами, оскільки ці елементи мають значну товщину і потребують надійного закріплення. Базові площадки стапеля забезпечують площинність встановлення плит, що важливо для подальшого монтажу силового агрегату.

Монтажні площадки допоміжного обладнання, кронштейни kabіни, кронштейни заднього моста, косинки та підсилювальні накладки встановлюються за допомогою змінних шаблонів. Шаблони закріплюються на стапелі або безпосередньо на лонжеронах і задають положення деталей без ручної розмітки. Для кронштейнів з отворами застосовують контрольні пальці, які забезпечують співвісність отворів і правильне положення кронштейнів. Після прихвачування шаблони знімаються, щоб вони не заважали основному зварюванню.

У передній частині стапеля передбачена зона для складання елементів, пов'язаних із шарнірним вузлом. Тут розміщуються посилені опори, вертикальні фіксатори, контрольні пальці та базувальна оправка. Ці елементи забезпечують правильне положення щік, провусин і опорних плит шарнірного вузла відносно задньої рами. Базувальна оправка проходить через отвори шарнірних елементів і забезпечує співвісність отворів під палець.

Стапель для задньої рами має відкриту конструкцію. Вона забезпечує доступ зварника до швів приварювання поперечин, кронштейнів, плит, косинок і підсилювальних накладок до готових швелероподібних лонжеронів. Зварювання самих лонжеронів не виконується, оскільки вони застосовуються як готові профільні елементи. Зварювальні операції виконуються тільки в місцях приєднання деталей до лонжеронів. Для підвищення точності складання стапель оснащений контрольними базами для перевірки діагоналей, паралельності лонжеронів, положення поперечин, висотного розташування плит і співвісності отворів. Перед зняттям задньої рами зі стапеля перевіряють відстань між лонжеронами, положення поперечин, діагоналі, розташування опорних плит і кронштейнів. Це дозволяє виявити відхилення до завершення зварювання та запобігти значному обсягу правлення.

Конструкція стапеля також враховує необхідність виконання зварювання обладнанням Kemppi X5 FastMig 500 Pulse+ і застосування рейкової каретки

Kemppi A3 MIG Rail System 2500 на доступних прямолінійних швах. Для цього притискачі, шаблони і фіксатори розміщені поза основними траєкторіями переміщення пальника. Короткі шви кронштейнів, косинок і плит виконуються ручним переміщенням пальника, а доступні протяжні шви поперечин виконуються із застосуванням механізованого переміщення.

Застосування зазначеної оснастки дозволяє забезпечити поетапне виготовлення рами, зменшити кількість ручного підганяння, підвищити точність розташування відповідальних елементів, обмежити зварювальні деформації та забезпечити стабільну якість зварних з'єднань. Найбільше значення мають пристосування для виготовлення коробчастих балок і шарнірного вузла, оскільки саме ці елементи визначають геометричну точність, жорсткість і працездатність усієї рамної конструкції автогрейдера GR1003.

3.2 Розрахунок сили притиску в кондукторі для складання

Під час виготовлення передньої напіврами автогрейдера GR1003 основною складальною одиницею є зварна балка коробчастого перерізу. Під час зварювання поздовжніх поясних швів виникають кутові деформації, які можуть спричинити відхилення верхнього або нижнього поясу від проектного положення. Для запобігання цьому пояс балки закріплюється в кондукторі за допомогою багатоточкового притискного пристосування.

Поперечну деформацію поясу балки в затискному пристрої розглядаємо як згинання двоконсольної пластинки, закріпленої посередині та навантаженої по краях силами притиску [34].

