

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Розроблення технологічного процесу виготовлення диска
тракторного колеса**

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МП-41
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дарморіс Д. І

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Окіпний І.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет _____ Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра _____ Кафедра інжинірингу машинобудівних технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Окіпний І.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю _____ 133 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ Дарморіс Дарія Іванівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розроблення технологічного процесу виготовлення диска тракторного колеса

Керівник роботи _____ Окіпний Ігор Богданович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 21 » січня 2026 року № 4/9-26

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____ базовий технологічний процес, річна програма випуску – 2000 шт./рік

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітична частина; 2. Технологічна частина; 3. Конструкторська частина;

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1) - 1 арк. А1.)

2) Спеціалізована зварювальна установка Р 879 - 1 арк. А1..

3) Установка для зварювання обичайки - 1 арк. А1.

4) Затискний пристрій для складання обичайок - 2 арк. А1.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____ Дарморіс Д.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Окіпний І.Б.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: "Розроблення технологічного процесу виготовлення диска тракторного колеса" складається із розрахунково-пояснювальної записки об'ємом 86 аркушів формату А4 і графічної частини об'ємом 3 аркушів формату А1. Розрахунково-пояснювальна записка складається із таких частин: аналітична, технологічна, конструкторська та безпека життєдіяльності й основи охорони праці.

Для повного висвітлення питань, що розглядаються у кваліфікаційній роботі, розрахунково-пояснювальна записка містить 26 рисунків та 19 таблиць. При написанні розрахунково-пояснювальної записки використано 40 першоджерел.

В роботі обґрунтовано параметри технологічного процесу виготовлення тракторного диска, а також запропоновано впровадження нового зварювального устаткування, що дозволить підвищити продуктивність виконання операцій технологічного процесу, включаючи операції складально-зварювальних робіт, та покращити якість виробу.

Проведено технічний вибір складально-зварювального обладнання та виконано розрахунок його основних елементів. Передбачено заходи з безпеки життєдіяльності та основ охорони праці при реалізації запропонованого технологічного процесу.

Ключові слова: лінії для виробництва колісних дисків – (ЛВКД) Точкове зварювання (ТЧ) напівавтоматичне зварювання захисним газом (НГ) аргоно-дугове зварювання (АГ) ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РЕЖИМИ ЗВАРЮВАННЯ, НАПІВАВТОМАТ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Опис конструкції виробу	7
1.2 Характеристика матеріалу виробу	12
1.3 Технічні умови на виготовлення виробу	17
1.4 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення виробу	23
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	30
2.1 Обґрунтування способу зварювання	30
2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування.....	40
2.3 Вибір методу контролю якості зварного тракторного колеса-диска.....	44
2.4 Опис запропонованого виробничого процесу.....	50
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	62
3.1 Вибір зварювальних пристосувань та опис їх роботи.....	62
3.2 Розрахунок зусилля притискання кромки обичайки обода тракторного колеса.....	66
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	71
4.1 Вимоги безпеки, що ставляться до виробничого процесу	71
4.2 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.	73
ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	79
ДОДАТКИ	83

ВСТУП

На сьогодні існує значна кількість різновидів колісних дисків, які застосовуються в автомобільній та сільськогосподарській техніці. Особливе місце серед них займають колісні тракторні диски, які працюють в умовах підвищених навантажень, впливу агресивного середовища та змінних експлуатаційних режимів.

Сучасне машинобудування передбачає використання різноманітних технологій виготовлення колісних дисків — від традиційного штампування до застосування інноваційних матеріалів і методів їх обробки. Водночас для тракторних коліс вирішальним залишаються міцність, надійність та довговічність, що обумовлює переважне використання сталевих конструкцій.

Значна кількість підприємств інвестують значні ресурси в удосконалення технологічних процесів виготовлення колісних дисків, зокрема шляхом впровадження передового обладнання та оптимізації режимів обробки і зварювання. Це дає змогу підвищити якість продукції, зменшити матеріаломісткість та забезпечити конкурентоспроможність виробів.

Розвиток технологічного обладнання, зокрема автоматизованих та напівавтоматичних зварювальних установок, суттєво вплинув на виробництво виробів, зокрема колісних дисків. Використання сучасних машин і верстатів дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити вплив людського фактора та зменшити кількість дефектів. Однак це висуває підвищені вимоги до кваліфікації персоналу.

У сучасних умовах значна частина виробничих процесів автоматизована, що сприяє зниженню рівня браку та оптимізації витрат на виготовлення продукції. У зв'язку з цим актуальним є розроблення ефективного технологічного процесу виготовлення диска тракторного колеса з урахуванням сучасних вимог до якості, надійності та економічності виробництва.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції виробу

Тракторні диски на даний час поділяються на чотири основні групи які потім розділяються на менші типи. Класифікація тракторних дисків відбувається за наступними параметрами: за способом виготовлення; в залежності від сплаву з якого виготовляються; за конструкцією; в залежності від методу виконання та від призначення..

Штамповано-зварний стальний диск та його схематичне зображення представлено на рис. 1.1 та рис. 1.2 відповідно. Особливість цього типу полягає у високій міцності, відмінній ремонтпридатності та низькій вартості порівняно з іншими типами. Сучасні диски виготовляються з високоміцної сталі, мають якісне балансування та фарбуються порошковою фарбою або двокомпонентним покриттям на основі катафорезу. Таке покриття має хорошу адгезію, захищає від корозії та є екологічно чистим [1-4].



Рис. 1.1 – Штамповано – зварний стальний диск

Зазвичай штамповано-зварний стальний диск, пофарбований порошковою фарбою, проте випускаються також вироби з 4 або 5 отворами кріплення чорного або сріблястого кольору. Як ґрунт при фарбуванні використовується катафорез, двокомпонентне покриття, що не містить свинцю, що забезпечує екологічну чистоту виробництва. Таке покриття володіє хорошою адгезією, низькою

температурою сушіння, високою опірністю корозії, малою витратою та кращим зовнішнім виглядом.

Основним параметрами штамповано-зварних сталевих дисків є: 1. ширина диска; 2. діаметр диска; 3. діаметр розташування отворів; 4. діаметр центрального отвору; 5. виліт.

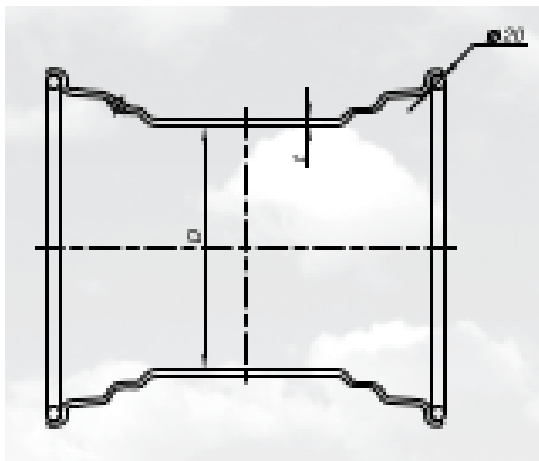


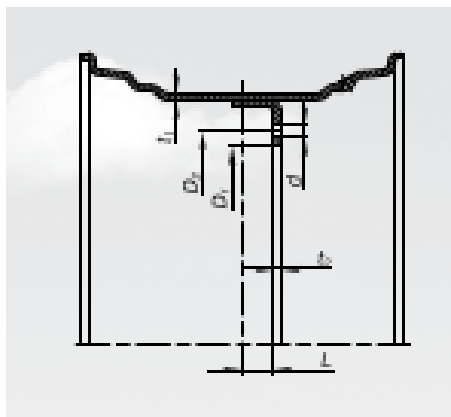
Рис. 1.2 — Схематичне зображення штамповано — зварного диска

Литий легко сплавний диск цей тип відноситься до так званих преміальних тракторних дисків (зовнішній вигляд зображений на рис. 1.4).

Вони мають більш оригінальний та естетичний вигляд за описаний вище диск й важать набагато менше сталевих аналогів все це через те що відлиті вони з алюмінієво-магнієвого сплаву. У порівнянні з колесами зі сталевих листів тієї ж розмірності вони мають меншу масу (на 15 і 30%, відповідно) і більшу міцність. В результаті в автомобіля з такими колесами знижується безпружинна маса, що сприятливо позначається на роботі підвіски. За однакової ефективності роботи амортизаторів забезпечується кращий контакт коліс автомобіля з опорною поверхнею.

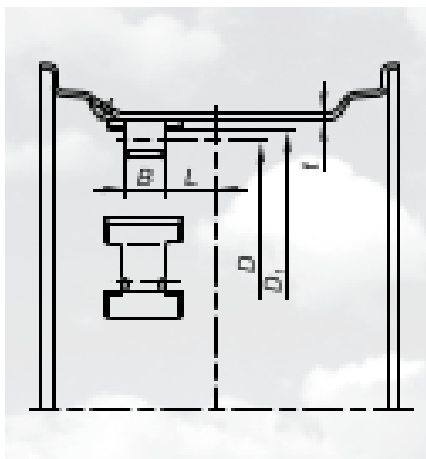
В них є основна проблема цей тип може лопнути чи тріснути і розсіпатись що свідчить про погану ремонтпридатність. Технологічно для виробництва даних дисків необхідне дорожче обладнання, адже для створення великої кількості різноманітних дизайнів необхідно мати на виробництві спеціальні форми для лиття того чи іншого виду диска.

Виготовляється методом гарячого штампування з алюмінієвих або магнієвих сплавів із подальшою термомеханічною обробкою (рис. 1.5). Вони міцніші та легші за литі диски. Завдяки високій надійності їх практично неможливо зруйнувати під час руху, тому вони часто використовуються в гоночних машинах і важких умовах. Недоліком є висока вартість устаткування, складність процесу та обмеженість геометричних дизайнів.



1 – закраїна; 2 – полиця; 3 – струмок; b – ширина профілю обода; d – посадковий діаметр; f – глибина струмка; h_3 – висота країни; 50 – кут нахилу посадкових полиць

Рис. 1.3 – Асиметричний обід дискового колеса для легкових автомобілів



- 1 – підкат з внутрішньої сторони обода;
- 2 – плоский підкат із зовнішнього боку обода

Рис. 1.4 – Симетричний обід з комбінованим підкатом

Симетричний обід має зміщення струмка до зовнішньої сторони колеса, це зроблено для того аби залишалось більше місця для розміщення гальмівного механізму. Також це робиться задля надійної посадки бортів радіальних

безкамерних шин та запобігання їх сповзання з полиць ободів коліс. Бо така ситуація при криволінійному русі автомобіля з частково зниженим тиском повітря навіть в одній із шин дуже часто стає причиною втрати керованості. Полиці ободів для легкових автомобілів виготовляють, в переважній більшості випадків з безпечними контурами саме через попередньо описану вище проблему.

Найбільшого застосування знайшли: підкат («Hump», позначається Н) та плоский підкат («Flat-Hump», позначається FH). Підкат (рис. 1.9) являє собою розташований по поверхні однієї з полиць обода закруглений виступ 1, а плоский підкат-виступ 2 з відносно гострою кромкою.

З усіх описаних дисків найбільш широкого застосування знайшли штамповано-зварні диски. Основна перевага даного типу це - низька вартість виробництва відносно легка технологія виготовлення виробу, затребуваність на ринку та висока ремонтпридатність при ушкодженні.

На відміну від суцільнолитих або складених болтових конструкцій, зварне колесо виготовляється з окремих сталевих елементів, які після складання з'єднуються між собою зварюванням. Така конструкція є технологічною, достатньо міцною та придатною для серійного виготовлення коліс сільськогосподарської техніки.

Основними складовими зварного тракторного колеса-диска є обід, центральний диск, посадкова частина під маточину, кріпильні отвори, зона зварного з'єднання диска з ободом та, за потреби, підсилювальні елементи. Обід виконує функцію опорної частини для встановлення шини. Він має профільовану форму, яка забезпечує надійну посадку борта шини, її фіксацію під час роботи та запобігає зміщенню при дії тягових і бокових навантажень. У конструкції обода передбачаються полиці, закраїни та посадкові поверхні, форма яких залежить від типорозміру шини та призначення колеса.

Центральний диск є силовою частиною колеса. Він з'єднує обід із маточиною трактора і сприймає основні експлуатаційні навантаження. Диск зазвичай виготовляють із сталевих листів методом вирізання, штампування або гнуття. Для підвищення жорсткості й опору деформаціям йому надають

тарілчасту, конічну або фасонну форму. Така геометрія дозволяє рівномірніше розподіляти напруження між центральною частиною та зоною приварювання до обода.

У центральній частині диска розміщено отвір для встановлення на маточину. Навколо нього виконують отвори під кріпильні болти або шпильки. Кількість, діаметр і розташування цих отворів залежать від конструкції маточини конкретного трактора. Центральна зона диска працює в умовах значних контактних і згинальних навантажень, тому її часто виконують збільшеної товщини або підсилюють додатковим кільцем. Це дає змогу зменшити ризик утворення тріщин біля кріпильних отворів і підвищити довговічність колеса.

З'єднання диска з ободом виконується зварюванням. Найчастіше застосовують кільцеві або переривчасті кутові шви, розміщені по колу в місці контакту диска з внутрішньою поверхнею обода. Зварний шов повинен забезпечувати достатню міцність і герметичність конструкції, а також витримувати дію змінних навантажень, що виникають під час руху трактора по нерівній поверхні, роботі з навісним обладнанням і буксируванні причіпних агрегатів. Особлива увага приділяється якості провару, відсутності тріщин, підрізів, пор і непроварів, оскільки дефекти в зоні зварювання можуть призвести до руйнування колеса під час експлуатації.

Матеріалом для виготовлення зварного тракторного колеса-диска зазвичай є низьковуглецева або низьколегована конструкційна сталь. Вона повинна добре піддаватися штампуванню, гнуттю та зварюванню, мати достатню міцність, пластичність і стійкість до втомного руйнування. Після виготовлення колесо піддають очищенню, контролю зварних швів і нанесенню захисного покриття. Лакофарбове або ґрунтове покриття захищає метал від корозії, оскільки під час роботи тракторне колесо постійно контактує з вологою, ґрунтом, мінеральними добривами та іншими агресивними середовищами.

Під час експлуатації зварне тракторне колесо-диск сприймає вертикальні навантаження від маси трактора, крутний момент від ведучого моста, тягові зусилля, бокові сили під час поворотів, а також ударні навантаження від

нерівностей дороги або поля. Через це конструкція колеса повинна мати достатню жорсткість, але водночас не бути надмірно важкою. Раціональна форма диска, правильне розташування зварних швів і застосування підсилювальних елементів дозволяють підвищити надійність колеса та зменшити ймовірність появи залишкових деформацій.

1.2 Характеристика матеріалу виробу

Для виготовлення зварного тракторного колеса-диска найчастіше застосовують низьковуглецеві конструкційні сталі звичайної якості, наприклад Ст3сп, Ст3пс або близькі за властивостями сталі типу S235JR. У разі підвищених навантажень або роботи колеса у важких умовах можуть використовуватися низьколеговані сталі, наприклад 09Г2С, однак для більшості серійних зварних коліс достатньо низьковуглецевої сталі, яка добре зварюється, штампується та гнеться.

Найбільш доцільним матеріалом для такого виробу можна вважати сталь Ст3сп або Ст3пс, оскільки вона має достатню міцність, пластичність і технологічність. Ця сталь добре піддається обробці тиском, що важливо під час формування обода та дискової частини колеса. Крім того, вона не потребує складних режимів попереднього підігріву під час зварювання, що спрощує технологічний процес виготовлення [2].

Сталь Ст3 належить до групи низьковуглецевих сталей. Вміст вуглецю в ній невисокий, тому матеріал має добру пластичність і не схильний до утворення холодних тріщин під час зварювання. Наявність марганцю та кремнію забезпечує необхідний рівень міцності й покращує опірність деформаціям під навантаженням. Завдяки цьому диск колеса може сприймати вертикальні, бокові, ударні та крутні навантаження, які виникають під час роботи трактора.

Особливо важливою властивістю матеріалу є зварюваність. Для зварного тракторного колеса-диска це має принципове значення, оскільки обід, центральний диск і підсилювальні елементи з'єднуються між собою зварними швами. Низьковуглецева сталь забезпечує стабільне формування зварного шва,

достатню глибину провару та невисоку ймовірність появи тріщин за умови правильного вибору режиму зварювання. Зварювання таких сталей може виконуватися ручним дуговим, напівавтоматичним або автоматизованим способом у середовищі захисних газів.

Важливою перевагою сталі Ст3 є її пластичність. Під час експлуатації тракторне колесо працює не лише на статичне навантаження, а й на змінні динамічні впливи. При русі по ґрунту, нерівностях, коліях або кам'янистій поверхні диск зазнає багаторазових навантажень, тому матеріал повинен не бути крихким. Пластична сталь краще сприймає короточасні перевантаження, локальні деформації та вібрації без раптового руйнування.

Ще однією важливою характеристикою є технологічність матеріалу. Сталь повинна легко різатися, штампуватися, гнутися, свердлитися та зварюватися. Це дає змогу виготовляти обід із листової або стрічкової заготовки, формувати центральний диск, виконувати отвори під кріплення та з'єднувати елементи в єдину конструкцію. Саме тому низьковуглецеві сталі широко застосовують для зварних металевих виробів, які працюють у помірно навантажених умовах.

Разом із тим сталь Ст3 має один недолік — схильність до корозії при тривалому контакті з вологою, ґрунтом, добривами та дорожніми реагентами. Тому після виготовлення тракторне колесо-диск необхідно очищати від окалини, іржі та залишків зварювання, після чого наносити ґрунтове й лакофарбове покриття. Захисне покриття підвищує довговічність виробу та зменшує ймовірність корозійного пошкодження зварних швів і посадкових поверхонь.

Орієнтовні характеристики сталі Ст3сп надані у табл.1.1

Таблиця 1.1 – Орієнтовні характеристики сталі Ст3сп

Показник	Орієнтовне значення
Тип матеріалу	Низьковуглецева конструкційна сталь
Границя текучості	близько 235–245 Мпа
Тимчасовий опір розриву	приблизно 370–490 Мпа
Відносне видовження	близько 20–26 %
Зварюваність	Добра
Оброблюваність тиском	Добра
Схильність до утворення тріщин при зварюванні	Низька
Корозійна стійкість	Обмежена, потребує захисного покриття

Опис зварюваності сталі для тракторного колеса-диска

Зварне тракторне колесо-диск складається з обода, центрального диска та, за потреби, підсилювальних кілець. Усі ці елементи з'єднуються між собою зварюванням, тому матеріал повинен добре сприймати тепловий вплив зварювальної дуги, не утворювати тріщин у зоні термічного впливу та забезпечувати достатню міцність зварного з'єднання.

