

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему «**Обґрунтування технології ремонту алюмінієвих
колісних дисків**»

Виконав: студент VI курсу групи Ат-63

Спеціальності 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва)

Богдан ГАДАДА
(Ім'я та прізвище)

Керівник: к.т.н., доцент Олексій ШВЕЦЬ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 669.715:669

Обґрунтування технології ремонту алюмінієвих колісних дисків. Гадада Б.В. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024 р.

71 с. текст. част., 37 рис.; 19 табл.; 31 джерело інформації.

Проведено аналіз автомобільних колісних дисків. Проаналізовано основні види ушкоджень литих дисків, їх характеристики та причини. Розглянуто фактори, які впливають на вибір технології ремонту литих дисків.

Розглянуто матеріали та їх характеристики, які використовуються для виготовлення легкосплавних колісних дисків. Для виконання ремонту тріщин в алюмінієвих дисках проаналізовано можливі способи їх заварювання та особливості виконання даних операцій. Для способів РДЗ, механізованого зварювання в середовищі захисних газів та аргонодугового зварювання розраховано технологічні параметри процесу.

Обґрунтовано технологічні параметри процесів електродугового зварювання тріщин дисків, розроблено послідовність підготовки дисків до зварювання, збирання зварної конструкції та послідовності виконання технологічних операцій зварювання.

Розглянуто питання охорони праці під час виконання операцій зварювання.

Визначено технологічну собівартість трьох різних процесів зварювання алюмінієвих дисків та визначено найбільш економічний.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	7
1.1 Призначення і конструкція колісних дисків	7
1.2 Види колісних дисків	8
1.3 Ушкодження литих дисків, їх види, характеристики та причини	13
1.4 Аналіз існуючих технологій ремонту литих автомобільних дисків	15
1.5 Фактори, які впливають на вибір технології ремонту литих дисків	18
Висновки за розділом	19
2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	20
2.1 Характеристика матеріалів виробу	20
2.2 Аналіз зварюваності алюмінієвих сплавів	23
2.3 Аналіз можливих способів ремонтного зварювання	25
2.3.1 Ручне дугове зварювання покритими електродами	25
2.3.2 Механізоване зварювання плавким дротом суцільного перерізу в інертному газі	26
2.3.3 Зварювання неплавким вольфрамовим електродом	28
2.3.4 Зварювання трифазною дугою	29
2.4 Теоретичні залежності визначення параметрів і режимів процесу електродугового зварювання алюмінію	31
2.4.1 Розрахунок параметрів та режимів ручного електродугового зварювання покритими електродами	31
2.4.2 Розрахунок параметрів режиму механізованого дугового зварювання суцільним дротом в середовищі захисних газів	33
2.4.3 Розрахунок параметрів аргонодугового зварювання	37
Висновки за розділом	40
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОЛІСНИХ ДИСКІВ	41

3.1	Обґрунтування технологічних параметрів процесу ручного електродугового зварювання	41
3.2	Обґрунтування технологічних параметрів процесу механізованого зварювання	44
3.3	Обґрунтування технологічних параметрів процесу аргонодугового зварювання	47
3.4	Підготовка елементів конструкції до збирання і зварювання	49
3.5	Збирання елементів зварної конструкції	52
3.6	Основні вимоги до виконання операцій зварювання	54
	Висновки за розділом	56
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	57
4.1	Санітарно-гігієнічні характеристики зварювального виробництва	57
4.2	Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання	58
	Висновки за розділом	60
5	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ	61
	Висновки за розділом	67
	ВИСНОВКИ	68
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	69

ВСТУП

Число автомобілів в Україні неухильно зростає, а тому виробництво комплектуючих, запчастин і деталей для автомашин, а також їх технічне обслуговування і ремонт є досить актуальним питанням сьогодення. Одним з важливих об'єктів автомобіля є колісні диски, які сьогодні часто представлені на ринку сталевими заготовками. Даний тип виготовлення колеса вважається традиційним, але він має безліч недоліків, тому на зміну йому вже давно прийшли типи коліс, виготовлені по більш досконалим технологіям і з використанням більш легких металів і їх сплавів. Із цієї причини вони одержали назву легкосплавні. Такі диски діляться на литі та кованиі.

Легкосплавні диски вигідно відрізняються від стандартних сталевих і на ринок усе більше клієнтів приходять саме за дисками з легких металів. І якщо литі диски мають деякі недоліки в порівнянні зі сталевими, то кованиі – кращі вироби з усіх. При нормально налагодженому виробництві їх ціна буде несильно відрізнятися від інших типів дисків, причому буде майже напевно нижче імпортованих литих і сталевих зразків. При цьому легкосплавні диски мають гарну геометричну точність, що поліпшує експлуатацію автомобіля; менша вага вже неодноразово була згадана.