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позначення	Значення
Границя текучості сталі	σ_T	355 МПа
Модуль пружності сталі	E	$2,1 \cdot 10^5$ МПа
Ширина передньої коробчастої балки	b	260 мм
Напівширина поясу балки	l	130 мм = 0,13 м
Товщина верхнього і нижнього поясів	δ	16 мм = 0,016 м
Залишкова кутова деформація	$\text{tg}\alpha$	0,01
Довжина передньої напіврами	L	3500 мм = 3,5 м

Критичне значення кутової деформації:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot l \cdot \sigma_{\text{т}}}{3 \cdot E \cdot \delta} = \frac{2 \cdot 0,13 \cdot 355 \cdot 10^6}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 0,016} = 0,00916$$

Порівнюємо залишкову кутову деформацію з критичним значенням:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,01, \quad \operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}} = 0,00916$$

Оскільки

$$\operatorname{tg} \alpha > \operatorname{tg} \alpha_{\text{кр}},$$

погонну силу притиску однієї кромки поясу балки:

$$P = \frac{\sigma_{\text{т}} \cdot \delta^2}{6 \cdot l} = \frac{355 \cdot 10^6 \cdot 0,016^2}{6 \cdot 0,13} = 116512 \text{ Н/м}$$

Отже, погонна сила притиску однієї кромки поясу балки становить:

$$P = 116512 \text{ Н/м} = 116,5 \text{ кН/м}$$

Оскільки пояс коробчастої балки притискається з двох боків, загальна погонна сила притиску всієї полиці становить:

$$Q = 2 \cdot P = 2 \cdot 116512 = 233024 \text{ Н/м} = 233 \text{ кН/м}$$

Для передньої напіврами довжиною 3,5 м сумарна сила притискання по всій довжині балки становить:

$$Q_{\text{заг}} = Q \cdot L = 233024 \cdot 3,5 = 815584 \text{ Н} = 815,6 \text{ кН}$$

Погонна сила притиску однієї кромки поясу передньої коробчастої балки становить 116,5 кН/м, загальна погонна сила притиску всієї полиці — 233 кН/м, а сумарна сила притискання для довжини передньої напіврами 3,5 м — 815,6 кН.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Оцінка шкідливих факторів, які діють у спроектованому цеху, та заходи щодо зменшення їх впливу

Під час виготовлення рами автогрейдера GR1003 у складально-зварювальному цеху виконуються заготівельні, складальні, зварювальні, зачистні, контрольні та транспортні операції. У процесі цих робіт можуть виникати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які за відсутності належної організації праці здатні призвести до травмування працівників, погіршення стану здоров'я або виникнення професійних захворювань.

Основними джерелами шкідливих факторів у цеху є операції різання, правлення, зачищення металу, MAG-зварювання, індукційний підігрів масивних елементів, правлення готової рами та переміщення великогабаритних заготовок. Під час зварювання у повітря робочої зони виділяються зварювальні аерозолі, дрібнодисперсний пил, оксиди металів, оксиди азоту, оксид вуглецю та інші шкідливі речовини. Їх накопичення у повітрі може негативно впливати на органи дихання працівників і спричиняти хронічні професійні захворювання.

Для зменшення концентрації шкідливих речовин у зоні зварювання робочі місця обладнуються місцевою витяжною вентиляцією. У місцях виконання MAG-зварювання, зачищення швів і підігріву деталей передбачаються витяжні зонти, пересувні фільтровентиляційні установки або відсмоктувачі, розташовані безпосередньо біля джерела виділення шкідливих речовин. Загальнообмінна вентиляція цеху забезпечує видалення забрудненого повітря і подавання свіжого повітря у робочу зону.

Під час роботи зварювального обладнання виникає інтенсивне світлове, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання. Дія випромінювання зварювальної дуги на очі може призвести до електроофтальмії, а тривалий вплив інфрачервоного випромінювання негативно позначається на органах зору. Для захисту працівників застосовуються зварювальні маски зі світлофільтрами відповідної оптичної щільності, захисні екрани, ширми та попереджувальні знаки

біля зварювальних постів. Допоміжні працівники забезпечуються захисними окулярами або щитками.

Під час зачищення швів, видалення бризок металу, роботи шліфувальних машин і пневмоінструменту утворюються металевий пил, абразивні частинки та іскри. Ці фактори створюють небезпеку травмування очей, шкіри та органів дихання. Для захисту працівників застосовуються захисні окуляри, щитки, рукавиці, спецодяг, респіратори та місцеве пиловидалення. Зачищення швів виконується тільки справним інструментом із захисними кожухами.