Для виготовлення такого виробу доцільно застосовувати сталь СтЗсп або СтЗпс, оскільки вона має невисокий вміст вуглецю, добре зварюється, легко піддається гнуттю, штампуванню та механічній обробці. Завдяки низькому вмісту вуглецю ця сталь не має значної схильності до утворення холодних тріщин, а зварювання можна виконувати без складної термічної підготовки.

Зварювання елементів тракторного колеса-диска доцільно виконувати напівавтоматичним способом у середовищі захисного газу CO₂ або суміші Ar + CO₂. Як присадний матеріал можна застосовувати дріт Св-08Г2С діаметром 0,8–1,2 мм. Такий спосіб забезпечує рівномірне формування кільцевих і кутових швів, високу продуктивність та достатню якість з'єднання.

Для сталі СтЗсп приймаємо орієнтовний хімічний склад, що наведені у табл.1.2.

Таблиця 1.2 - Хімічний склад

Елемент	Позначення	Вміст, %
Вуглець	C	0,22
Марганець	Mn	0,65
Кремній	Si	0,30
Сірка	S	0,05
Фосфор	P	0,04
Хром	Cr	0,00
Нікель	Ni	0,00
Мідь	Cu	0,00

Сталь СтЗсп належить до конструкційних вуглецевих сталей звичайної якості. Її широко застосовують для виготовлення зварних металоконструкцій,

рам, кронштейнів, ободів, дисків коліс, корпусних деталей та інших елементів, які працюють за статичних або помірних динамічних навантажень. Позначення «сп» означає, що сталь є спокійною, тобто має вищу однорідність структури порівняно з киплячою сталлю, меншу газонасиченість і кращу придатність до відповідальних зварних конструкцій.

Для оцінювання зварюваності сталі СтЗсп визначимо її вуглецевий еквівалент. Цей показник дає змогу встановити, наскільки сталь схильна до утворення гартівних структур і холодних тріщин у зоні термічного впливу.

Оскільки сталь СтЗсп не належить до легованих сталей, хром, нікель і мідь у розрахунку враховуються як залишкові домішки. Молібден і ванадій для цієї сталі не є характерними легувальними елементами, тому їх приймаємо рівними нулю.

Вуглецевий еквівалент визначаємо за формулою [5]:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} = 0,17 + \frac{0,50}{6} + \frac{0,10+0+0}{5} + \frac{0,10+0,10}{15} = 0,286 \quad (1.1)$$

Отже, розрахункове значення вуглецевого еквівалента становить $C_{\text{екв}} \approx 0,29\%$.

Для конструкційних сталей прийнято вважати, що при значенні вуглецевого еквівалента до 0,35 % сталь має добру зварюваність. Якщо $C_{\text{екв}}$ перебуває в межах 0,35–0,45 %, зварюваність оцінюють як задовільну, а при більших значеннях зростає потреба в попередньому підігріві, обмеженні швидкості охолодження та додатковому контролі зварних з'єднань.

Оскільки для сталі СтЗсп отримано $C_{\text{екв}} = 0,29\% < 0,35\%$ можна зробити висновок, що ця сталь належить до добре зварюваних матеріалів.

Для додаткової оцінки визначимо умовний показник схильності сталі до утворення тріщин:

$$P_{\text{зв}} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cu}{20} = 0,17 + \frac{0,20}{30} + \frac{0,50}{20} + \frac{0,10}{20} + \frac{0,10}{60} + \frac{0,10}{20} = 0,21 \quad (1.2)$$

Отже, $P_{\text{зв}} \approx 0,21\%$.

Невелике значення показника $P_{\text{зв}}$ підтверджує, що сталь СтЗсп має низьку схильність до утворення холодних тріщин. Це особливо важливо для диска

тракторного колеса, оскільки його зварні шви працюють в умовах циклічного навантаження, вібрацій, ударів і дії згинальних моментів.

З урахуванням отриманих результатів можна стверджувати, що сталь Ст3сп добре підходить для виготовлення зварного диска тракторного колеса. При зварюванні деталей товщиною до 10–12 мм попередній підігрів, як правило, не потрібний. Якщо товщина елементів диска перевищує 14–16 мм, конструкція має високу жорсткість або зварювання виконується за температури навколишнього середовища нижче +5 °С, доцільно застосовувати місцевий підігрів у межах 80–120 °С. Це дає змогу зменшити температурні напруження, покращити формування шва та знизити ризик появи тріщин.

Для зварювання сталі Ст3сп у конструкції диска тракторного колеса можна застосовувати ручне дугове зварювання покритими електродами або напівавтоматичне зварювання в середовищі захисного газу. Найбільш раціональним для серійного або ремонтного виготовлення є напівавтоматичне зварювання в середовищі CO₂ або газової суміші Ar+CO₂, оскільки воно забезпечує стабільне горіння дуги, достатню глибину проплавлення, рівномірне формування кутових і кільцевих швів, а також вищу продуктивність порівняно з ручним дуговим способом.

Для отримання якісного зварного з'єднання необхідно перед зварюванням очистити кромки та прилеглі поверхні на ширину не менше 20–30 мм від іржі, мастила, вологи, окалини та інших забруднень. При складанні диска в пристосуванні потрібно забезпечити співвісність обода, дискової частини та маточиної зони. Зварювання кільцевих швів слід виконувати симетрично або з чергуванням ділянок, щоб зменшити короблення та залишкові напруження.

У зварних швах диска не допускаються тріщини будь-якого розміру, непровари, прожоги, кратери, шлакові включення, скупчення пор і підрізи глибиною понад 0,5 мм. Після зварювання шви необхідно очистити від шлаку та бризок, а найбільш навантажені ділянки — у зоні з'єднання диска з ободом і маточиною частиною — перевірити візуально-вимірним методом, а за потреби магнітопорошковим або капілярним контролем [6].

За результатами розрахунку встановлено, що вуглецевий еквівалент сталі СтЗсп становить приблизно 0,29 %, а умовний показник схильності до утворення тріщин — близько 0,21 %. Такі значення свідчать про добру зварюваність сталі та її придатність для виготовлення зварного диска тракторного колеса. Сталь СтЗсп не потребує складних технологічних заходів під час зварювання, однак для забезпечення високої якості виробу необхідно правильно підготувати кромки, виконувати складання у кондукторі, дотримуватися раціональної послідовності накладання швів і контролювати геометрію диска після зварювання.

1.3 Технічні умови на виготовлення виробу

Зварне тракторне колесо-диск є відповідальним вузлом ходової частини трактора, тому до його конструкції та технології виготовлення ставляться підвищені вимоги. Колесо повинно забезпечувати надійне кріплення шини, правильне встановлення на маточині, передачу тягових і вертикальних навантажень, а також зберігати працездатність в умовах вібрацій, ударів, забруднення, вологи та дії корозійного середовища.

Конструкція зварного тракторного колеса-диска повинна забезпечувати достатню міцність, жорсткість і довговічність під час експлуатації трактора в польових, дорожніх і транспортних умовах. Основними елементами виробу є обід, центральний диск, посадкова частина під маточину, отвори під кріпильні болти або шпильки, а також зварні шви, які з'єднують диск з ободом.

Обід колеса повинен мати правильну профільовану форму, що забезпечує надійну посадку борта шини та запобігає її зміщенню під час руху або роботи трактора з тяговим навантаженням. Центральний диск повинен забезпечувати співвісне з'єднання колеса з маточиною і рівномірну передачу навантажень від трактора до обода. У місцях підвищених напружень, зокрема біля центрального отвору та кріпильних отворів, допускається застосування підсилювальних кілець або збільшення товщини металу.

Конструкція повинна бути технологічною для виготовлення, тобто придатною до різання, штампування, гнуття, свердління, складання та

зварювання. Форма диска повинна мінімізувати концентрацію напружень, тому переходи між окремими ділянками мають бути плавними, без різких уступів, гострих кутів і необґрунтованих вирізів. [7]

Для виготовлення обода, диска та підсилювальних елементів необхідно застосовувати конструкційну сталь, яка має достатню міцність, пластичність і добру зварюваність. Найбільш доцільним є використання низьковуглецевих сталей типу Ст3сп, Ст3пс або аналогічних матеріалів.

Матеріал повинен відповідати таким вимогам, що наведені у табл.1.3.

Таблиця 1.3 – Вимоги до матеріалу

Вимога до матеріалу	Призначення
Достатня міцність	Сприймання вертикальних, бокових і тягових навантажень
Добра пластичність	Запобігання крихкому руйнуванню при ударах і вібраціях
Добра зварюваність	Забезпечення якісного з'єднання обода з диском
Придатність до гнуття і штампування	Можливість формування обода та дискової частини
Стійкість до втомного навантаження	Підвищення довговічності виробу
Можливість нанесення захисного покриття	Захист від корозії

Метал заготовок не повинен мати тріщин, розшарувань, глибоких рисок, раковин, значної корозії та інших дефектів, які можуть знизити міцність колеса. Перед запуском у виробництво листовий або профільний матеріал повинен проходити вхідний контроль.

Заготовки для обода та центрального диска повинні виготовлятися відповідно до робочих креслень і технологічної документації. Розміри заготовок мають забезпечувати можливість подальшого гнуття, формування, механічної обробки та зварювання без утворення надмірних залишкових напружень.

Кромки деталей після різання повинні бути очищені від задирок, окалини, шлаку та гострих виступів. Не допускається наявність тріщин, надривів, пропалів, значних нерівностей і розшарувань у зоні майбутнього зварного з'єднання.

Перед складанням поверхні деталей у місцях зварювання необхідно очистити від: іржі; мастила; фарби; вологи; окалини; пилу; технологічних забруднень.

Очищення рекомендується виконувати механічним способом до металевого блиску на ширину не менше 15–20 мм від зони зварювання. Це забезпечує стабільне формування шва і зменшує ризик появи пор, непроварів та інших дефектів.

Складання обода з центральним диском повинно виконуватися у спеціальному пристрої або кондукторі, який забезпечує правильне взаємне положення деталей. Особливо важливо забезпечити співвісність обода і центрального диска, оскільки порушення геометрії може призвести до биття колеса, нерівномірного навантаження шини та прискореного зношування ходової частини трактора. Під час складання необхідно контролювати наступні параметри, що наведені у табл.1.4

Таблиця 1.4 – Контрольні параметри та вимоги

<i>Контрольований параметр</i>	<i>Вимога</i>
Співвісність обода і диска	Забезпечується фіксацією в кондукторі
Положення центрального отвору	Повинно відповідати осі колеса
Розташування кріпильних отворів	Відповідно до креслення
Зазор у зоні зварювання	Повинен бути рівномірним по колу
Перпендикулярність площини кріплення	Відхилення не повинні впливати на посадку на маточину
Торцеве та радіальне биття	Повинно бути в межах допустимих значень

Перед основним зварюванням деталі слід зафіксувати прихоплювальними швами. Прихоплення повинні розміщуватися рівномірно по колу, щоб запобігти перекосу диска відносно обода. Прихоплювальні шви мають бути очищені та перевірені перед виконанням основного шва.

Зварювання зварного тракторного колеса-диска повинно виконуватися відповідно до затвердженої технології. Для виготовлення таких виробів доцільно застосовувати напівавтоматичне зварювання плавким дротом у середовищі захисного газу CO₂ або суміші Ar + CO₂. Як присадний матеріал може застосовуватися дріт Св-08Г2С.

Основне зварне з'єднання між ободом і диском слід виконувати кільцевим або переривчастим кутовим швом залежно від конструкції виробу. Шов повинен мати рівномірний переріз, плавний перехід до основного металу та достатній провар. Орієнтовні вимоги до зварного шва наведені у табл.1.5.

Таблиця 1.5 - Вимоги до зварного шва

Параметр	Вимога
Тип шва	Кутовий, кільцевий або переривчастий
Форма шва	Рівномірна, без різких переходів
Провар	Достатній по всій довжині з'єднання
Підрізи	Не допускаються або допускаються лише в межах нормативів
Пори	Не допускаються у значній кількості
Тріщини	Не допускаються
Непровари	Не допускаються
Напливи і пропали	Не допускаються
Шлакові включення	Не допускаються

Зварювання бажано виконувати в нижньому або горизонтальному положенні. Для збереження геометрії колеса доцільно використовувати обертач або зварювальний пристрій, який дозволяє рівномірно вести шов по колу. Надмірне тепловкладення не допускається, оскільки воно може спричинити деформацію обода, зміну співвісності або появу залишкових напружень.

Під час виготовлення зварного колеса-диска особливу увагу необхідно приділяти обмеженню зварювальних деформацій. Через кільцеву форму виробу навіть незначне нерівномірне нагрівання може призвести до торцевого або радіального биття. [8] Для зменшення деформацій необхідно:

- ✓ виконувати складання у жорсткому кондукторі;
- ✓ рівномірно розміщувати прихоплення по колу;
- ✓ застосовувати симетричну послідовність накладання швів;
- ✓ не допускати надмірного перегрівання металу;
- ✓ за можливості виконувати зварювання з обертанням виробу;
- ✓ контролювати геометрію після прихоплення та після остаточного зварювання.

У разі виявлення незначних відхилень допускається правлення виробу, якщо воно не призводить до появи тріщин, локального зміцнення металу або пошкодження зварних швів.

Після зварювання, за потреби, виконують механічну обробку центрального отвору, кріпильних отворів і посадкових поверхонь. Отвори під болти або шпильки повинні мати правильну форму, відповідний діаметр і точне розташування по колу. Не допускаються:

- ✓ овальність отворів понад допустимі значення;
- ✓ зміщення отворів відносно осі колеса;
- ✓ задирки на кромках отворів;
- ✓ тріщини в зоні кріплення;
- ✓ пошкодження посадкової площини.

Посадкова площина диска повинна забезпечувати щільне прилягання до маточини. Нерівності, перекося або забруднення в цій зоні можуть викликати послаблення кріплення та появу додаткових динамічних навантажень.

Готове зварне тракторне колесо-диск повинно проходити контроль якості, який включає перевірку матеріалу, зварних швів, геометрії та стану поверхні.

Основні види контролю надані у табл.1.6

Таблиця 1.6 - Види контролю

<i>Вид контролю</i>	<i>Що перевіряється</i>
Вхідний контроль матеріалу	Марка сталі, стан поверхні, відсутність дефектів
Візуально-вимірний контроль	Якість швів, розміри, форма, наявність дефектів
Контроль геометрії	Співвісність, торцеве і радіальне биття
Контроль кріпильних отворів	Діаметр, кількість, розташування, відсутність тріщин
Контроль зварних швів	Провар, катет, рівномірність, відсутність тріщин
Контроль поверхні	Відсутність корозії, гострих кромки, окалини
Контроль покриття	Рівномірність ґрунтування і фарбування

Особливу увагу слід приділяти зоні приварювання диска до обода, оскільки саме вона є найбільш навантаженою під час роботи трактора. У разі необхідності,

крім візуального контролю, можуть застосовуватися капілярний або магнітопорошковий методи для виявлення поверхневих тріщин.

Після завершення зварювання, очищення та контролю колесо-диск необхідно захистити від корозії. Для цього поверхню очищають від окалини, бризок металу, залишків шлаку, пилу та мастила. Після підготовки поверхні наносять ґрунтове покриття, а потім лакофарбовий шар.

Антикорозійне покриття повинно:

- ✓ рівномірно покривати всю поверхню колеса;
- ✓ захищати метал від вологи, ґрунту та добрив;
- ✓ не мати пропусків, здуття, відшарування і патьоків;
- ✓ забезпечувати довготривалу експлуатацію виробу в польових умовах.

Особливо ретельно необхідно обробляти зони зварних швів, внутрішні поверхні обода, ділянки біля кріпильних отворів і місця можливого скупчення вологи.

Готове зварне тракторне колесо-диск повинно відповідати кресленню, технічній документації та вимогам безпечної експлуатації. Виріб повинен мати правильну геометричну форму, якісні зварні з'єднання, оброблені кромки, точне розташування кріпильних отворів і надійне захисне покриття.

У готовому виробі не допускаються:

- ✓ тріщини в основному металі та зварних швах;
- ✓ непровари, пропали та значні подрізи;
- ✓ деформація обода або диска;
- ✓ порушення співвісності;
- ✓ надмірне радіальне або торцеве биття;
- ✓ гострі необроблені кромки;
- ✓ значна корозія;
- ✓ відшарування захисного покриття;
- ✓ зміщення кріпильних отворів;
- ✓ дефекти, які можуть знизити міцність або безпеку експлуатації.

Таблиця 1.7. – Група вимог та основний зміст

Група вимог	Основний зміст
Конструктивні вимоги	Міцність, жорсткість, співвісність, правильна форма обода і диска
Вимоги до матеріалу	Застосування зварюваної конструкційної сталі з достатньою пластичністю
Вимоги до заготовок	Відсутність тріщин, розшарувань, корозії, дефектів різання
Вимоги до складання	Точне центрування, рівномірний зазор, фіксація у кондукторі
Вимоги до зварювання	Якісний провар, рівномірний шов, відсутність тріщин і непроварів
Вимоги до геометрії	Мінімальне радіальне й торцеве биття, правильне положення отворів
Вимоги до контролю	Візуальний, вимірювальний, геометричний і, за потреби, неруйнівний контроль
Вимоги до покриття	Очищення, ґрунтування, фарбування, захист від корозії
Вимоги до безпеки	Виріб не повинен мати дефектів, які можуть спричинити руйнування під час роботи

1.4 Аналіз технологічних особливостей виготовлення зварного диска тракторного колеса та напрями вдосконалення процесу

Зварний диск тракторного колеса є відповідальним елементом ходової системи, який працює не лише як деталь кріплення шини, а як силова ланка між маточиною трактора, ободом і опорною поверхнею. Через диск передаються вертикальні навантаження від маси машини, тягові зусилля, гальмівний момент, бокові сили при повороті, а також ударні навантаження, що виникають під час руху по нерівному ґрунту. Саме тому технологія його виготовлення повинна забезпечувати не тільки міцність зварних швів, а й стабільну геометрію виробу, точність посадкових поверхонь, співвісність отворів і достатню довговічність в умовах циклічного навантаження.