Робота технологічного обладнання, зокрема установок для очищення металу, правильних машин, різальних комплексів, шліфувальних машин, вентиляторів і компресорів, супроводжується шумом і вібрацією. Тривала дія шуму може спричинити втому, зниження уваги та погіршення слуху. Для зменшення шуму обладнання встановлюється на справних фундаментах, застосовуються звукопоглинальні матеріали, кожухи, екрани та раціональне розміщення шумних агрегатів у виробничому приміщенні. Працівники забезпечуються протишумовими навушниками або вкладишами.

Вібрація виникає під час роботи шліфувальних машин, пневматичного інструменту, правильного обладнання та окремих транспортних механізмів. Для її зменшення застосовується справний інструмент, своєчасне технічне обслуговування обладнання, віброгасні основи, гумові прокладки, віброзахисні рукавиці та регламентовані перерви під час роботи з ручним механізованим інструментом.

Окрему небезпеку становить електричний струм, оскільки у цеху експлуатуються зварювальні джерела живлення, механізми подавання дроту, зварювальні каретки, установки індукційного підігріву, електроінструмент і контрольно-вимірювальне обладнання. Для запобігання ураженню електричним струмом усі електроустановки заземлюються, кабелі регулярно оглядаються, пошкоджена ізоляція не допускається, а підключення та ремонт обладнання виконує електротехнічний персонал. Працівники використовують діелектричні рукавиці, килимки та справний ізольований інструмент.

Під час виготовлення рами автогрейдера застосовуються мостові крани, вантажозахоплювальні пристрої, траверси, стропи та кантувальні пристрої. Небезпека полягає у можливому падінні заготовок, зміщенні великогабаритних елементів, защемленні рук або пошкодженні пристосувань. Для безпечного виконання транспортних операцій використовуються справні стропи, вантажні траверси, марковані вантажозахоплювальні пристрої та сигнальна взаємодія між стропальником і крановиком. Перебування працівників під піднятим вантажем забороняється.

Пожежна небезпека у складально-зварювальному цеху пов'язана з наявністю відкритої дуги, бризок розплавленого металу, іскор під час різання і шліфування, а також електрообладнання. Для запобігання пожежі робочі місця очищаються від горючих матеріалів, балони із захисними газами розміщуються відповідно до вимог безпеки, а біля зварювальних постів встановлюються вогнегасники, ящики з піском і пожежний інвентар. Після завершення зварювання робоче місце оглядається для виявлення можливих осередків тління.

Працівники цеху забезпечуються засобами індивідуального захисту: зварювальними масками, спецодягом із вогнестійкої тканини, рукавицями, захисним взуттям, окулярами, респіраторами, навушниками та діелектричними засобами. Перед початком роботи вони перевіряють справність обладнання, вентиляції, інструменту, кабелів, заземлення, газових шлангів, редукторів і засобів пожежогасіння. Під час роботи забороняється відволікатися, допускати сторонніх осіб у небезпечну зону, працювати без засобів захисту та виконувати зварювання на несправному обладнанні. [35-36]

Після закінчення роботи зварювальне обладнання від'єднується від електромережі, перекривається подавання захисного газу, робоче місце очищається від відходів, інструмент і пристосування приводяться у справний стан, а про виявлені несправності повідомляють керівника робіт. Дотримання цих заходів забезпечує зниження рівня небезпечних і шкідливих факторів, підвищує безпеку праці та створює належні умови для виготовлення рами автогрейдера GR1003.

4.2 Розрахунок природного освітлення для цеху виготовлення рами автогрейдера GR1003

Природне освітлення виробничого приміщення забезпечується прямим або відбитим денним світлом. Для складально-зварювального цеху, у якому виконуються операції виготовлення рами автогрейдера GR1003, достатній рівень природного освітлення має важливе значення, оскільки працівники виконують розмічальні, складальні, зварювальні, зачистні та контрольні операції. Недостатня освітленість робочих місць ускладнює візуальний контроль, підвищує втому очей і може стати причиною виробничого травматизму. [35]

У виробничому приміщенні передбачене бічне природне освітлення через віконні прорізи. Розрахунок полягає у визначенні сумарної площі світлових прорізів, необхідної для забезпечення нормованого значення коефіцієнта природної освітленості на робочих місцях.. Розміри цеху становлять 22×12 м, тому площа підлоги дорівнює 264 м². Методика розрахунку відповідає варіанту з бічним природним освітленням.

Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку природного освітлення

Параметр	Значення
Довжина цеху, А	22 м
Ширина цеху, В	12 м
Площа підлоги, S _п	264 м²
Нормоване значення КПО, е _н	3,6 %
Коефіцієнт запасу, К _з	1,5
Світлова характеристика вікон, η _в	8
Коефіцієнт затінення, К _з	1,1
Коефіцієнт відбитого світла, r _л	1,7

Площа підлоги цеху:

$$S_{п} = A \cdot B = 22 \cdot 12 = 264 \text{ м}^2$$

Загальний коефіцієнт світлопропускання визначаємо за формулою:

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5 = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,648$$

Площу світлових прорізів при бічному освітленні визначаємо за формулою:

$$S_B = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_B \cdot S_{\Pi} \cdot K_6}{100 \cdot \tau \cdot r_1}$$

Підставляємо числові значення для цеху площею 264 м²:

$$S_B = \frac{3,6 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 264 \cdot 1,1}{100 \cdot 0,648 \cdot 1,7} = 113,88 \text{ м}^2$$

Сумарна площа світлових прорізів, необхідна для забезпечення нормованого значення коефіцієнта природної освітленості у цеху виготовлення рами автогрейдера GR1003, становить $S_B = 113,88 \text{ м}^2$

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес зварювання рами автогрейдера GR1003 з урахуванням конструктивних особливостей виробу, умов його роботи, властивостей основного матеріалу, вимог до якості зварних з'єднань і точності складання великогабаритної рамної конструкції.

У процесі аналізу конструкції встановлено, що рама автогрейдера GR1003 є відповідальною шарнірно-зчленованою зварною металоконструкцією, яка складається з передньої та задньої напіврами. Передня напіврама виконана у вигляді зварної балки коробчастого перерізу, що сприймає навантаження від тягової рами, робочого обладнання, переднього моста та гідроциліндрів. Задня напіврама є просторовою лонжеронною конструкцією, призначеною для встановлення силового агрегату, трансмісії, кабіни, заднього моста та допоміжних систем. Найбільш навантаженими ділянками рами є шарнірний вузол, кронштейни гідроциліндрів, поперечини, опорні плити та зони переходу перерізів.

Для виготовлення рами обґрунтовано застосування конструкційної сталі S355J2+N. Проведена оцінка зварюваності підтвердила можливість застосування сталі S355J2+N для виготовлення зварної рами за умови правильного вибору режимів зварювання, підготовки кромки і контролю тепловкладення.

У роботі проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення рами та визначено його основні недоліки. На основі цього запропоновано удосконалений технологічний процес, побудований за вузловим принципом.

Запропонований технологічний процес передбачає окреме виготовлення передньої напіврами, задньої напіврами та шарнірного вузла з подальшим складанням їх у загальну рамну конструкцію. Такий підхід дозволяє зменшити кількість одночасно контрольованих параметрів, покращити доступ до швів, скоротити обсяг ручного підганяння та підвищити повторюваність геометричних розмірів. Для передньої напіврами передбачено складання коробчастої балки у спеціальному кондукторі, а для задньої напіврами — складання на базі двох готових швелероподібних лонжеронів у стапелі.

Для виконання зварювальних операцій обґрунтовано застосування механізованого МАГ-зварювання у середовищі захисної газової суміші M21 із використанням зварювального дроту G3Si1. Для довгих прямолінійних швів передбачено використання механізованого переміщення пальника, що підвищує стабільність швидкості зварювання та зменшує вплив людського фактора.

У роботі підібрано сучасне технологічне обладнання для всіх основних етапів виготовлення рами. Для зварювання застосовано обладнання Kemppi, для місцевого підігріву масивних елементів шарнірного вузла — індукційну установку ENRX Minac, для остаточного розточування отворів — переносну систему CLIMAX BB5000. Такий підбір обладнання забезпечує технологічність процесу, точність підготовки деталей і якісне виконання відповідальних операцій. Для забезпечення якості готової рами передбачено багаторівневу систему контролю.