На відміну від простих зварних металоконструкцій, диск тракторного колеса має замкнену кільцеву форму, що ускладнює контроль деформацій після зварювання. Навіть незначне зміщення центральної частини відносно обода призводить до торцевого або радіального биття, нерівномірного навантаження на

кріпильні шпильки, прискореного зношування шини та появи додаткових вібрацій. Тому основна технологічна проблема при виготовленні такого виробу полягає не тільки у виконанні якісного шва, а й у збереженні правильної просторової форми колеса після всіх операцій. [9]

Традиційні технології виготовлення зварних дисків тракторних коліс зазвичай передбачають окреме виготовлення обода, центрального диска, підсилювальних елементів, їх складання, прихоплення, зварювання, правлення, механічну обробку та фарбування. Така схема є поширеною, однак її ефективність значною мірою залежить від рівня оснащення виробництва. При використанні універсального обладнання та значної частки ручної праці виникає проблема нестабільної якості: один виріб може мати задовільну геометрію, а інший — підвищене биття, зміщення диска або нерівномірність шва.

Існуючі технологічні процеси виготовлення зварних тракторних дисків переважно базуються на окремому виготовленні обода, центрального диска, маточиної зони та підсилювальних елементів із подальшим складанням цих деталей у єдину конструкцію. Такий підхід є достатньо поширеним і технологічно зрозумілим, однак його ефективність значною мірою залежить від рівня оснащення виробництва. Якщо операції виконуються із застосуванням універсального обладнання та значної частки ручної праці, виникає ризик нестабільної якості: похибки, допущені під час розкрою, формування або складання, надалі закріплюються зварюванням і можуть призвести до підвищеного биття, перекосу диска або нерівномірного навантаження на кріпильні елементи.

На початковому етапі технологічного процесу важливе значення має якість підготовки металу та розкрою заготовок. Для виготовлення диска тракторного колеса доцільно застосовувати конструкційну сталь з доброю зварюваністю, наприклад СтЗсп, яка забезпечує достатню пластичність, технологічність оброблення та придатність до зварювання без складних додаткових заходів. Проте навіть за правильного вибору матеріалу якість готового виробу значною мірою залежить від точності заготовок. У традиційних технологіях розкрій часто

виконують газовим або механічним способом, що призводить до утворення нерівних кромek, грату, окалини, місцевого перегрівання металу та потреби в додатковому ручному зачищенні. Для диска тракторного колеса це є суттєвим недоліком, оскільки нерівність кромek і нестабільність розмірів заготовок ускладнюють складання, спричиняють нерівномірні зазори в зоні майбутніх швів і погіршують умови формування зварного з'єднання.

Особливо відповідальною є операція виготовлення обода, оскільки саме він забезпечує правильну посадку шини та передавання навантаження від шини до центрального диска. Обід зазвичай виготовляють із листової або стрічкової заготовки шляхом профілювання, вальцювання та подальшого стикового зварювання у кільце. При цьому основними технологічними труднощами є забезпечення правильної круглої форми, стабільного профілю посадкових полиць і відсутності місцевих деформацій після зварювання стику. За недостатньої точності вальцювання або відсутності калібрування обід може мати овальність, хвилястість чи місцеві перекоси. Такі відхилення негативно впливають на посадку шини, ускладнюють складання з центральним диском і можуть стати причиною радіального биття готового колеса. Для трактора це особливо небажано, оскільки колесо працює при значних тягових навантаженнях, а нерівномірне прилягання шини до обода призводить до прискореного зношування гуми та зниження надійності роботи ходової частини.

Центральний диск виконує силову функцію, оскільки через нього передаються навантаження від маточини до обода. У зоні центрального отвору та кріпильних отворів виникають підвищені контактні й циклічні напруження, тому ця частина виробу повинна мати достатню жорсткість і точність. У простіших технологіях центральний диск виготовляють плоским, однак такий варіант не завжди є раціональним для тракторного колеса. Плоска форма має меншу просторову жорсткість і гірше протидіє згинальним навантаженням. Більш доцільним є застосування тарілчастої, конічної або фасонної форми, яка забезпечує кращий перерозподіл напружень між маточиною зоною та ободом. При цьому важливим є питання оброблення центрального і кріпильних отворів.

Якщо вони остаточно виконуються до зварювання, після теплового впливу можливе незначне зміщення осей або порушення співвісності. Тому з технологічного погляду доцільно залишати припуск і виконувати остаточно механічну обробку цих отворів після зварювання, правлення та контролю геометрії.

Найбільш відповідальною операцією в технологічному процесі є складання обода з центральним диском. Саме на цій стадії формується положення основної осі колеса, визначається рівномірність зазору під зварювання та задається взаємне розташування деталей. Якщо складання виконується без спеціального пристосування, якість значною мірою залежить від кваліфікації робітника. У такому випадку можливі зміщення центрального диска відносно обода, перекіс площини прилягання до маточини, нерівномірний зазор у місці зварювання та деформація обода під час прихоплення. Після виконання основних швів ці похибки стають практично закріпленими в конструкції, а їх усунення потребує додаткового правлення або навіть бракування виробу. Тому для виготовлення зварного диска тракторного колеса доцільно застосовувати спеціальний складально-зварювальний кондуктор, який забезпечує базування обода, центрування центрального диска, фіксацію деталей у заданому положенні та можливість контролю співвісності перед зварюванням.

Зварювання диска з ободом є операцією, від якої безпосередньо залежить міцність і довговічність готового виробу. У ремонтних або одиничних умовах може застосовуватися ручне дугове зварювання покритими електродами. Його перевагою є простота обладнання та можливість виконання робіт без складних пристроїв. Проте для серійного виготовлення дисків тракторних коліс цей спосіб має суттєві недоліки: нестабільність форми шва, залежність якості від зварника, нерівномірне тепловкладення та підвищений ризик утворення підрізів, напливів, непроварів і деформацій. Для такої конструкції більш раціональним є напівавтоматичне зварювання у середовищі захисного газу, зокрема CO_2 або суміші $\text{Ar} + \text{CO}_2$, із застосуванням дроту Св-08Г2С. Цей спосіб забезпечує

стабільніше горіння дуги, кращу повторюваність параметрів шва, вищу продуктивність і меншу трудомісткість.

Особливо ефективним для виконання кільцевих швів є використання зварювального обертача. У цьому випадку колесо обертається з постійною швидкістю, а пальник залишається у стабільному положенні. Така схема дозволяє забезпечити однакове тепловкладення по всьому колу, рівномірну ширину і висоту шва, зменшити локальні перегріви та знизити зварювальні деформації. Для елементів диска товщиною орієнтовно 4–8 мм можна приймати зварювальний дріт діаметром 1,0–1,2 мм, силу струму в межах 160–240 А, напругу дуги 20–26 В, витрату захисного газу 10–16 л/хв і швидкість зварювання 18–35 м/год залежно від катета шва та просторового положення. Такі параметри є орієнтовними і повинні узгоджуватися відповідно до товщини деталей, конструкції з'єднання та вимог технологічної карти.

Аналіз існуючого процесу показує, що найбільш характерними недоліками традиційної технології є недостатня точність розкрою, овальність обода після формування, ручне або недостатньо точне складання, нерівномірне тепловкладення при зварюванні, поява залишкових напружень і деформацій, а також недостатній поопераційний контроль. Особливо небезпечним є поєднання геометричних дефектів і дефектів зварювання. Наприклад, якщо центральний диск встановлено з перекосом, а кільцевий шов має підрізи або непровари, у зоні з'єднання виникає концентрація напружень. Під дією циклічних навантажень така ділянка може стати місцем зародження втомної тріщини. Отже, якість диска визначається не лише міцністю шва, а й точністю складання, правильністю послідовності зварювання та стабільністю геометрії після охолодження.

З огляду на виявлені недоліки, удосконалення технологічного процесу виготовлення диска тракторного колеса доцільно здійснювати комплексно. Насамперед потрібно підвищити точність заготівельних операцій шляхом застосування плазмового або лазерного різання з числовим програмним керуванням. Це дозволить отримувати заготовки зі стабільними розмірами, зменшити припуски на обробку, скоротити ручне зачищення та забезпечити

кращу повторюваність деталей у серійному виробництві. Для обода необхідно передбачити калібрування після вальцювання і стикового зварювання, що дасть змогу зменшити овальність, стабілізувати посадковий профіль і покращити умови складання з центральною частиною [10].

Важливим напрямом удосконалення є застосування спеціального складально-зварювального кондуктора. Його використання дозволяє забезпечити співвісність обода і центрального диска, рівномірний зазор у зоні шва, точне положення маточиної частини та зменшення зміщення деталей під час прихоплення. Завдяки цьому знижується ймовірність появи радіального і торцевого биття, скорочується час на складання та зменшується залежність якості від людського фактора. Для зварювання основних кільцевих швів доцільно використовувати напівавтоматичне зварювання з обертачем, що забезпечує рівномірне формування шва, стабільне тепловкладення та зменшення короблення.

Не менш важливим є впровадження раціональної послідовності зварювання. Прихоплювальні шви потрібно розміщувати симетрично по колу, а основні шви виконувати з урахуванням рівномірного розподілу тепла. Для зменшення деформацій доцільно уникати надмірного тепловкладення, не допускати перегрівання окремих ділянок і контролювати положення виробу після виконання основних зварних проходів. Після зварювання необхідно виконувати правлення диска та перевірку радіального і торцевого биття на спеціальному контрольному стенді.

Окрему увагу слід приділяти контролю якості. У традиційних технологіях контроль часто виконується переважно на завершальному етапі, коли дефекти вже складно усунути без значних витрат. Більш раціональним є поопераційний контроль: після розкрою перевіряють розміри та якість кромek, після формування обода — круглість і профіль, після складання — співвісність та зазор, після зварювання — якість швів і наявність деформацій, після правлення — биття, після механічної обробки — точність центрального й кріпильних отворів. Зварні шви необхідно контролювати візуально-вимірювальним методом, а найбільш

навантажені ділянки доцільно додатково перевіряти магнітопорошковим або капілярним методом.

Завершальним етапом удосконалення є покращення антикорозійного захисту. Оскільки тракторне колесо працює у середовищі вологи, ґрунту, пилу, абразивних частинок і мінеральних добрив, поверхня диска повинна бути якісно очищена перед фарбуванням. Найкращий результат забезпечує дробоструминна обробка, яка видаляє окалину, іржу, зварювальні бризки та створює шорсткість, необхідну для надійного зчеплення ґрунтовки з металом. Після очищення доцільно наносити ґрунтове та фінішне лакофарбове покриття загальною товщиною приблизно 80–120 мкм. Це підвищує корозійну стійкість диска та збільшує його ресурс у польових умовах.

Аналіз існуючих технологій показує, що традиційний процес виготовлення зварного диска тракторного колеса забезпечує базову працездатність виробу, однак має низку обмежень, пов'язаних із точністю формування, ручним складанням, нестабільністю зварювання та недостатнім проміжним контролем. Найбільш доцільним напрямом удосконалення є перехід до технології, яка передбачає точний розкрій заготовок на обладнанні з ЧПК, калібрування обода, складання у спеціальному кондукторі, напівавтоматичне зварювання кільцевих швів із використанням обертача, контроль геометрії після зварювання та якісне антикорозійне покриття. Запровадження таких рішень дозволить підвищити точність і повторюваність виготовлення, зменшити кількість дефектів, скоротити трудомісткість ручних операцій, покращити якість зварних швів і забезпечити надійну роботу диска тракторного колеса в умовах тривалої експлуатації.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обґрунтування способу зварювання

Під час виготовлення зварного диска тракторного колеса правильний вибір способу зварювання має вирішальне значення, оскільки саме зварні з'єднання забезпечують нероз'ємний зв'язок між ободом, центральною дисковою частиною, маточиною зоною та підсилювальними елементами. У процесі експлуатації колесо трактора працює в умовах значних змінних навантажень, дії крутного моменту, бокових сил, ударів від нерівностей ґрунту, вібрацій та впливу агресивного середовища. Тому зварні шви повинні мати достатню міцність, втомну стійкість, рівномірне проплавлення, плавний перехід до основного металу та не містити дефектів, які можуть спричинити зародження тріщин.

Для виготовлення диска тракторного колеса як основний матеріал приймається сталь Ст3сп. Вона належить до конструкційних вуглецевих сталей звичайної якості, має добру зварюваність, достатню пластичність і добре піддається операціям різання, гнуття, вальцювання, штампування та механічної обробки. Раніше виконаний розрахунок зварюваності показав, що вуглецевий еквівалент сталі Ст3сп становить приблизно $C_{екв} = 0,29\%$, тобто ця сталь належить до добре зварюваних. Це дає змогу виконувати зварювання елементів диска без складних додаткових технологічних заходів, а попередній підігрів застосовувати лише за наявності великої товщини деталей, жорсткого закріплення або виконання робіт за зниженої температури.

У сучасному виробництві для з'єднання деталей коліс можуть застосовуватися різні способи зварювання: контактне точкове або стикове зварювання, ручне дугове зварювання покритими електродами, напівавтоматичне зварювання у середовищі захисних газів, автоматичне зварювання під флюсом, а також аргоно-дугове зварювання. Однак не всі ці способи однаково доцільні для виготовлення зварного диска тракторного колеса, оскільки така конструкція має кільцеві й кутові шви, достатньо велику товщину деталей, підвищені вимоги до геометрії та потребу в стабільному тепловкладенні.

Контактне точкове зварювання є продуктивним способом з'єднання листових деталей і широко застосовується у масовому виробництві тонколистових конструкцій. Його перевагами є висока швидкість, локальний нагрів, відсутність присадкового металу та можливість автоматизації процесу. Проте для основних з'єднань диска тракторного колеса цей спосіб не є раціональним, оскільки він формує окремі точкові з'єднання, а не суцільний кільцевий шов. У зоні з'єднання обода з центральною частиною необхідне безперервне або рівномірно сформоване з'єднання, яке здатне передавати значні циклічні навантаження. Тому точкове зварювання може використовуватися лише як допоміжний процес для тимчасової фіксації окремих тонких елементів, але не як основний спосіб виготовлення силового диска.

Ручне дугове зварювання покритими електродами є простим і доступним способом, який може застосовуватися у ремонтних умовах або при одиничному виготовленні нестандартних коліс. Його перевагою є невисока вартість обладнання, універсальність і можливість виконання робіт без складних пристроїв. Проте для серійного виготовлення тракторних дисків цей спосіб має суттєві недоліки. Якість шва значною мірою залежить від кваліфікації зварника, складніше забезпечити однакову швидкість переміщення електрода, стабільну довжину дуги та рівномірне тепловкладення по всьому колу. У результаті зростає ймовірність появи підрізів, напливів, непроварів, пористості та нерівномірного формування шва. Крім того, ручне зварювання має нижчу продуктивність і більшу трудомісткість, що робить його менш доцільним для виготовлення серії однакових коліс.

Автоматичне зварювання під флюсом забезпечує високу продуктивність, глибоке проплавлення, добрий захист зварювальної ванни та якісне формування довгих прямолінійних або кільцевих швів. Цей спосіб ефективний для масивних деталей і з'єднань значної довжини. Однак для виготовлення диска тракторного колеса його застосування має певні обмеження. Конструкція диска містить не лише зовнішні кільцеві з'єднання, а й шви у важкодоступніших місцях, з'єднання підсилювальних елементів, ділянки зі змінним положенням пальника та потребу в

точному контролі тепловкладення. Крім того, він потребує спеціального обладнання, механізмів подавання флюсу, його збирання та підготовки, що ускладнює процес для середньосерійного виробництва. Тому цей спосіб може бути ефективним для окремих кільцевих швів великого діаметра, але не є найбільш універсальним для всього комплексу зварювальних операцій диска [11].

Аргонодугове зварювання забезпечує високу якість шва, чистоту металу зварного з'єднання та добрий захист від окиснення. Воно особливо ефективне для тонколистових виробів, нержавіючих сталей, алюмінієвих сплавів і відповідальних з'єднань, де потрібна висока чистота шва. Проте для виготовлення диска тракторного колеса зі сталі СтЗсп цей спосіб є економічно недоцільним. Він має нижчу продуктивність порівняно з напівавтоматичним МАГ-зварюванням, потребує дорожчого захисного газу, більшої точності підготовки кромek і вищої кваліфікації виконавця. Для вуглецевої конструкційної сталі, з якої виготовляється диск, переваги аргонодугового зварювання не компенсують збільшення трудомісткості та собівартості.

Найбільш раціональним способом для виготовлення зварного диска тракторного колеса є автоматичне МАГ-зварювання. Цей спосіб добре підходить для зварювання низьковуглецевих і низьколегованих сталей, забезпечує стабільне горіння дуги, достатнє проплавлення, рівномірне формування кутових і кільцевих швів, а також високу продуктивність. Для диска тракторного колеса важливо, що МАГ-зварювання можна поєднувати зі складально-зварювальним кондуктором і обертачем. У такому випадку виріб обертається з постійною швидкістю, а пальник залишається у стабільному положенні. Це дозволяє отримати рівномірний кільцевий шов, зменшити вплив людського фактора, стабілізувати тепловкладення та знизити зварювальні деформації.

З урахуванням конструкції виробу доцільно застосовувати МАГ зварювання для з'єднання центрального диска з ободом, приварювання підсилювальних накладок, ребер жорсткості та маточиної частини. Такий спосіб дає змогу виконувати шви в різних просторових положеннях, забезпечує зручність доступу до зони зварювання і не потребує складної флюсової системи,

як при автоматичному зварюванні під флюсом. Водночас, порівняно з ручним дуговим зварюванням, він забезпечує кращу повторюваність якості та меншу трудомісткість.

Для зварювання сталі СтЗсп доцільно застосовувати зварювальний дріт Св-08Г2С. Цей дріт містить підвищену кількість марганцю та кремнію, які виконують роль розкислювачів і сприяють отриманню щільного металу шва. Під час зварювання вуглецевих сталей існує небезпека утворення пор унаслідок взаємодії вуглецю з киснем і виділення оксиду вуглецю. Наявність марганцю та кремнію в електродному дроті зменшує цю небезпеку, оскільки вони зв'язують кисень і сприяють очищенню металу шва від шкідливих домішок. Крім того, дріт Св-08Г2С забезпечує достатню міцність і пластичність зварного з'єднання, що є важливим для деталі, яка працює в умовах циклічного навантаження.

Орієнтовний хімічний склад дроту Св-08Г2С наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Орієнтовний хімічний склад дроту Св-08Г2С [12]

Елемент	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
Вміст, %	0,05– 0,11	1,80– 2,10	0,70– 0,95	до 0,025	до 0,030	до 0,20	до 0,25

Для виготовлення диска тракторного колеса доцільно використовувати дріт діаметром 1,0–1,2 мм. Такий діаметр забезпечує стабільне плавлення, достатню продуктивність і можливість формування якісних кутових швів із катетом орієнтовно 4–6 мм. При зварюванні товстіших елементів або підсилювальних накладок можливе застосування дроту діаметром 1,2 мм, що забезпечує більшу продуктивність наплавлення.