У конструкторській частині розглянуто складально-зварювальну оснастку для виготовлення елементів рами. Виконаний розрахунок притискного пристосування підтвердив необхідність застосування багатоточкового закріплення під час складання передньої коробчастої балки.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці розглянуто основні небезпечні й шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати під час виготовлення рами автогрейдера GR1003. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на створення безпечних умов праці, зниження впливу шкідливих факторів, забезпечення пожежної та електробезпеки, а також раціональну організацію робочих місць.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. <https://www.xcmgglobal.com/product/pro-detail-1193323.htm>
3. <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/s355j2>
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 263 с.
5. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
6. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
7. ДСТУ EN 10025-2:2019. Вироби гарячекатані з конструкційних сталей. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
8. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
9. ДСТУ EN ISO 9606-1:2016. Кваліфікаційні випробування зварників. Зварювання плавленням. Частина 1. Сталі. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
10. ДСТУ EN ISO 15614-1:2019. Технічні умови та кваліфікація технології зварювання металевих матеріалів. Випробування технології зварювання. Частина 1. Дугове та газове зварювання сталей і дугове зварювання нікелю та нікелевих сплавів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
11. ДСТУ EN ISO 14341:2014. Матеріали зварювальні. Дроти електродні та наплавлений метал для дугового зварювання металевим електродом у захисному газі нелегованих і дрібнозернистих сталей. Класифікація. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. Стандарт визначає класифікацію дротів і наплавленого металу для газозахисного дугового зварювання нелегованих і дрібнозернистих сталей.
12. https://evrosvarka.com.ua/ua/p1887938109-svarochneya-provoloka-esab.html?srsltid=AfmBOoo0LJ4Ws2-PHmOCIIQg9zN2F17jVHczcKKGE_qn4653fF0FW0lC
13. ДСТУ EN ISO 14341:2022. Витратні матеріали для зварювання. Дротяні електроди та зварні наплавлення для дугового зварювання нелегованих та дрібнозернистих сталей у захисному газі. Класифікація. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.
14. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014.

15. 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.
16. <https://www.kemppi.com/en/family/x5-fastmig>
17. <https://www.kemppi.com/en/products/x5-power-source-500-pulse-plus-wp>
18. <https://www.kemppi.com/en/products/x5-wire-feeder-hd300-apc>
19. <https://www.kemppi.com/en/family/flexlite-gx>
20. https://userdoc.kemppi.com/om/flexlite-gx/en/content/topics/e_technical%20data%20and%20ordering/technical_data_gx5w.htm
21. https://kemppi.in.ua/_files/download/source/pdf/a3_mig-rail_system_2500_pdf.pdf
22. <https://dp-ndt.uaprom.net/ua/p1072229228-ultrazvukovoj-defektoskop-olympus.html>
23. http://www.krautkramer.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=17
24. ДСТУ EN ISO 17637:2017. Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. ISO 17637 встановлює вимоги до візуального контролю зварних швів у металевих матеріалах.
25. ДСТУ EN ISO 17640:2018. Неруйнівний контроль зварних швів. Ультразвуковий контроль. Методи, рівні контролю та оцінювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
26. Камель Г. І. Контроль якості зварювання. Т. 1. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник / Г. І. Камель, Ю. А. Гасило, П. С. Івченко, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 241 с.
27. <https://www.agtos.com/solutions/blasting-systems/roller-conveyor-blast-machine/>
28. <https://www.voortman.net/en/products/v310>
29. <https://www.voortman.net/en/products/v807>
30. <https://www.beveler.eu/products/uz30-express>
31. <https://www.enrx.com/en/Induction-Products/Induction-heating-equipment/Minac-Mobile-induction-heating-equipment>
32. <https://www.climaxportable.com/products/line-boring-machines/bb5000-line-boring-machine/>
33. <https://sciteex.com/>
34. Карпенко А.С. Технологічна оснастка у зварювальному виробництві: Навч. посібник / А.С. Карпенко. - К.: Арістей, 2005. - 268 с.
35. Безпека життєдіяльності та охорона праці : підруч. / В.В. Сокурєнко, О.М. Бандурка та ін. – Харків : ХНУВС, 2021. 308 с.
36. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с

ДОДАТКИ