Як захисне середовище можна застосовувати чистий вуглекислий газ CO_2 або газову суміш на основі аргону з додаванням CO_2 . Зварювання в CO_2 є більш економічним, забезпечує достатній захист ванни та широко використовується для конструкційних сталей. Проте воно супроводжується більшим розбризкуванням металу, грубішим формуванням шва та менш стабільним перенесенням електродного металу порівняно з аргоновими сумішами.

Більш якісний результат забезпечує застосування газової суміші типу M21, наприклад 82 % Ar + 18 % CO₂. Така суміш забезпечує стабільніше горіння дуги, менше розбризкування, кращий зовнішній вигляд шва, плавніший перехід до основного металу та зменшення обсягу післязварювального очищення. Для диска тракторного колеса це має важливе значення, оскільки зварювальні бризки та нерівності в зоні обода можуть погіршувати посадку шини, а надмірне тепловкладення — спричиняти деформації та биття.

Таблиця 2.2 – Технологічна характеристика захисного газу [13].

Захисний газ	$I_{зв}, A$	U_d, B	$Q, \text{кг/год}$	$Y, \%$
82%Ar + 18% CO ₂	200 – 210	24 – 25	3	3,8
	300 – 310	30 – 31	5,3	2,9

Під час вибору зварювальних матеріалів необхідно враховувати, що вони не лише формують метал шва, а й беруть участь у металургійних процесах у зварювальній ванні. Зварювальний дріт і захисний газ повинні забезпечувати захист розплавленого металу від атмосферного кисню та азоту, сприяти розкисленню металу шва, зменшувати пористість, підтримувати стабільне горіння дуги та забезпечувати механічні властивості шва не нижчі за властивості основного металу. Саме тому поєднання дроту Св-08Г2С із газовою сумішшю 82 % Ar + 18 % CO₂ є доцільним для зварювання сталі Ст3сп.

Застосування суміші 82 % Ar + 18 % CO₂ має низку технологічних переваг порівняно з чистим CO₂. Воно зменшує втрати електродного металу на розбризкування, покращує стабільність перенесення крапель, підвищує якість формування шва, знижує трудомісткість очищення після зварювання та покращує санітарно-гігієнічні умови праці. Недоліком такої суміші є вища вартість порівняно з CO₂, однак для відповідального виробу, яким є тракторне колесо, підвищення якості та зменшення браку є більш важливими, ніж незначне збільшення вартості захисного газу.

Для виготовлення зварного диска тракторного колеса приймаємо автоматичне МАГ-зварювання плавким електродним дротом у середовищі активного захисного газу. Такий спосіб забезпечує стабільне горіння дуги,

рівномірне формування кільцевих швів, достатню глибину проплавлення та зниження впливу людського фактора на якість з'єднання.

У даній конструкції зварювання виконується для двох основних з'єднань: кільцевого стикового шва заготовки диска та кільцевого шва з'єднання сформованого диска з маточиною. Обід окремим стиковим швом не зварюється, оскільки він формується разом із дисковою частиною.

Таблиця 2.3 - Вихідні дані.

Показник	Позначення	Значення
Основний метал	—	Ст3сп
Спосіб зварювання	—	автоматичне МАГ
Зварювальний дріт	—	Св-08Г2С
Діаметр дроту	$d_{\text{дл}}$	1,2 мм
Захисний газ	—	82 % Ar + 18 % CO ₂
Товщина заготовки диска	S_1	5 мм
Товщина сформованого диска в зоні маточини	S_2	6 мм
Товщина маточини	S_3	8 мм
Густина сталі	γ	0,00785 г/мм ³
Коефіцієнт наплавлення	$\alpha_{\text{н}}$	12 г/(А·год)
ККД дугового процесу	η	0,8

Кільцевий стиковий шов заготовки диска виконується після формування заготовки в задану кільцеву або профільовану форму. Це з'єднання повинно забезпечувати рівномірність перерізу, міцність і відсутність місцевого викривлення, оскільки після зварювання заготовка бере участь у формуванні геометрії всього колеса [14].

Приймаємо товщину зварюваної заготовки: $S_1 = 5$ мм. Для забезпечення якісного проплавлення приймаємо глибину проплавлення $h = 3$ мм

Силу зварювального струму визначаємо за формулою:

$$I_{\text{зв}} = \frac{h}{K_{\text{п}}} \cdot 100 \quad (2.1)$$

де h — глибина проплавлення, мм;

$K_{\text{п}}$ — коефіцієнт пропорційності, мм/100 А.

Для автоматичного МАГ-зварювання дротом діаметром 1,2 мм приймаємо: $K_{\pi} = 1,75 \text{ мм/100 А}$

Тоді:
$$I_{зв} = \frac{3}{1,75} \cdot 100 = 171,4 \text{ А}$$

Приймаємо найближче технологічно зручне значення: $I_{зв} = 180 \text{ А}$

Напругу дуги визначаємо за залежністю:

$$U_{д} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{ел}}} \cdot I_{зв} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{1,2}} \cdot 180 = 28,23 \text{ В} \quad (2.2)$$

Для автоматичного МАГ-зварювання дротом 1,2 мм приймаємо: $U_{д} = 28 \text{ В}$

Площу поперечного перерізу наплавленого металу для стикового кільцевого шва приймаємо: $F_{н} = 10 \text{ мм}^2$

Кількість наплавленого металу за годину:

$$G_{н} = \alpha_{н} \cdot I_{зв} = 12 \cdot 180 = 2160 \text{ г/год} \quad (2.3)$$

Швидкість зварювання визначаємо за формулою:

$$V_{зв} = \frac{G_{н}}{\gamma \cdot F_{н} \cdot 1000} = \frac{2160}{0,00785 \cdot 10 \cdot 1000} = 27,5 \text{ м/год} \quad (2.4)$$

Приймаємо: $V_{зв} = 27 \text{ м/год}$

Площа поперечного перерізу електродного дроту:

$$F_{др} = \frac{\pi d_{ел}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,2^2}{4} = 1,13 \text{ мм}^2 \quad (2.5)$$

Маса одного метра дроту:

$$m_{1м} = F_{др} \cdot 1000 \cdot \gamma = 1,13 \cdot 1000 \cdot 0,00785 = 8,87 \text{ г/м} \quad (2.6)$$

Швидкість подачі електродного дроту:

$$V_{п.д.} = \frac{G_{н}}{m_{1м}} = \frac{2160}{8,87} = 243,5 \text{ м/год} \quad (2.7)$$

Після формування дискової частини виконується її зварювання з маточиною. Це з'єднання є одним із найбільш відповідальних, оскільки через маточину на диск передаються крутний момент, вертикальне навантаження, бокові сили та навантаження від кріпильних елементів. Тому шов повинен мати достатній катет, повне проплавлення в кореневій зоні та плавний перехід до основного металу.

З'єднання сформованого диска з маточиною є найбільш навантаженим у конструкції колеса, оскільки через маточину передаються крутний момент, вертикальне навантаження, бокові сили та навантаження від кріпильних елементів. Це з'єднання виконуємо кільцевим кутовим швом.

Приймаємо: $S_2 = 6$ мм, $S_3 = 8$ мм. Катет кутового шва: $k = 6$ мм.

Площу поперечного перерізу кутового шва без урахування випуклості визначаємо за формулою:

$$F_H = \frac{k^2}{2} = \frac{6^2}{2} = 18 \text{ мм}^2 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

Висоту наплавленого металу орієнтовно визначаємо:

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

Ширину шва визначаємо за формулою:

$$e = \sqrt{2k^2} = \sqrt{2 \cdot 6^2} = 8,49 \text{ мм} \quad (2.9)$$

Загальна висота шва:

$$H = \frac{e}{\psi_{\text{пр}}} \quad (2.10)$$

Для автоматичного MAG-зварювання приймаємо: $\psi_{\text{пр}} = 1,2$

$$H = \frac{8,49}{1,2} = 7,08 \text{ мм}$$

Визначення глибини проплавлення основного металу

$$h_0 = H - h_H = 7,08 - 4,24 = 2,84 \text{ мм} \quad (2.11)$$

Силу струму визначаємо за формулою:

$$I_{\text{зв}} = \frac{h_0}{K_{\text{п}}} \cdot 100 \quad (2.12)$$

Для автоматичного MAG-зварювання приймаємо: $K_{\text{п}} = 1,25 \text{ мм/100 А}$

$$I_{\text{зв}} = \frac{2,84}{1,25} \cdot 100 = 227,2 \text{ А}$$

Приймаємо: $I_{\text{зв}} = 230 \text{ А}$

Визначення діаметра електродного дроту

$$d_{\text{ел}} = 1,13 \sqrt{\frac{I_{\text{зв}}}{j}} \quad (2.13)$$

Приймаємо густину струму: $j = 170 \text{ А/мм}^2$

$$d_{\text{ел}} = 1,13 \sqrt{\frac{230}{170}} = 1,31 \text{ мм}$$

За стандартним рядом приймаємо: $d_{\text{ел}} = 1,2 \text{ мм}$

Визначення напруги дуги

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{d_{\text{ел}}}} \cdot I_{\text{зв}} = 20 + \frac{0,05}{\sqrt{1,2}} \cdot 230 = 30,51 \text{ В}$$

Приймаємо: $U_{\text{д}} = 30 \text{ В}$

Визначення коефіцієнта наплавлення

$$\alpha_{\text{н}} = A + B \cdot \frac{I_{\text{зв}}}{d_{\text{ел}}} = 2,3 + 0,04 \cdot \frac{230}{1,2} = 9,97 \text{ г/(А год)} \quad (2.14)$$

Приймаємо: $\alpha_{\text{н}} = 10 \text{ г/(А год)}$

Визначення швидкості подачі електродного дроту

Переводимо коефіцієнт наплавлення: $\alpha_{\text{н}} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг/(А год)}$

$$V_{\text{п.д.}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{зв}}}{\pi \cdot d_{\text{ел}}^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 230}{3,14 \cdot (0,0012)^2 \cdot 7800} = 260,9 \text{ м/год} \quad (2.15)$$

Визначення швидкості зварювання

$$V_{\text{зв}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{зв}}}{F_{\text{н}} \cdot \gamma} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 230}{18 \cdot 10^{-6} \cdot 7800} = 16,38 \text{ м/год} \quad (2.16)$$

Приймаємо: $V_{\text{зв}} = 16 \text{ м/год}$

Розрахунок погонної енергії

$$q = 0,8 \cdot \frac{30 \cdot 230 \cdot 3600}{16 \cdot 1000} = 0,8 \cdot \frac{24840000}{16000} = 1242 \text{ кДж/м}$$

Приймаємо: $q = 1242 \text{ кДж/м}$.

Оскільки зварювання виконується автоматичним МАГ-способом, виріб доцільно встановлювати на обертач. У цьому разі швидкість обертання повинна відповідати розрахунковій швидкості зварювання.

Приймаємо діаметр кола зварювання $D_1 = 0,60 \text{ м}$

Довжина шва: $L_1 = \pi D_1 = 3,14 \cdot 0,60 = 1,884 \text{ м}$. (2.17)

Час виконання шва:

$$t_1 = \frac{L_1}{V_{\text{зв}}} = \frac{1,884}{14} = 0,1346 \text{ год} = 8,08 \text{ хв} \quad (2.18)$$

Частота обертання:

$$n_1 = \frac{V_{зв}}{\pi D_1} = \frac{14}{3,14 \cdot 0,60} = 7,43 \text{ об/год} = 0,124 \text{ об/хв.} \quad (2.19)$$

Приймаємо: $n_1 = 0,12 \text{ об/хв}$

Для шва з'єднання сформованого диска з маточиною. Приймаємо діаметр кола зварювання: $D_2 = 0,22 \text{ м}$.

Довжина шва:

$$L_2 = \pi D_2 = 3,14 \cdot 0,22 = 0,691 \text{ м} \quad (2.20)$$

Час виконання шва:

$$t_2 = \frac{L_2}{V_{зв}} = \frac{0,691}{16} = 0,0432 \text{ год} = 2,59 \text{ хв} \quad (2.21)$$

Частота обертання:

$$n_2 = \frac{V_{зв}}{\pi D_2} = \frac{16}{3,14 \cdot 0,22} = 23,16 \text{ об/год} = 0,386 \text{ об/хв.} \quad (2.22)$$

Приймаємо: $n_2 = 0,39 \text{ об/хв}$

Для автоматичного MAG-зварювання дротом Св-08Г2С діаметром 1,2 мм у суміші 82 % Ar + 18 % CO₂ витрату газу приймаємо залежно від сили струму.

Для кільцевого стикового шва при струмі 180 А:

$$Q_{г1} = 12 \text{ л/хв}$$

Для шва з'єднання диска з маточиною при струмі 230 А:

$$Q_{г2} = 15 \text{ л/хв}$$

Визначимо витрату газу на один шов.

Для стикового шва:

$$V_{г1} = Q_{г1} \cdot t_1 = 12 \cdot 8,08 = 96,96 \text{ л} \quad (2.23)$$

Приймаємо: $V_{г1} = 97 \text{ л}$

Для шва з'єднання диска з маточиною:

$$V_{г2} = Q_{г2} \cdot t_2 = 15 \cdot 2,59 = 38,85 \text{ л} \quad (2.24)$$

Приймаємо: $V_{г2} = 39 \text{ л}$

Загальна витрата газу на один диск:

$$V_{г} = V_{г1} + V_{г2} = 97 + 39 = 136 \text{ л} \quad (2.25)$$

Витрату дроту визначаємо за часом зварювання і швидкістю подачі дроту.

Для стикового шва:

$$L_{\text{др1}} = V_{\text{п.д.1}} \cdot t_1 = 2,8 \cdot 8,08 = 22,62 \text{ м} \quad (2.26)$$

Для шва з'єднання диска з маточиною:

$$L_{\text{др2}} = V_{\text{п.д.2}} \cdot t_2 = 4,4 \cdot 2,59 = 11,40 \text{ м} \quad (2.27)$$

Загальна довжина дроту:

$$L_{\text{др}} = L_{\text{др1}} + L_{\text{др2}} = 22,62 + 11,40 = 34,02 \text{ м} \quad (2.28)$$

Маса одного метра дроту:

$$m_{1\text{м}} = F_{\text{др}} \cdot 1000 \cdot \gamma = 1,13 \cdot 1000 \cdot 0,00785 = 8,87 \text{ г/м} \quad (2.29)$$

Маса дроту на один диск:

$$m_{\text{др}} = L_{\text{др}} \cdot m_{1\text{м}} = 34,02 \cdot 8,87 = 0,302 \text{ кг} \quad (2.30)$$

З урахуванням технологічних втрат 5 %:

$$m_{\text{др.заг}} = m_{\text{др}} \cdot 1,05 = 0,302 \cdot 1,05 = 0,317 \text{ кг} \quad (2.31)$$

Приймаємо: $m_{\text{др.заг}} = 0,32 \text{ кг}$.

Таблиця 2. 4 Режими автоматичного МАГ-зварювання диска

№	Зварне з'єднання	Тип шва	S , мм	$d_{\text{ел}}$, мм	$I_{\text{зв}}$, А	$U_{\text{д}}$, В	$F_{\text{н}}$, мм ²	$\alpha_{\text{н}}$, г/(А·год)	$V_{\text{п.д.}}$, м/хв	$V_{\text{зв}}$, м/год	q , кДж/м	$Q_{\text{г}}$, л/хв
1	Заготовка диска	стиковий	5	1,2	180	28	14	8,3	2,8	14	1037	12
2	Сформований диск із маточиною	кутовий	6+8	1,2	230	30	18	10,0	4,4	16	1242	15

Отримані режими забезпечують достатнє проплавлення, стабільне формування кільцевих швів і придатні для автоматичного МАГ-зварювання диска тракторного колеса.

2.2 Вибір і обґрунтування основного зварювального устаткування

Для виготовлення зварного диска тракторного колеса приймаємо автоматичне MAG-зварювання з використанням роботизованого зварювального комплексу CLOOS QIROX QRC-300. Застосування саме роботизованого комплексу є доцільним, оскільки основні зварні з'єднання диска мають кільцеву форму та потребують високої повторюваності траєкторії, стабільної швидкості зварювання і рівномірного тепловкладення по всій довжині шва.

У конструкції диска трактора передбачено виконання кільцевого стикового шва заготовки диска та кільцевого шва з'єднання сформованого диска з маточиною. Ці з'єднання є відповідальними, оскільки через них передаються навантаження від маточини до дискової частини колеса. Нерівномірне формування шва, зміна швидкості зварювання або нестабільне положення дуги можуть спричинити підрізи, непровари, напливи, залишкові деформації та збільшення биття готового виробу. Саме тому для їх виконання доцільно застосувати робот, який забезпечує сталість параметрів процесу та повторювану якість швів.

Як основне обладнання приймаємо шестиосьовий зварювальний робот CLOOS QIROX QRC-300 (рис.2.1) у комплекті з джерелом живлення CLOOS QINEO NexT. Робот виконує переміщення робочого інструмента за запрограмованою траєкторією, а джерело живлення забезпечує стабільне горіння дуги під час MAG-зварювання. Для роботи застосовується дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм і газова суміш 82 % Ar + 18 % CO₂, що відповідає прийнятому способу зварювання сталі Ст3сп.

Заготовка диска та маточина встановлюються у спеціальний складально-зварювальний кондуктор, який забезпечує їх співвісність, правильне взаємне положення та надійну фіксацію під час зварювання. Для зручного розміщення виробу та виконання кільцевих швів комплекс доцільно доповнити зварювальним позиціонером. Позиціонер дозволяє встановити диск у найбільш зручне просторове положення, зменшити складність траєкторії робота та забезпечити рівномірне формування шва.



Рис. 2.1. — Шестиосьовий зварювальний робот CLOOS QIROX QRC-300 [15]

Таблиця 2.5— Склад роботизованого комплексу для MAG-зварювання диска трактора

Елемент комплексу	Прийняте обладнання	Призначення
Зварювальний робот	CLOOS QIROX QRC-300	Виконання автоматичного MAG-зварювання за заданою траєкторією
Джерело живлення	CLOOS QINEO Next	Забезпечення стабільної дуги та режимів MAG-зварювання
Позиціонер	Одновісний або двовісний зварювальний позиціонер	Установлення диска у зручне положення під час зварювання
Кондуктор	Спеціальне пристосування для диска і маточини	Центрування, базування та фіксація деталей
Газова система	Балон або рампа 82 % Ar + 18 % CO ₂ , редуктор, ротаметр	Подача захисного газу в зону зварювання
Система керування	Контролер робота та джерела живлення	Узгодження траєкторії, режимів і послідовності зварювання

Вибір CLOOS QIROX QRC-300 обґрунтовується тим, що робот забезпечує точне переміщення при виконанні кільцевих швів, зменшує вплив людського фактора та дозволяє отримати однакову якість зварювання при повторному

виготовленні деталей. На відміну від ручного або напівавтоматичного способу, роботизоване зварювання забезпечує стабільну швидкість переміщення, однаковий кут підведення дуги до зони шва та рівномірне тепловкладення. Це особливо важливо для диска трактора, оскільки надмірне або нерівномірне нагрівання може викликати короблення, зміщення маточини та збільшення торцевого биття.

Джерело CLOOS QINEO NexT (рис. 2.2) приймається тому, що воно призначене для MIG/MAG-зварювання і може працювати у складі роботизованих комплексів. Для розрахованих режимів зварювання диска, де сила струму становить приблизно 180–230 А, доцільно застосовувати джерело із запасом потужності, щоб забезпечити стабільність дуги та можливість роботи без перевантаження. Такий запас також дозволяє за потреби збільшити катет шва в зоні маточини або адаптувати режим до зміни товщини деталей.



Рис. 2.2. — Джерело CLOOS QINEO NexT [16]

Таблиця 2.6 Технічні дані джерела живлення CLOOS QINEO NexT

Показник	QINEO NexT 452 DC
Тип джерела	інверторне джерело для MIG/MAG-зварювання
Діапазон зварювального струму	25 А / 15 В – 450 А / 36,5 В
Зварювальний струм при ПВ 60 %	450 А / 36,5 В
Зварювальний струм при ПВ 100 %	350 А / 31,5 В
Напруга холостого ходу	80 В
Напруга мережі	380–480 В, 3 фази
Переріз мережевого кабелю	4 × 6 мм ²
Запобіжник мережі, інерційний	32 А
Ступінь захисту	IP23
Клас ізоляції	F
Тип охолодження	F
Габаритні розміри, Д × Ш × В	720 × 340 × 500 мм
Маса силового блока	63 кг
Маса охолоджувального модуля	28 кг

2.3 Опис вибору методу контролю якості тракторного колеса-диска

Зварне тракторне колесо-диск є одним із найбільш навантажених і відповідальних елементів ходової системи трактора. Тому система керування якістю повинна мати комплексний характер і охоплювати не лише зварні шви, а й геометричну точність обода, стан поверхонь, точність розташування кріпильних отворів маточини та адгезію захисного антикорозійного покриття.

Під час експлуатації колесо постійно сприймає складні знакозмінні та динамічні навантаження: вертикальну вагу трактора та навісного обладнання, крутний момент при тяговому зусиллі, бокові сили при поворотах, а також циклічні удари від нерівностей ґрунту. Будь-які дефекти у зварних з'єднаннях (особливо в кільцевому шві між диском та ободом) виступають небезпечними концентраторами напружень, що неминуче призводить до розвитку втомних тріщин та раптового руйнування конструкції [17-19].

Класифікацію та причини виникнення можливих дефектів під час виготовлення колеса наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 — Класифікація потенційних дефектів при виготовленні коліс

Група дефектів	Можливі дефекти	Причини виникнення
<i>Дефекти зварних швів</i>	тріщини, непровари, пори, підрізи, напливи, пропали	неправильний режим зварювання, забруднення крайок, нестабільна дуга
<i>Дефекти геометрії</i>	радіальне биття, торцеве биття, овальність обода, перекіс диска	неточне складання, нерівномірне нагрівання, зварювальні деформації
<i>Дефекти отворів</i>	зміщення кріпильних отворів, овальність, задирки	неточне свердління або пробивання
<i>Поверхневі дефекти</i>	задирки, гострі кромки, окалина, бризки металу	недостатнє зачищення після різання і зварювання
<i>Дефекти покриття</i>	непрокраси, відшарування, здуття, недостатня товщина	погане очищення поверхні, порушення режиму фарбування

З огляду на це, контроль якості повинен бути комплексним і включати кілька методів, оскільки один метод не може повністю оцінити всі параметри виробу. Для забезпечення бездефектності виробництва тракторних коліс у дипломному проєкті обґрунтовано впровадження комплексної системи контролю, що включає:

- ✓ вхідний контроль матеріалу;
- ✓ візуально-вимірювальний контроль;
- ✓ контроль геометричних параметрів;
- ✓ капілярний або магнітопорошковий контроль зварних швів;
- ✓ контроль механічної обробки отворів;
- ✓ контроль якості антикорозійного покриття.

Найбільш раціональним базовим методом є візуально-вимірювальний контроль, оскільки він простий, доступний, не потребує складного обладнання і дозволяє виявити більшість зовнішніх дефектів: тріщини, підрізи, напливи, пропали, порушення форми шва, зміщення деталей та недостатню якість зачищення. Проте для більш відповідальних ділянок, зокрема кільцевого шва

з'єднання диска з ободом, доцільно додатково застосовувати магнітопорошковий контроль, оскільки деталь виготовляється зі сталі й має феромагнітні властивості.

Вхідний контроль є першим етапом захисту виробництва від браку. Його мета — підтвердження відповідності матеріалів (листової та рулонної сталі) нормативній документації та кресленням табл. 2.8.

Таблиця 2.8 — Параметри вхідного контролю матеріалів

<i>Параметр</i>	Метод контролю
<i>Марка сталі</i>	перевірка сертифіката, за потреби спектральний аналіз
<i>Товщина листа або стрічки</i>	вимірювання штангенциркулем, мікрометром або товщиноміром
<i>Стан поверхні</i>	візуальний огляд
<i>Відсутність розшарувань і тріщин</i>	візуальний контроль, за потреби ультразвуковий контроль листа
<i>Якість крайок після різання</i>	візуально-вимірювальний контроль

Для такого виробу вхідний контроль є важливим, оскільки дефекти листового металу або значні відхилення товщини можуть призвести до зниження міцності обода, погіршення формоутворення та нестабільності зварного процесу.

Візуально-вимірювальний контроль є основним і обов'язковим методом перевірки якості зварних з'єднань колеса-диска. Його виконують після прихоплення, після основного зварювання та після зачищення швів.

Цей метод дозволяє перевірити:

- ✓ зовнішній вигляд шва;
- ✓ рівномірність його перерізу;
- ✓ наявність або відсутність тріщин;
- ✓ подрізи по краях шва;
- ✓ напливи, пропали, кратери;
- ✓ пори, що виходять на поверхню;
- ✓ якість переходу шва до основного металу;
- ✓ розмір катета кутового шва;
- ✓ суцільність кільцевого з'єднання.

Для виконання такого контролю використовують зварювальні шаблони, лінійки, штангенциркулі, кутоміри, лупи та калібри. Візуально-вимірний контроль є доцільним для 100 % виробів, оскільки він швидкий, дешевий і дозволяє виявити більшість зовнішніх дефектів без пошкодження деталі.

Для тракторного колеса-диска контроль геометрії має таке саме значення, як і контроль зварних швів. Навіть якісно проварений шов не гарантує працездатності виробу, якщо обід має овальність, диск зміщений відносно осі або колесо має надмірне биття. Основні параметри геометричного контролю наведені у табл.2.9

Таблиця 2.9 — Основні параметри геометричного контролю

<i>Контрольований параметр</i>	<i>Значення контролю</i>
<i>Радіальне биття</i>	впливає на рівномірність обертання колеса
<i>Торцеве биття</i>	впливає на стабільність руху та навантаження на маточину
<i>Співвісність диска й обода</i>	визначає правильність роботи колеса
<i>Виліт диска</i>	впливає на ширину колії трактора
<i>Діаметр центрального отвору</i>	забезпечує посадку на маточину
<i>Розташування кріпильних отворів</i>	забезпечує правильне кріплення колеса
<i>Ширина та профіль обода</i>	забезпечують правильну посадку шини

Для контролю геометрії доцільно використовувати спеціальний стенд перевірки радіального і торцевого биття. Колесо встановлюють на оправку або контрольний вал, після чого за допомогою індикаторів годинникового типу, лазерних датчиків або електронних вимірних систем визначають відхилення обода від заданої форми.

Такий контроль необхідно виконувати після зварювання, оскільки саме зварювальні деформації можуть змінити форму обода і положення диска.

Оскільки зварне колесо-диск виготовляється зі сталі Ст3сп, Ст3пс або аналогічної феромагнітної сталі, для виявлення поверхневих і підповерхневих тріщин доцільно застосовувати магнітопорошковий контроль.

Цей метод є особливо придатним для перевірки:

- ✓ кільцевого шва з'єднання диска з ободом;
- ✓ зони біля центрального отвору;
- ✓ ділянок навколо кріпильних отворів;
- ✓ місць переходу шва до основного металу;
- ✓ ділянок, де можливі втомні тріщини.

Суть методу полягає в намагнічуванні контрольованої ділянки та нанесенні магнітного порошку або суспензії. Якщо в металі є тріщина або інша несучільність, у цьому місці виникає розсіювання магнітного поля, і частинки порошку накопичуються вздовж дефекту, роблячи його видимим.

Переваги магнітопорошкового контролю для зварного тракторного колеса-диска наведені у табл.2.10.

Таблиця 2.10 — Переваги магнітопорошкового контролю для зварного тракторного колеса-диска

<i>Перевага</i>	<i>Пояснення</i>
<i>Висока чутливість до тріщин</i>	добре виявляє поверхневі й близькі до поверхні дефекти
<i>Придатність для сталевих виробів</i>	метод ефективний для феромагнітних матеріалів
<i>Швидкість контролю</i>	можна перевіряти велику кількість виробів
<i>Неруйнівний характер</i>	колесо не пошкоджується під час перевірки
<i>Доцільність для зварних швів</i>	добре виявляє дефекти в зоні термічного впливу

Магнітопорошковий контроль доцільно застосовувати не обов'язково для всіх виробів, а для відповідальних партій, після налаштування технології, при виявленні дефектів під час візуального контролю або для коліс, що працюватимуть у важких умовах.

Капілярний контроль також може використовуватися для виявлення поверхневих тріщин, пор і несучільностей. Його суть полягає в нанесенні пенетранта, який проникає в дефекти, після чого проявник робить їх видимими на поверхні.

Однак для сталевих тракторних колес-дисків магнітопорошковий метод є більш раціональним, оскільки матеріал феромагнітний. Капілярний контроль доцільно використовувати у таких випадках:

- ✓ якщо немає обладнання для магнітопорошкового контролю;
- ✓ для локальної перевірки окремих ділянок;
- ✓ після ремонту або підварювання;
- ✓ для контролю поверхневих дефектів на немагнітних покриттях або деталях.

Тобто капілярний метод може бути резервним або додатковим, але не основним для такого виробу.

Ультразвуковий контроль застосовують для виявлення внутрішніх дефектів у металі або зварних з'єднаннях. Для тракторного колеса-диска його використання можливе, але не завжди є обов'язковим.

Причина полягає в тому, що зварні шви між диском і ободом зазвичай мають порівняно невелику товщину і складну кільцеву геометрію. Через це ультразвуковий контроль може бути менш зручним, ніж візуально-вимірювальний і магнітопорошковий. Проте УЗК доцільно застосовувати:

- ✓ для контролю товстих елементів;
- ✓ для відповідальних коліс великого діаметра;
- ✓ при підозрі на внутрішній непровар;
- ✓ для перевірки стикового шва обода після зварювання;
- ✓ під час періодичної перевірки якості технологічного процесу.

Ультразвуковий контроль доцільно розглядати як додатковий метод для вибіркового або відповідального контролю.

Оскільки тракторне колесо працює в умовах контакту з ґрунтом, вологою, добривами та механічними забрудненнями, після зварювання й очищення необхідно контролювати якість антикорозійного покриття. Методи перевірки наведені у табл. 2.11.

Якісне покриття є важливим не лише з естетичних причин. Корозія в зоні зварного шва може зменшити переріз металу, погіршити втомну міцність і прискорити руйнування виробу.

Таблиця 2.11 — Методи контролю якості колісного диска

<i>Параметр</i>	Метод контролю
<i>Рівномірність покриття</i>	візуальний огляд
<i>Відсутність пропусків і патьоків</i>	візуальний контроль
<i>Товщина покриття</i>	товщиномір лакофарбового покриття
<i>Адгезія</i>	метод насічок або відриву
<i>Стан покриття в зоні шва</i>	візуальний контроль після фарбування

Зведена структура контролю на всіх етапах виготовлення штамповано-зварного колеса-диска наведена в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 — Етапи та методи контролю якості колісного диска

<i>Етап виготовлення</i>	Основний метод контролю	Додатковий метод
<i>Вхідний контроль сталі</i>	Візуальний і вимірювальний контроль	Спектральний аналіз, УЗК листа
<i>Після розкрою і згинання</i>	Вимірювальний контроль	Шаблонний контроль
<i>Після стикового зварювання обода</i>	Візуально-вимірювальний контроль	УЗК або магнітопорошковий контроль
<i>Після профілювання обода</i>	Контроль геометрії	3D-сканування або шаблон
<i>Після складання з диском</i>	Контроль співвісності та вильоту	Індикаторний контроль
<i>Після остаточного зварювання</i>	Візуально-вимірювальний контроль	Магнітопорошковий контроль
<i>Після механічної обробки</i>	Вимірювання отворів і посадкових поверхонь	Координатний контроль
<i>Після фарбування</i>	Візуальний контроль покриття	Вимірювання товщини покриття

Основним методом контролю якості зварних швів слід прийняти візуально-вимірювальний контроль, а для відповідальних зон — магнітопорошковий контроль. Такий вибір є обґрунтованим, тому що виріб виготовляється зі сталі, має доступні для огляду кільцеві шви, а основними небезпечними дефектами є поверхневі тріщини, підрізи, непровари та дефекти форми шва.

Для контролю якості зварного тракторного колеса-диска доцільно застосовувати комплексну систему, яка поєднує візуально-вимірювальний контроль, перевірку геометрії, магнітопорошковий контроль відповідальних

зварних зон і контроль антикорозійного покриття. Основним методом слід вважати візуально-вимірний контроль, оскільки він дозволяє швидко виявити більшість зовнішніх дефектів швів і порушень форми. Для підвищення надійності виробу найбільш навантажені ділянки, зокрема кільцевий шов з'єднання диска з ободом і зона кріпильних отворів, доцільно додатково перевіряти магнітопорошковим методом. Така система контролю забезпечує своєчасне виявлення дефектів, зменшує ризик браку та підвищує довговічність тракторного колеса-диска в експлуатації.

2.4 Опис запропонованого технологічного процесу

Запропонований технологічний процес виготовлення диска тракторного колеса передбачає послідовне виконання операцій підготовки металу, розкрою, формування, зварювання, контролю, механічної обробки та нанесення захисного покриття. Така послідовність дає змогу отримати зварний диск з достатньою міцністю, стабільною геометрією, правильною посадкою маточини та підвищеною довговічністю під час роботи трактора в умовах змінних, ударних і втомних навантажень. Як основний матеріал приймається сталь СтЗсп, яка має добру зварюваність, достатню пластичність і придатність до штампування, формування та механічної обробки.

Першою операцією технологічного процесу є вхідний контроль рулонної сталі. На посту ВТК перевіряють наявність сертифіката якості, марку сталі, товщину та ширину рулону, стан поверхні, відсутність тріщин, розшарувань, глибокої корозії, вм'ятин і механічних пошкоджень. Особливу увагу приділяють однорідності поверхні та відсутності дефектів, які під час формування можуть перейти у тріщини або викликати місцеве стоншення металу. Рулонна сталь, яка не відповідає вимогам креслення або технічним умовам, у виробництво не допускається.

Після приймання рулон встановлюється на гідравлічний розмотувач Decoiler MT-10T (рис.2.4). На цій операції забезпечується рівномірне подавання

сталевій смуги в технологічну лінію. Розмотування повинно відбуватися без ривків, перекосу й надмірного натягу, оскільки нерівномірна подача може спричинити хвилястість смуги або порушення точності подальшого правлення та різання. Застосування гідравлічного розмотувача дозволяє стабілізувати подачу рулону та забезпечити безперервність роботи заготівельної ділянки.



Рис. 2.3. — Маршрутна карта виготовлення колеса



Рис. 2.4. — Гідравлічний розмотувач Decoiler MT-10T [20]

Далі сталева смуга надходить на листоправильну машину ARKU FlatMaster (рис. 2.5). Під час правлення усуваються хвилястість, залишкові напруження, прогини та нерівномірність площинності, які виникають після змотування металу в рулон. Ця операція є важливою, оскільки якість правлення безпосередньо впливає на точність різання заготовки, правильність згинання в обичайку та стабільність геометрії після профілювання. Якщо смуга має початкові деформації, після зварювання та формування вони можуть проявитися у вигляді овальності або торцевого биття готового диска.



Рис. 2.5. — Листоправильна машина ARKU FlatMaster [21]

Після правлення виконується різання заготовки для обичайки диска. Оскільки основна заготовка має вигляд сталевий смуги заданої довжини, для цієї операції приймаються гільйотинні ножиці Yangli MS7 (рис. 2.6). Вони забезпечують точне поперечне різання смуги, рівність торців і високу продуктивність при роботі з рулонним металом. Довжина заготовки визначається відповідно до розрахункового діаметра майбутньої обичайки з урахуванням припуску на стикове МАГ-зварювання. Для такої операції застосування лазерного різання є менш раціональним, оскільки контур заготовки простий, а основними вимогами є точна довжина, перпендикулярність торців і якісне зведення крайок перед зварюванням.



Рис. 2.6. — Гільйотинні ножиці Yangli MS7 [22]

Окремо виконується різання заготовки маточиної частини. Для цієї операції приймається лазерний комплекс TRUMPF TruLaser 5030 fiber (рис. 2.7), оскільки маточина заготовка має складніший контур і потребує вищої точності. Лазерне різання забезпечує чисту кромку, мінімальну ширину різку, точне формування зовнішнього контуру та можливість підготовки технологічних отворів. Застосування лазерного комплексу для маточиної частини зменшує припуски на подальшу механічну обробку і підвищує повторюваність заготовок у серійному виробництві.



Рис 2.7. — Лазерний комплекс TRUMPF TruLaser 5030 fiber [23]

Після різання обидві заготовки проходять зачищення кромek на дебуринг-машині Timesavers 42 Series (рис 2.8). На цій операції видаляють задирки, гострі крайки, дрібні напливи та залишки термічно зміненого шару після різання. Для смугової заготовки особливо важливо підготувати торці, які будуть зводитися й зварюватися стиковим швом. Якісне зачищення забезпечує щільне прилягання торців, стабільне проплавлення та зменшує ймовірність утворення непроварів, пор і підрізів.



Рис. 2.8. — Дебуринг-машина Timesavers 42 Series[24]

Підготовлена смугова заготовка подається на формування обичайки диска. Операція виконується на машині Xiaoya Rim Band Coiling Machine (рис 2.9), яка поступово згинає заготовку в кільцеву форму. У процесі формування забезпечується заданий радіус згинання, правильне зведення торців і мінімальна овальність кільцевої заготовки. Ця операція є однією з визначальних, оскільки від точності утворення обичайки залежить якість стикового шва та правильність подальшого формування профілю диска.



Рис. 2.9. — Машина Xiaoya Rim Band Coiling Machine [25]

Сформована обичайка надходить на MAG-зварювання стику. Зварювання виконується роботизованим комплексом CLOOS QIROX QRC-300 із джерелом живлення CLOOS QINEO NexT 452 DC (рис 2.10). Як електродний матеріал застосовується дріт Св-08Г2С діаметром 1,2 мм, а як захисне середовище — газова суміш 82 % Ar + 18 % CO₂. Стиковий шов замикає обичайку в кільце, тому повинен мати рівномірне проплавлення, достатню міцність і мінімальні деформації. Роботизоване MAG-зварювання забезпечує сталу траєкторію, рівномірну швидкість переміщення, стабільну довжину дуги та однакову форму шва по всій довжині стику. Для цього шва приймається раніше розрахований режим: сила струму 180 А, напруга дуги 28 В, швидкість подачі дроту 2,8 м/хв, швидкість зварювання 14 м/год.



Рис. 2.10. — MAG-зварювання стику комплексом CLOOS QIROX QRC-300 + CLOOS QINEO NexT 452 DC [26]

Після зварювання стику виконується оброблення зварної зони на установці Xiaoya Trimmer-Planisher-End Cutting Unit (рис 2.11). На цій операції видаляється зварювальний ґрат, вирівнюється поверхня стику та виконується ущільнення зони шва. Оброблення стику необхідне для того, щоб під час наступного профілювання зварна зона не створювала місцевого потовщення, хвилястості або нерівномірного деформування металу. Після зачищення стику обичайка стає придатною до подальшого формування під профіль диска.



Рис. 2.11. — Установка Xiaoya Trimmer-Planisher-End Cutting Unit [27]

Наступною основною операцією є формування звареної обичайки під профіль диска. Цей перехід виконується на Xiaoya 4-Step Roll Forming Machine (рис 2.12). Формування здійснюється поступово, у декілька переходів. На першому переході обичайці надається базова геометрія, на другому починається формування дискової частини та перехідних радіусів, на третьому формуються посадкові ділянки, бурти й елементи жорсткості, а на четвертому остаточно уточнюється профіль диска. Багатоперехідне формування зменшує ризик появи складок, тріщин і локального стоншення металу, а також забезпечує стабільну форму виробу.



Рис. 2.12. — Установка Xiaoya 4-Step Roll Forming Machine [28]

Після профілювання сформований диск проходить калібрування на машині Xiaoya Horizontal Expanding Machine (рис 2.13). Калібрування дозволяє уточнити діаметр, круглість, ширину, профіль обідної частини та загальну симетрію

виробу. Завдяки цій операції зменшується овальність, усуваються залишкові відхилення після формування і створюються умови для точного складання з маточиною частиною.



Рис. 2.13. — Калібрування на машині Xiaoya Horizontal Expanding Machine [29]

Паралельно з виготовленням основної частини диска виконується формування маточиної частини. Після лазерного розкрою заготовка маточини подається на гідравлічний прес Yangli Y32 (рис 2.14), де їй надають необхідної просторової форми. Маточина частина є силовим елементом, через який на диск передаються навантаження від кріпильних елементів і крутний момент, тому її форма повинна забезпечувати достатню жорсткість і правильне прилягання до сформованого диска.



Рис. 2.14. — Прес Yangli Y32 [30]

Після формування маточина частина проходить механічну обробку на токарному центрі DMG MORI NLX 2500 (рис. 2.15). На цій операції обробляють центральний отвір, посадкові поверхні, торцеві площини та фаски. Кріпильні отвори виконуються на координатно-пробивному пресі FINN-POWER C5 (рис.

2.15), що забезпечує точне розташування отворів відповідно до креслення. Виконання цих операцій до складання дає змогу забезпечити точність базування маточини у сформованому диску.



Рис. 2.15. — Токарний центр DMG MORI NLX 2500 та координатно-пробивний прес FINN-POWER C5 [31-32]

Після підготовки обох частин виконується складання диска та маточини. Сформований диск і маточина частина встановлюються у спеціальний складально-зварювальний кондуктор. Кондуктор забезпечує центрування маточини відносно осі диска, правильне положення по висоті, рівномірний зазор у зоні зварювання і фіксацію без перекосу. Перед зварюванням перевіряють співвісність, торцеве положення маточини та відсутність зміщення. Якість складання є критичною, оскільки навіть незначний перекіс маточини може призвести до биття готового колеса.

Зварювання маточини з диском виконується на тому самому роботизованому комплексі CLOOS QIROX QRC-300 із джерелом CLOOS QINEO NexT 452 DC. Зварювання здійснюється автоматичним MAG-способом дротом Св-08Г2С Ø1,2 мм у середовищі 82 % Ar + 18 % CO₂. Основним з'єднанням є кільцевий шов у зоні приєднання маточини до сформованого диска. Робот забезпечує стабільне положення дуги, рівномірне тепловкладення і повторювану форму шва по всьому колу. Для цього з'єднання приймається режим: сила струму

230 А, напруга дуги 30 В, швидкість подачі дроту 4,4 м/хв, швидкість зварювання 16 м/год.

Після завершення зварювання виріб очищається від бризок, окалини, пилу та продуктів окиснення у дробоструминній установці Rösler RRB. Очищення після зварювання полегшує подальший контроль якості, дає змогу краще виявляти поверхневі дефекти та готує поверхню до нанесення захисного покриття.

Контроль якості виконується у два етапи. Спочатку на посту візуально-вимірювального контролю перевіряють форму швів, катет, плавність переходу до основного металу, відсутність подрізів, пор, кратерів, тріщин і непроварів. Далі відповідальний кільцевий шов маточини перевіряється комплектом Magnaflux SK-3, який дозволяє виявити поверхневі дефекти, небезпечні при циклічному навантаженні. Після контролю швів диск перевіряють на радіальне й торцеве биття на стенді Sicam SBM V660. У разі відхилення від допустимих значень диск правлять на гідравлічному пресі Yangli Y32, після чого контроль геометрії повторюють.

Після підтвердження якості зварювання і геометрії диск надходить на фарбування. Перед нанесенням покриття поверхня додатково очищається та знежирюється, після чого виріб проходить порошкове фарбування на лінії Gema OptiFlex Pro. Покриття наноситься рівномірним шаром і полімеризується, утворюючи міцний антикорозійний захист. Для диска тракторного колеса приймається товщина покриття 80–120 мкм, що забезпечує захист від вологи, ґрунту, пилу, мінеральних добрив і абразивного впливу.

Завершальною операцією є остаточне приймання та складування. На посту ВТК перевіряють якість швів, геометрію, биття, стан покриття та маркування. Придатні диски укладають на спеціальні піддони або стелажі, які запобігають пошкодженню лакофарбового покриття під час транспортування та зберігання.

Таблиця 2. 13 — Технологічний процес виготовлення диска тракторного колеса

<i>№ операції</i>	<i>Назва операції</i>	<i>Зміст операції</i>	<i>Обладнання</i>
005	Вхідний контроль рулонної сталі	Перевірка сертифіката, марки сталі СтЗсп, товщини, ширини рулону, стану поверхні та відсутності дефектів.	Пост вхідного контролю ВТК
010	Розмотування рулонної сталі	Рівномірне подавання сталевий смуги з рулону в технологічну лінію.	Гідравлічний розмотувач Decoiler MT-10T
015	Правлення рулонної сталі	Усунення хвилястості, залишкових напружень і нерівномірності площинності смуги.	Листопрямуюча машина ARKU FlatMaster
020	Різання заготовки обичайки диска	Поперечне різання вирівняної смуги на заготовки заданої довжини з припуском на стикове МАГ-зварювання.	Гільйотинні ножиці Yangli MS7
025	Різання заготовки маточиної частини	Вирізання заготовки складнішого контуру з листової сталі з високою точністю розмірів.	Лазерний комплекс TRUMPF TruLaser 5030 fiber
030	Зачищення кромки заготовок	Видалення задирок, гострих крайок і підготовка торців заготовки диска до зварювання.	Дебуринг-машина Timesavers 42 Series
035	Формування обичайки диска	Згинання заготовки диска в кільцеву обичайку з точним зведенням торців.	Xiaoya Rim Band Coiling Machine
040	МАГ-зварювання стику обичайки диска	Виконання стикового шва обичайки дротом Св-08Г2С Ø1,2 мм у суміші 82 % Ar + 18 % CO ₂ .	CLOOS QIROX QRC-300 + CLOOS QINEO NexT 452 DC
045	Оброблення стику обичайки	Видалення зварювального ґрату, вирівнювання та ущільнення зони стику перед профілюванням.	Xiaoya Trimmer-Planisher-End Cutting Unit
050	Формування звареної обичайки під профіль диска	Багатоповерхове формування дискової та обідної частини, посадкових зон, бортів і радіусних переходів.	Xiaoya 4-Step Roll Forming Machine
055	Калібрування	Уточнення діаметра,	Xiaoya Horizontal

	сформованого диска	круглісті, ширини та профілю сформованого диска.	Expanding Machine
060	Формування маточиної частини	Надання заготовці маточини необхідної просторової форми.	Гідравлічний прес Yangli Y32
065	Механічна обробка маточини	Оброблення центрального отвору, посадкових поверхонь, торців і фасок.	Токарний центр DMG MORI NLX 2500
070	Пробивання кріпильних отворів маточини	Виконання отворів під кріплення відповідно до креслення.	Координатно-пробивний прес FINN-POWER C5
075	Складання диска та маточини	Центрування, базування і фіксація маточини у сформованому диску перед зварюванням.	Спеціальний складально-зварювальний кондуктор
080	Зварювання маточини з диском	Виконання кільцевого MAG-шва з'єднання маточини зі сформованим диском.	CLOOS QIROX QRC-300 + CLOOS QINEO NexT 452 DC
085	Очищення після зварювання	Видалення бризок, окалини, пилу та продуктів окиснення після зварювання.	Дробоструминна установка Rösler RRB
090	Контроль якості зварних швів	Візуально-вимірювальний та магнітопорошковий контроль відповідальних з'єднань.	Пост ВБК, комплект Magnaflux SK-3
095	Контроль биття і правлення	Перевірка радіального та торцевого биття, правлення при потребі.	Стенд Sicam SBM V660, прес Yangli Y32
100	Фарбування	Нанесення порошкового антикорозійного покриття товщиною 80–120 мкм.	Порошкова фарбувальна лінія Gema OptiFlex Pro
105	Остаточне приймання і складування	Перевірка готового виробу, маркування, укладання на піддони та передача на склад.	Пост остаточного контролю ВТК, складські стелажі

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Вибір зварювальних пристосувань та опис їх роботи

Для реалізації запропонованого технологічного процесу виготовлення тракторного колеса застосовують комплекс спеціалізованих складально-зварювальних пристосувань і роботизованого обладнання. Основними етапами, на яких використовується така оснастка, є зварювання поздовжнього шва обичайки обода, складання обода з диском, встановлення прихваток, кантування колеса та остаточне роботизоване зварювання кільцевих швів.

Тракторне колесо є відповідальною зварною конструкцією, у якій обід і диск повинні бути з'єднані з дотриманням співвісності, круглості, мінімального радіального та осевого биття. Тому пристосування, які застосовуються під час виготовлення, повинні забезпечувати точне базування деталей, надійну фіксацію зварюваних кромок, стабільне положення виробу під час прихвачування і зварювання, а також можливість автоматизованого переміщення колеса між технологічними позиціями.

Пристосування для зварювання обичайки обода

Для зварювання поздовжнього шва обичайки обода застосовується роботизована установка, до складу якої входять зварювальний робот та пристрій із флюсовою подушкою. Зварювальний робот виконує переміщення пальника вздовж лінії стику обичайки, а пристрій із флюсовою подушкою забезпечує підтримання зварюваних кромок знизу та правильне формування кореня шва.

Основним елементом пристрою для закріплення обичайки є затискна система, яка складається з рами, стояка, кронштейнів, нижньої опорної балки, верхньої опорної балки, клавішного притискача з пневмошланговим приводом, підкладки та шкворнів. Рама служить основою пристосування і сприймає зусилля, які виникають під час притискання обичайки. Стояк і кронштейни утворюють жорстку несучу систему, на якій закріплені опорні балки та притискні елементи.

Попередньо вальцьовану обичайку встановлюють у пристрій так, щоб її поздовжні кромки розміщувалися над флюсовою подушкою. Перед встановленням обичайки один зі шкворнів виймають, завдяки чому нижня опорна балка

повертається і відкриває доступ до робочої зони. Після укладання обичайки нижню балку повертають у робоче положення, а потім фіксують шкворнем. Така конструкція спрощує встановлення заготовки і забезпечує правильне розташування стику відносно зварювального робота.

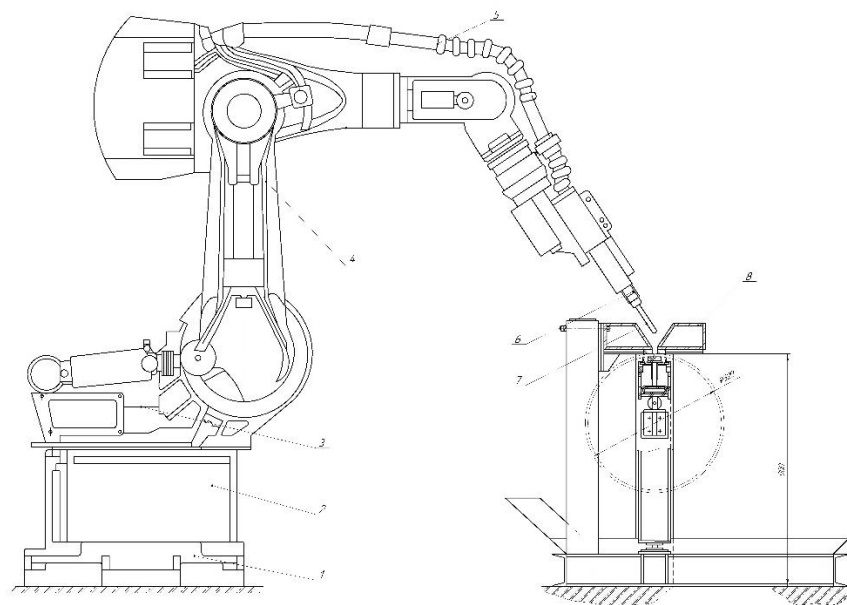


Рис. 3.1 – Установка для складання та зварювання обичайки

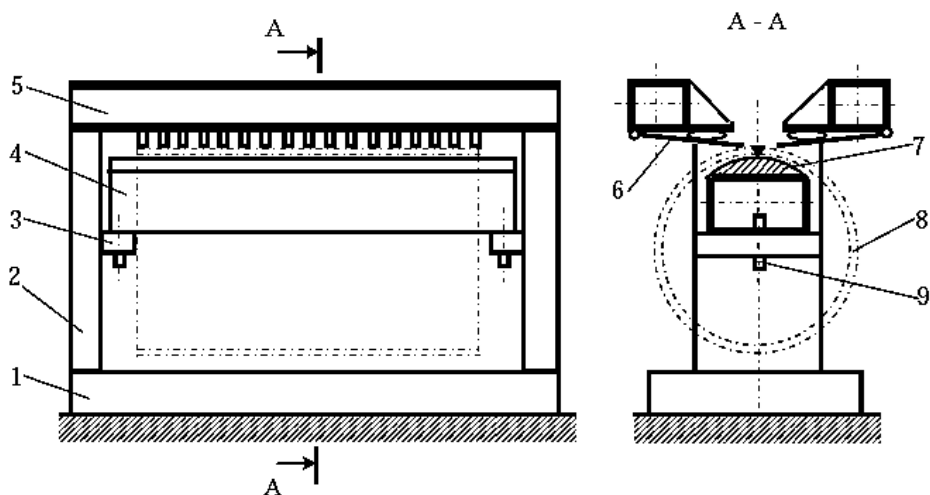


Рис. 3.2 – Пристрій для зварювання обичайки диска

Флюсова подушка виконує функцію підтримувального елемента під час зварювання поздовжнього шва. Вона розташована під стиком обичайки і забезпечує захист зворотного боку шва, підтримання розплавленого металу та формування якісного кореня. Завдяки цьому зменшується ризик пропалів,

провисання металу і нерівномірного формування шва на внутрішній поверхні обичайки.

Клавішний притискач із пневмошланговим приводом забезпечує рівномірне притискання поздовжніх кромek обичайки до флюсової подушки. Клавіші розміщені вздовж стику і створюють розподілене навантаження по всій довжині шва. Такий спосіб притискання є ефективним для циліндричних заготовок, оскільки він не створює значних місцевих деформацій і забезпечує однаковий зазор між кромками по довжині стику.

Силовим елементом притискача є пневмошланг, у який подається стиснене повітря. Під дією тиску пневмошланг передає зусилля на клавіші, які притискають обичайку до опорної поверхні. Після закінчення зварювання тиск у пневмошлангу знімається, клавіші звільняють обичайку, і виріб можна зняти з пристосування або передати на наступну операцію.

Під час зварювання обичайка залишається нерухомою. Зварювальний рух виконує робот, який переміщує пальник уздовж поздовжнього стику за заданою програмою. Перед початком зварювання робот орієнтується по центру стику, перевіряється положення кінця електродного дроту відносно зварюваних кромek, після чого виконується коригування траєкторії пальника. Відхилення пальника від центру стику повинно бути мінімальним, оскільки зміщення електрода може спричинити неповний провар однієї з кромek або нерівномірне формування шва.

Застосування такого пристрою забезпечує нерухомість обичайки, щільне притискання кромek, стабільність зазору та правильне формування поздовжнього шва. Після зварювання обичайка переходить на операції формування обода та подальшого складання з диском.

Пристосування для складання колеса та встановлення прихваток.

Після виготовлення обода виконують запресування диска в обід. Для забезпечення правильного положення диска відносно обода застосовується автоматична установка складання колеса. Її призначення полягає у транспортуванні складеного колеса, орієнтації виробу, автоматичному закріпленні

на поворотному столі, кантуванні та встановленні прихваток перед остаточним роботизованим зварюванням.

Установка складається з приймального транспортера безперервної дії, механізму завантаження коліс, двох механізмів орієнтації, двох чотиримісних поворотних столів із несучими кронштейнами-кантувачами, автоматів для встановлення прихваток, пунктів живлення та апаратури керування. Приймальний транспортер подає складене колесо до механізму завантаження, а механізм завантаження переносить його на кронштейн поворотного столу.

Кожен поворотний стіл має чотири радіальні кронштейни для закріплення коліс. На кінці кожного кронштейна розташований кріпильний фланець, який є основним базувальним елементом. На фланці колесо автоматично центрується і закріплюється у фіксованому положенні. Завдяки цьому забезпечується сталість положення диска й обода відносно осі поворотного столу та механізмів встановлення прихваток.

Механізми орієнтації забезпечують правильне положення колеса перед встановленням прихваток. Вони вирівнюють колесо відносно кронштейна, фланця та робочої зони, щоб з'єднання диска з ободом розміщувалося в заданому положенні. Це необхідно для рівномірного розміщення прихваток і запобігання зміщенню диска відносно обода під час подальшого транспортування до роботизованого комплексу.

Після закріплення колеса поворотний стіл повертається на 90° , переміщуючи виріб із позиції завантаження на позицію встановлення прихваток. Автомати встановлення прихваток виконують короткі зварні з'єднання, які тимчасово фіксують диск відносно обода. Прихватки утримують деталі від зміщення, зберігають співвісність колеса та забезпечують стабільне положення виробу перед остаточним зварюванням.

Кронштейни поворотного столу виконують також функцію кантувачів. У потрібний момент вони повертають колесо на 180° , завдяки чому забезпечується доступ до протилежного боку з'єднання. Кантування дає можливість встановити

прихватки з двох сторін без ручного перевстановлення виробу. Це підвищує точність складання і скорочує допоміжний час.

Після встановлення прихваток поворотний стіл знову повертається на 90° , і колесо надходить на позицію розвантаження. З цієї позиції воно передається на вихідний транспортер або безпосередньо до роботизованого комплексу остаточного зварювання. Кронштейн, звільнений від колеса, повертається у початкове положення і знову надходить на позицію завантаження наступного виробу.

Таким чином, автоматична установка складання колеса не виконує основне зварювання кільцевих швів. Її робота полягає у базуванні, орієнтації, закріпленні, кантуванні та встановленні прихваток, які забезпечують збереження положення диска в ободі до моменту роботизованого зварювання.

Роботизований комплекс зварювання диска з ободом

Остаточне зварювання диска з ободом виконує роботизований комплекс. До його складу входять промисловий зварювальний робот, джерело живлення для дугового зварювання в середовищі захисних газів, позиціонер або поворотний стіл, пристрій для закріплення колеса та система керування. На цьому етапі робот виконує основний зварювальний рух, а пристосування забезпечує правильне положення колеса відносно робочої зони.

Колесо, попередньо складене та зафіксоване прихватками, встановлюється на кріпильний фланець позиціонера. Фланець забезпечує центрування виробу за посадковою поверхнею або центральним отвором диска. Притискачі утримують колесо на фланці та не допускають його радіального або осьового зміщення під час зварювання. Від точності такого базування залежить рівномірність кільцевого шва і величина биття готового колеса.

Перед початком зварювання система керування встановлює колесо у положення, зручне для виконання внутрішнього кільцевого шва. Робот підводить зварювальний пальник до початку шва і виконує зварювання за запрограмованою траєкторією. Під час роботи робот забезпечує стабільну швидкість переміщення

пальника, постійну довжину дуги, заданий кут нахилу пальника та рівномірне формування валика по всьому колу з'єднання.

Після виконання внутрішнього шва позиціонер або кронштейн-кантувач повертає колесо на 180° . Завдяки цьому зовнішній кільцевий шов переводиться у зручне положення для зварювання. Після кантування робот повторно позиціонує пальник відносно з'єднання і виконує зварювання зовнішнього шва. У результаті диск з'єднується з ободом двобічним кутовим швом.

Під час роботи роботизованого комплексу колесо закріплене в пристосуванні, а зварювальний пальник переміщується роботом. Поворотний стіл або позиціонер забезпечує тільки орієнтацію та кантування виробу, а не виконує зварювальний рух замість робота. Така схема дозволяє забезпечити високу повторюваність траєкторії, однаковий катет шва, стабільну глибину проплавлення та мінімальний вплив людського фактора.

Роботизований комплекс підвищує продуктивність зварювання, забезпечує стабільну якість кільцевих швів і покращує умови праці. Застосування пристосування з фланцевим базуванням і автоматичним кантуванням дозволяє виконувати зварювання внутрішнього та зовнішнього швів без повторного ручного встановлення колеса, що зменшує ризик порушення співвісності диска й обода.

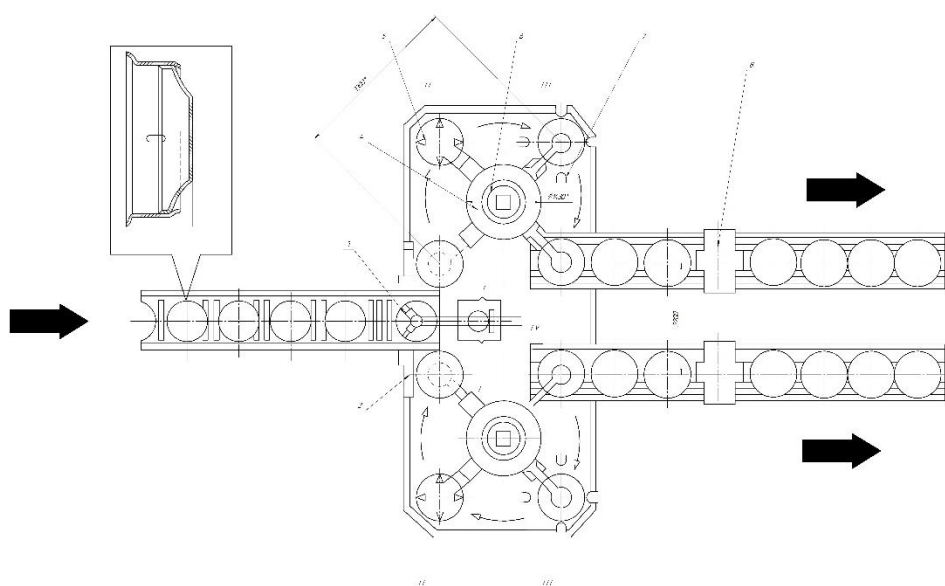


Рис. 3.3. Схема багатопозиційної установка автоматичного складання колеса

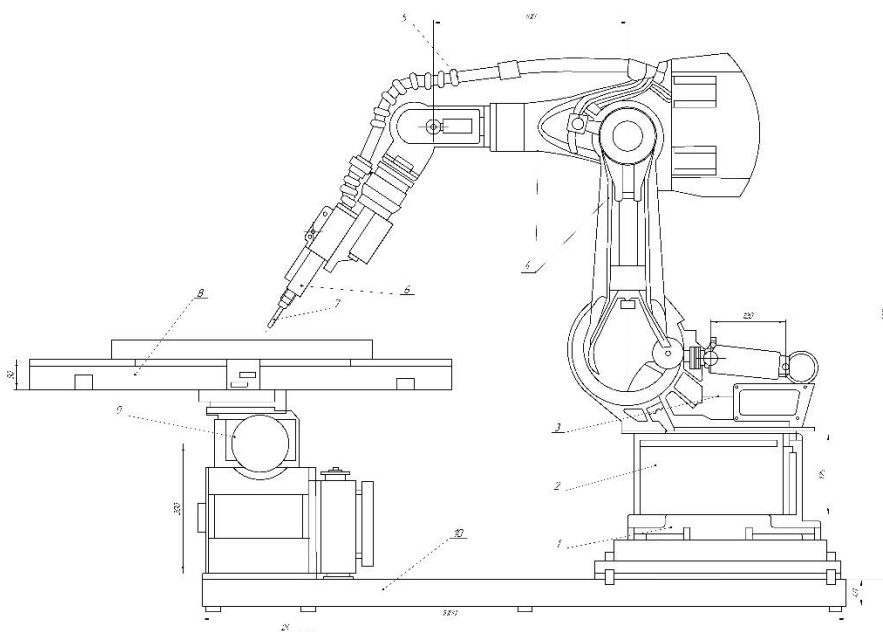


Рис. 3.4 Роботизований комплекс зварювання диска

3.2 Розрахунок зусилля притискання кромки обичайки обода тракторного колеса

З метою забезпечення якісного складання обичайки обода тракторного колеса перед зварюванням необхідно забезпечити паралельне розташування зварювальних кромки і стабільний зазор між ними. Після вальцювання листової заготовки можуть виникати окремі відхилення форми: недовальцювання крайових ділянок, зміщення кромки по висоті, а також неспівпадіння торців обичайки. Наявність таких дефектів ускладнює складання стику та може призвести до нерівномірного формування зварного шва[35].

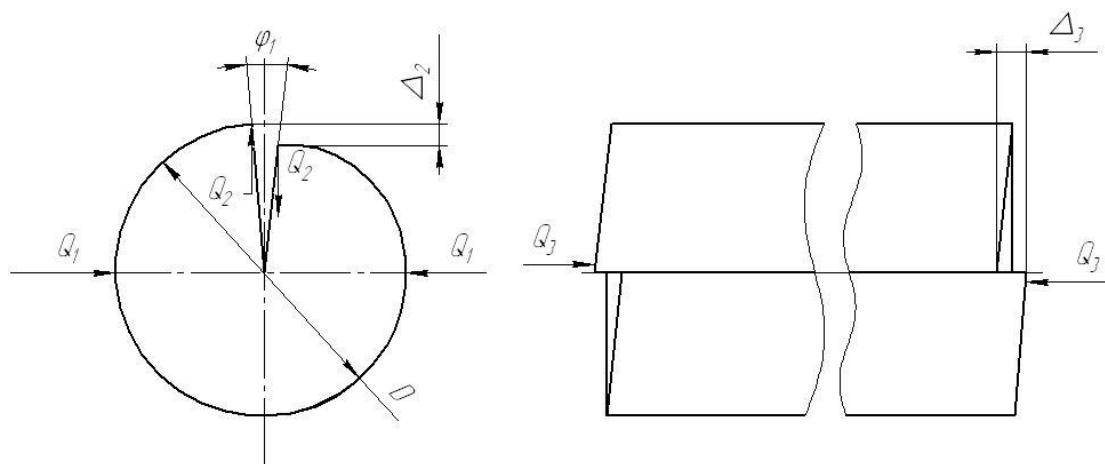


Рисунок 3.4 – Схема для розрахунку зусиль притискання

Визначивши необхідні зусилля притискання, проведемо розрахунок циліндра, за схемою приведеною на рис. 3.5.

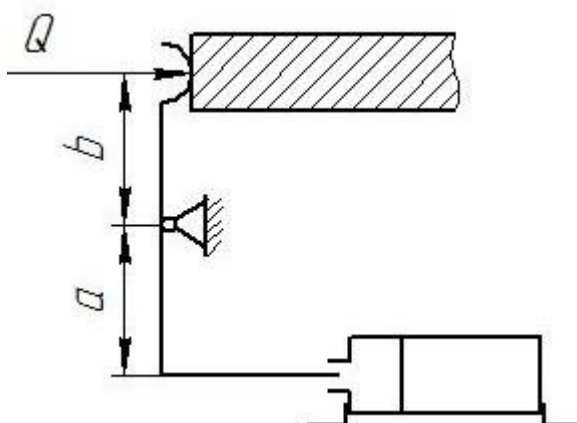


Рис. 3.5 – Розрахункова схема фіксації крайок

Для усунення зазначених відхилень перед операцією складання передбачається застосування пневматичних притискачів. Вони забезпечують підгинання кромки, їх фіксацію у заданому положенні та утримання стику обичайки до моменту виконання зварювання. Для вибору пневмоциліндра необхідно визначити розрахункові зусилля, які виникають під час вирівнювання кромки і торців.

При вальцюванні обичайки обода тракторного колеса допускаються такі граничні відхилення: $\varphi_1 \leq 3^\circ$; $\Delta_2 \leq 4$ мм; $\Delta_3 \leq 3$ мм.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

Позначення	Найменування параметра	Прийняте значення
E	модуль пружності сталі	$2 \cdot 10^5$ Н/мм ²
G	модуль зсуву сталі	$8 \cdot 10^4$ Н/мм ²
δ	товщина стінки обичайки обода	5 мм
B	ширина обичайки обода	406 мм
D	діаметр обичайки обода	965 мм
φ_1	кутове відхилення кромки	3°
Δ_2	зміщення кромки по висоті	4 мм
Δ_3	зміщення торців обичайки	3 мм

Необхідне зусилля для усунення недовальцювання кромки обичайки визначаємо за формулою:

$$Q_1 = (\varphi_1 \cdot E \cdot B \cdot \delta^3) / (1080 \cdot D^2), \text{Н} \quad (3.1)$$

де E — модуль пружності сталі, Н/мм²; δ — товщина стінки обичайки, мм; B — ширина обичайки обода, мм; D — діаметр обичайки обода, мм; φ_1 — кутове відхилення кромки після вальцювання, град.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q_1 = (3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 406 \cdot 5^3) / (1080 \cdot 965^2) = 30,3 \text{ Н}$$

Отже, для усунення недовальцювання кромки обичайки обода тракторного колеса необхідне зусилля становить $Q_1 = 30,3 \text{ Н}$.

Зусилля, необхідне для суміщення кромки по висоті, визначаємо за залежністю:

$$Q_2 = (\Delta_2 \cdot E \cdot B \cdot \delta^3) / (1,5 \cdot \pi \cdot D^3), \text{Н} \quad (3.2)$$

де Δ_2 — зміщення кромки по висоті, мм.

Підставляємо вихідні дані:

$$Q_2 = (4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 406 \cdot 5^3) / (1,5 \cdot 3,14 \cdot 965^3) = 9,6 \text{ Н}$$

Отже, зусилля для суміщення кромки по висоті становить $Q_2 = 9,6 \text{ Н}$.

Зусилля, необхідне для суміщення торців обичайки, визначаємо за формулою:

$$Q_3 = (0,35 \cdot \Delta_3 \cdot G \cdot B^3 \cdot \delta^3) / (D^3 \cdot (B^2 + \delta^2)), \text{Н} \quad (3.3)$$

де G — модуль зсуву сталі, Н/мм²; Δ_3 — зміщення торців обичайки, мм.

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q_3 = (0,35 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 406^3 \cdot 5^3) / (965^3 \cdot (406^2 + 5^2)) = 4,7 \text{ Н}$$

Отже, зусилля для суміщення торців обичайки становить $Q_3 = 4,7 \text{ Н}$.

За результатами розрахунку найбільше зусилля потрібне для усунення недовальцювання кромки:

$$Q_{\max} = 30,3 \text{ Н}$$

Для забезпечення надійної роботи притискного пристрою зусилля на штоці пневмоциліндра визначаємо з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$Q = Q_{\max} \cdot K \quad (3.4)$$

Загальний коефіцієнт запасу визначаємо за залежністю:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,5$$

де $K_0 = 1,5$ — гарантований коефіцієнт запасу; $K_1 = 1,0$ — коефіцієнт, що враховує стан контактних поверхонь; $K_2 = 1,0$ — коефіцієнт, що враховує сталість прикладеного зусилля.

$$Q = 30,3 \cdot 1,5 = 45,5 \text{ Н}$$

Таким чином, розрахункове зусилля на штоці пневмоциліндра становить $Q = 45,5 \text{ Н}$.

Для визначення зусилля приводу враховуємо роботу важільного механізму притискача. Зусилля приводу визначаємо за формулою:

$$P = Q / ((1 / b) \cdot (a - ((a + b) / b) \cdot f \cdot r)), \text{ Н} \quad (3.5)$$

де a і b — плечі важеля, мм; f — коефіцієнт тертя в осях шарнірів; r — радіус осі шарніра, мм.

Приймаємо такі значення: $a = 160 \text{ мм}$; $b = 160 \text{ мм}$; $f = 0,1$; $r = 10 \text{ мм}$.

$$P = 45,5 / ((1 / 160) \cdot (160 - ((160 + 160) / 160) \cdot 0,1 \cdot 10)) = 46,1 \text{ Н}$$

Отже, необхідне зусилля пневматичного приводу становить $P = 46,1 \text{ Н}$.

Діаметр пневмоциліндра визначаємо за формулою:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{((4 \cdot P) / (\pi \cdot p \cdot \eta))}, \text{ мм} \quad (3.6)$$

де P — зусилля приводу, Н; p — тиск стисненого повітря в пневматичній системі, Н/мм²; η — коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра.

Приймаємо $p = 0,63 \text{ МПа} = 0,63 \text{ Н/мм}^2$; $\eta = 0,85$.

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{((4 \cdot 46,1) / (3,14 \cdot 0,63 \cdot 0,85))} = 10,5 \text{ мм}$$

За результатами розрахунку мінімальний діаметр пневмоциліндра становить 10,5 мм. Оскільки під час роботи пристрою можливі додаткові опори

переміщенню, неточність установлення заготовки, локальні залишкові деформації після вальцювання та збільшення сил тертя, з конструктивних міркувань приймаємо стандартний пневмоциліндр із діаметром поршня $D_{ц} = 32$ мм.

Перевіримо зусилля, яке може створювати прийнятий пневмоциліндр:

$$P_{ц} = ((\pi \cdot D_{ц}^2) / 4) \cdot p \cdot \eta, \text{Н} \quad (3.7)$$

$$P_{ц} = ((3,14 \cdot 32^2) / 4) \cdot 0,63 \cdot 0,85 = 430,7 \text{ Н}$$

Умова працездатності виконується:

$$P_{ц} > P$$

$$430,7 \text{ Н} > 46,1 \text{ Н}$$

Прийнятий пневмоциліндр із діаметром поршня 32 мм забезпечує необхідне зусилля для вирівнювання та фіксації кромки обичайки обода тракторного колеса перед зварюванням. Запас за зусиллям є достатнім для компенсації додаткових технологічних опорів, які можуть виникати під час складання.

Для фіксації зазору між кромками та утримання торців у заданому положенні також доцільно застосувати пневмоциліндр із діаметром поршня 32 мм. Це дає можливість уніфікувати конструкцію притискних елементів, спростити обслуговування пристосування та забезпечити стабільне положення обичайки в процесі складання.

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги безпеки до виробничого процесу

Безпека виробничих процесів під час виготовлення дисків тракторних коліс є комплексною задачею, що охоплює різні напрями діяльності підприємства. Основні вимоги безпеки пов'язані з організацією виробництва, експлуатацією обладнання та підготовкою персоналу.

У зв'язку з активним впровадженням автоматизації у виробництво, особливу увагу приділяють електробезпеці, безпеці роботи верстатів з числовим програмним керуванням, автоматизованих ліній, а також безпеці під час виконання підготовчих і допоміжних операцій. Значна частина питань охорони праці вирішується ще на стадії проєктування виробничих приміщень і технологічних ліній.

На етапі проєктування підприємства здійснюється комплексне планування всіх процесів — від приймання сировини до відвантаження готової продукції. Кожен із цих етапів пов'язаний із потенційними ризиками, які можуть призвести до травмування працівників у разі недотримання вимог безпеки.

Після визначення технологічного обладнання та виробничих процесів розробляються інструкції з охорони праці, які регламентують порядок роботи з обладнанням. Також формується програма навчання персоналу, проводяться інструктажі та стажування. Детально описуються дії працівників під час виконання кожної операції, що є важливим для запобігання виробничому травматизму.

Особлива увага приділяється етапу приймання та зберігання сировини. На цьому етапі існують ризики, пов'язані з вантажно-розвантажувальними роботами, зберіганням матеріалів та можливими пожежонебезпечними ситуаціями. Тому розробляються відповідні інструкції, проводяться регулярні перевірки стану складського обладнання, стелажів і засобів зберігання.

На виробничих дільницях, де використовуються автоматизовані лінії, проводиться аналіз технологічного процесу з урахуванням трудомісткості робіт, кількості персоналу та їхньої кваліфікації. На основі цього визначається потреба у

фахівцях та розробляються посадові інструкції.

Перед допуском до роботи працівники проходять вступний інструктаж, професійну підготовку та стажування на робочому місці. Після перевірки знань вони допускаються до самостійної роботи. Інженерно-технічний персонал також проходить відповідне навчання та ознайомлюється зі своїми обов'язками. У разі впровадження нового обладнання проводиться додаткове навчання персоналу.

Дотримання вимог охорони праці, пожежної безпеки, електробезпеки та чинного законодавства України дозволяє створити безпечні умови праці та ефективно організувати виробництво. Важливим є також постійний контроль за технічним станом обладнання, своєчасне проведення ремонтів і модернізація виробничих потужностей.

Необхідно регулярно впроваджувати сучасні засоби захисту працівників, зокрема для зварювальних робіт, а також вдосконалювати системи вентиляції та димовидалення. Електротехнічний персонал повинен контролювати стан електроустановок та заземлення.

Служба охорони праці повинна проводити заходи для забезпечення покращення умов праці на виробництві. Моніторити новітні технології в плані димовидалення та вентиляції, засоби захисту (маски зварників, краги, допоміжний інструмент, повірка обладнання.) При злагодженій роботі всього колективу, правильному керуванні, розстановці пріоритетів та прикладенні зусиль таке виробництво запрограмоване на успіх. Адже тут працівники чітко ознайомлені з об'ємом роботи та вмотивовані виконати роботу якнайкраще. Інженерно технічні працівники постійно вдосконалюються, люди ростуть професійно, діляться знаннями, кадровий потенціал такого малого виробництва має потужний розвиток. Це гарант фахових кадрів яке викує надійну інженерну еліту практиків. Так будуються міцні держави. Все починається просто з правильного завезення потрібної сировини і далі фахова ідея перетворює 9 кг металу в чудовий високотехнологічний продукт – тракторний диск. Адже від якості дисків залежить багато життів щоденно.

2 Долікарська допомога при ураженні електричним струмом.

Перша медична допомога — це комплекс заходів, спрямованих на відновлення або збереження здоров'я потерпілих, здійснюваних немедичними працівниками (взаємодопомога) або самим постраждалим (самодопомога). Найважливіше положення надання першої допомоги — її терміновість. Чим швидше вона надана, тим більше сподівань на сприятливий наслідок. [36]

У разі нещасного випадку дуже важливо до приїзду лікаря своєчасно надати першу долікарську допомогу потерпілому.

Схема послідовності дій при наданні першої долікарської допомоги:

1. Вивести потерпілого з оточення, де стався нещасний випадок.
2. Вибрати потерпілому найбільш зручне положення, що забезпечує спокій.
3. Визначити вид травми (перелом, поранення, опік тощо).
4. Визначити загальний стан потерпілого, встановити, чи не порушені функції життєво важливих органів.
5. Розпочати проведення необхідних заходів:
 - зупинити кровотечу;
 - зафіксувати місце перелому;
 - вжити реанімаційних заходів (оживлення): штучне дихання, зовнішній масаж серця;
 - обробити ушкоджені частини тіла.
6. Одночасно з наданням першої долікарської допомоги необхідно викликати швидку допомогу або підготувати транспорт для відправки потерпілого до найближчої медичної установи.
7. Повідомити адміністрацію про те, що трапилось.

Важливо знати обставини, при яких сталася травма, умови, які спонукали до її виникнення, та час, годину і навіть хвилину, особливо коли потерпілий втратив свідомість.

На виробництвах автомобільних дисків найчастіше можна стикнутися з наступними травмами: ураження електричним струмом отруєння речовинами або газом та переломи або вивихи.

Ураження електричним струмом:



Рис. 4.1 ураження струмом [37]

Головне при наданні першої допомоги – як найшвидше звільнити потерпілого від дії струму.[38]

Для звільнення потерпілого необхідно:

- вимкнути рубильник або викрутити запобіжник;
- вимкнути струмоведучі, мережу живлення;
- сухою палкою відкинути від потерпілого провід, який знаходиться під напругою, відтягнути потерпілого від електричних проводів, від струмопровідних частин установки. При напрузі в установках до 1000 В можна взятися за сухий одяг потерпілого, не торкаючись відкритих частин тіла. Слід користуватися гумовими рукавичками або намотати на руку шарф, прогумований плащ і т.п. Рекомендується стати на ізолюваний предмет (на суху дошку, на згорток сухого одягу).

У випадку судорожного обхвату потерпілим електричного проводу, який знаходиться під напругою, розгорнути руки потерпілому, відриваючи його від проводу послідовним відгинанням окремих пальців. При цьому працівник, який надає допомогу, повинен бути у діелектричних рукавицях і знаходитись на ізолюваній від землі основі [39].

При напрузі в електричних установках понад 1000 В рятівник повинен одягти діелектричні боти, рукавиці і діяти діелектричною штангою.

Якщо потерпілий при свідомості, його кладуть у зручне положення, накривають теплим покривалом і залишають у стані спокою до прибуття лікаря. Якщо після звільнення потерпілого від дії струму він не дихає, то потрібно негайно приступити до штучного дихання і непрямого (зовнішнього) масажу серця. [40] Найбільш ефективним методом штучного дихання є "рот в рот" або "рот у ніс". Для надання допомоги стають з лівого боку від потерпілого, підкладають під його потилицю ліву руку, а правою тиснуть на його лоб. Це забезпечить вільну прохідність гортані. Під лопатки потерпілому кладуть валик із скрученого одягу, а рот витирають від слизу. Зробивши 2-3 глибоких вдихи, особа, яка надає допомогу, вдуває через марлю хустку повітря із свого рота в рот або ніс потерпілого. При вдуванні повітря через рот особа, що надає допомогу, закриває пальцями ніс потерпілого, при вдуванні через ніс потерпілому закривають рот.

Після закінчення вдування повітря в рот чи ніс потерпілого звільняють, щоб дати можливість вільному видиху. Частота вдування повітря потерпілому повинна бути 12-13 разів за хвилину.

При відсутності у потерпілого дихання і пульсу йому потрібно разом зі штучним диханням робити масаж серця. Робиться це так: потерпілого кладуть на спину на підлозі, звільняють грудну клітку від одягу, який стискає потерпілого. Особа, що надає допомогу, знаходиться з лівого боку від потерпілого, долонями двох рук натискає на нижню частину грудної клітки потерпілого з силою, щоб змістити її на 3-4 см. Після кожного натискання потрібно швидко забирати руки з грудної клітки, щоб мати можливість їй випростатись. У такій ситуації операції чергуються. Після 2-3 вдувань повітря роблять 4-6 натискань на грудну клітку. Для перевірки появи пульсу масаж припинають на 2-3 сек. Перші ознаки того, що потерпілий приходить до свідомості, - поява самостійного дихання, зменшення синюватості шкіри та поява пульсу.

Долікарська допомога при переломах, вивихах, ударах:

При переломах, вивихах необхідно надати потерпілому зручне положення, яке виключає рухи пошкодженої частини тіла. Це досягається шляхом накладання шини, а при її відсутності можна використати палки, дошки, фанеру і т.п. Шина повинна бути накладена так, щоб були надійно іммобілізовані два сусідні з місцем ушкодження суглоби (вище і нижче), а якщо перелом плеча чи стегна, - то три суглоби. Накладають шину поверх одягу або кладуть під неї що-небудь м'яке - вату, шарф, рушник. Шина повинна бути накладена так, щоб центр її знаходився на рівні перелому, а кінці накладалися на сусідні суглоби по обидва боки перелому. Фіксація відкритого перелому вимагає дотримання додаткових умов. З метою попередження забруднення рани, необхідно змастити поверхню шкіри навколо рани настойкою йоду, попередньо зупинивши кровотечу, і накласти стерильну пов'язку.

Особливо небезпечні травми хребта. У таких випадках необхідно обережно, не піднімаючи потерпілого, підсунути йому під спину дошку, щит, двері тощо.

При переломі ребер необхідно міцно забинтувати груди або стягнути їх рушником під час видиху.

При ушкодженні тазу необхідно обережно стягнути його широким рушником, покласти на тверді ноші, а під зігнуті і розведені колінні суглоби підкласти валик.

При переломах і вивихах ключиці у підм'язову западину кладуть вату або інший матеріал, згинають руку в лікті під прямим кутом і прибинтовують її до тулуба. Рука нижче ліктя повинна перебувати в косинці, яку підв'язують до шиї.

При переломах та вивихах зап'ястка та пальців рук роблять таким чином: кисть руки з вкладеним у долоню жмутом вати, бинта (пальці зігнуті) прикладають до шини, яка повинна починатися біля середини передпліччя і закінчуватися біля кінця пальців, і перебинтовують.

При ударах - забезпечити потерпілому повний спокій, накласти на місце удару холодний компрес. При ударах із синцями не слід класти примочки, місце удару змастити настойкою йоду і накласти пов'язку.

Долікарська допомога при отруєннях:

- Причиною отруєння є проникнення в організм людини різних токсичних речовин. Захворювання починається через 2-3 години, інколи через 20-26 годин.
- Причиною отруєння оксидом вуглецю є вдихання чадного газу, продуктів горіння, диму. Потерпілому необхідно забезпечити приплив свіжого повітря. Якщо є можливість - дати подихати киснем. Звільнити його від одягу, який утруднює дихання, дати понюхати нашатирний спирт. На голову і груди потерпілого покласти холодний компрес. У разі припинення дихання необхідно робити штучне дихання потерпілому.
- При отруєнні кислотою, якщо нема симптомів, що свідчать про прорив стравоходів або шлунку, потерпілого слід напоїти розчином питної соди, водою.
- При отруєнні лугом потерпілого поють оцтовою водою, лимонним соком. При наявності підозри на прорив (нестерпний біль за грудною кліткою або в ділянці шлунку) потерпілому не слід нічого давати пити, а негайно транспортувати у лікувальний заклад.
- Щоб запобігти зупинці дихання і кровообігу, необхідне постійне спостереження за потерпілим.

Отже, правильне та своєчасне надання долікарської допомоги значно підвищує шанси на збереження життя і здоров'я потерпілого.

ВИСНОВКИ

В роботі розроблено технологічний процес виготовлення тракторного штамповано-зварного сталюого диска, який базується на комплексному підході до проектування і його реалізації.

Проведено аналіз вимог до диска і вивчено технічних аспектів його виготовлення та визначено найбільш оптимальні параметри та умови окремих операцій. Враховуючи складально-зварювальні процеси, що гарантують високу якість зварних з'єднань і конструкції в цілому, була розроблена технологічна карта, основою якої є застосування автоматизованого процесу зварювання з використанням спеціалізованої зварювальної установки А1406.

Для забезпечення необхідних властивостей зварного з'єднання проведено розрахунок параметрів режиму зварювання та вибрано найбільш ефективне устаткування, яке дозволило знизити ймовірність появи дефектів швів та конструкції в цілому.

Розроблено конструкцію складально-зварювального пристосування з використанням пневмопритисків, які забезпечують достатнє складальне зусилля та швидке закріплення і вивільнення вузлів.

Запропонований технологічний процес дозволив досягти оптимального рівня якості виконаних робіт і зменшити кількість необхідного обладнання, що в свою чергу призвело до якіснішого і швидшого контролю та регулювання його параметрів та до зниження собівартості продукції і збільшення прибутку.

Проведено аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які можуть вплинути на працівників під час роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кривов Г. О., Зворикін К. О. Виробництво зварних конструкцій : підручник. Київ : КВІЦ, 2012. 896 с.
2. https://agrocontinental.net.ua/pro-kolesa/?utm_source=chatgpt.com
3. https://metinvest-smc.com/ua/steel/stal-3sp/?srsId=AfmBOoqoTtOHYUr0SynFNsHfIvbS9LyTEsxDLCfYYsyvXQfpymTBD_Cdg
4. Палаш В. М. Металознавчі аспекти зварності залізовуглецевих сплавів : навч. посіб. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2003. 263 с.
5. 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.
6. ДСТУ EN 10025-2:2022. Вироби гарячекатані з конструкційної сталі. Частина 2. Технічні умови постачання нелегованих конструкційних сталей. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
7. ДСТУ EN ISO 3834-2:2022. Вимоги до якості для зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 2. Комплексні вимоги до якості. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. ДСТУ EN ISO 5817:2022. Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів. Рівні якості залежно від дефектів. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022.
9. ISO 4251-1:2019. Agricultural tractor tyres and rims — Part 1: Tyre designation, dimensions and approved rim contours. — International Organization for Standardization, 2019.
10. ISO 5711:1995. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Wheel-to-hub fixing dimensions. — International Organization for Standardization, 1995.
11. Биковський О. Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій : підручник. Київ : Основа, 2021. 400 с.
12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. <https://hydromarket.com.ua/ua/p566669856-svarochnye-roboty-cloos.html?srsId=AfmBOorsDJo9WOKcx0xw8j7WLfDadIJu65fsl7ygqppEuvqmgmj3Cpvc>

16. https://cloos.hu/wp-content/uploads/2024/02/QINEO_NexT_Manual-EN.pdf

17. 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.

18. 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.

19. ДСТУ EN ISO 14175:2014. Матеріали зварювальні. Захисні гази для дугового зварювання та різання. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014.

20. https://www.he-machine.com/coil-handling-equipment/decoiler/?gad_source=1&gad_campaignid=21822391349&gbraid=0AAAA

A-

YRQJfgUO54zqs1if9NX2CexqDEX&gclid=Cj0KCQjw3K7RBhDJARIsAKRtP5Qqa8rDu8SWOepQAycuHgyXTEbeM0B7M0a98yM818hlODWt2hCti-QaAhvsEALw_wcB

21. <https://www.arku.com/en/levelers/laser-cut-and-punched-parts/flatmaster>
22. <https://yangli.com.ua/nozhytsi/>
23. <https://www.a-sfera.com.ua/products/tehnologicheskie-lazery-trumpf/sistema-lazernoy-rezki-trulaser-5030-fiber5040-fiber>
24. <https://www.timesaversint.com/machine/42-series/>
25. <https://kvrc.in.ua/ua/p1395659963-gidravlicheskiy-press-yangli.html>
26. <https://wheelmachinery.com/1-1-coiler-machine/199719/>
27. <https://maszyneria.com/en/product/finn-power-c5-punching-machine/>
28. https://xiaoyamachinery.en.made-in-china.com/product/gndriYebgIcR/China-Wheel-Weld-Treatment-Unit-Trimmer-Planisher-End-Cutting-Machine.html?pv_id=1jqvjuudr0a4&faw_id=1jqvjvirj937&bv_id=1jqvjvirm213&pbv_id=1jqvjuuea5c0p
29. <https://xiaoyamachinery.en.made-in-china.com/>
30. <https://kvrc.in.ua/ua/p1395659963-gidravlicheskiy-press-yangli.html>
31. https://3axisgroup.com/ru/?gad_source=1&gad_campaignid=23751453324&gbraid=0AAAAABfjyFVJNx5clpOW50SYywFx0Vd5u&gclid=CjwKCAjwxITRBhBYEiwA6mZm7SnWdKpaJSUu2eCkskHnGbm_OFKT2q0dF_I--kk6v2zE4_IhJ4z61xoCmRwQAvD_BwE
32. <https://maszyneria.com/en/product/finn-power-c5-punching-machine/>
33. https://ua.all.biz/uk/avtomat-zvaryuvalnyj-a-1406-g16798628#google_vignette
34. ДСТУ EN ISO 3834-3:2015. Вимоги до якості зварювання плавленням металевих матеріалів. Частина 3. Стандартні вимоги до якості. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
35. 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.

36. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник / Під ред. Я.Г. Бедрія. – Львів.:1997. – 275с
37. <https://oppb.com.ua/articles/zhertva-bezladdya-pracivnyk-zagynuv-cherez-ignoruvannya-norm-bezpeky-praci>
38. Жидецький В. Ц., Джиги рей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. Підручник.- Видавництво 5-те, доповнене. – Л.: Афіша, 2000. -350 с.
- 39 <https://dsp.gov.ua/iak-dopomohty-poterpilomu-pid-chas-urazh/>
40. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві. Навчальний посібник. – К.: Основа, 2010. – 240 с.