Легкосплавні диски відрізняє ще й тим, що їм можна задати практично будь-який дизайн, який не суперечить конструктивним особливостям колеса, тому вони й стали так популярні у водіїв, які не прагнуть спостерігати на своїй автомашині стандартні (і, відверто говорячи, непоказні та навіть убогі) диски. При бажанні можна організувати виробництво дисків на замовлення (що не можна зробити при виробництві кованих дисків) і робити унікальну продукцію по індивідуальних замовленнях. Нарешті, легкосплавні диски завдяки своєму складу менше піддані зовнішнім умовам, впливу роботи машини, кованиі пружні і більш міцні, а легкосплавна основа дозволяє більш ефективно відводити тепло від гальмової системи – і на виході менше зношування та економія пального.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з основних елементів автомобіля, який забезпечує його переміщення є колесо. На сучасному ринку автомобільних запасних частин і комплектуючих виробники пропонують велику різноманітність автомобільних дисків. Колісні диски відрізняються одні від одних не тільки дизайном. В першу чергу вони відрізняються своїми технічними параметрами. Коротко проаналізуємо особливості стандартних дисків для коліс легкових автомобілів, які пропонуються виробниками.

1.1 Призначення і конструкція колісних дисків

Колісний диск є деталлю, на яку надівається автомобільна шина. Диск має кілька отворів, які призначені для кріплення колеса в зборі (диск + шина) на маточині ходової частини за допомогою спеціальних шпильок або болтів. Основне технологічне призначення колісного диска полягає у забезпеченні ефективного зв'язку в системі «маточина-диск-шина-дорога».

Для того, щоб шина не злетіла з диска під час руху автомобіля, а також під впливом високого тиску повітря в колесі, на поверхні диска є спеціальний кільцевий виступ, який ще називають полицею. Цей елемент може мати стандартний, плоский або розширений вид [15].

Також на поверхні обода диска є борт, в який плавно переходить в полицю. Ця частина диска може мати різний профіль. Конструкція диска повинна бути такою, щоб забезпечити правильне і якісне розміщення всієї площини кортової частини шини на диску. Через це будь-який автомобільний диск повинен мати високий показник міцності і жорсткості. Крім того, виробники намагаються виготовляти диски максимально, наскільки це можливо, легкими (чим важчим буде колесо, тим більше навантаження буде отримувати ходова частина і трансмісія автомобіля, а двигун буде витратити більший крутний момент на обертання колеса).

Для того, щоб рух автомобіля не супроводжувався биттям та вібрацією коліс, диск автомобільного колеса має бути виготовлений з дотриманням ідеальної геометрії кола.

1.2 Види колісних дисків

Всі різновиди колісних дисків для автомобілів можна розділити на чотири основні категорії [7]:

- штамповані;
- литі;
- ковані;
- складні (комбіновані).

Кожен з цих типів колісних дисків мають свої характеристики, переваги і недоліки. Розглянемо детальніше кожен з них окремо.

Штамповані або сталеві диски

Найбільш поширеним і бюджетним варіантом для виготовлення колісних дисків є штампування. Таким способом виготовляють сталеві диски (рис. 1.1). Вони складається з декількох елементів, виконаних шляхом штампування на пресах під великим тиском. Вони з'єднуються в єдину конструкцію за допомогою зварювання. Для того, щоб такі диски не створювали биття, технологія виробництва передбачає центрування кожного готового виробу. Крім того, кожен новий диск, незалежно від моделі і матеріалів, які використовувалися для його виготовлення, піддається балансуванню безпосередньо перед встановленням на автомобіль.

До переваг таких дисків відносяться:

- штампування і з'єднання частин диска є легким, тому їх виробництво дешеве, що позитивно позначається на ціні дисків;
- достатня міцність (кожен типорозмір призначений для конкретних моделей авто, оскільки його маса впливає на умови роботи диска (сила удару колеса під час наїзду на перешкоду залежить від ваги авто і його швидкості);

- штамповані диски при сильному ударі деформуються, а не розлітаються на частини. Таке ушкодження легко усунути прокатуванням.



Рисунок 1.1 – Сталеві штамповані колісні диски

Недоліки штампованих дисків наступні:

- оскільки штамповані сталеві диски відносяться до бюджетної категорії, виробники не виготовляють їх за особливим дизайном. Для покращення їх естетичного вигляду на транспортному засобі використовуються різноманітні декоративні ковпаки;

- у порівнянні з іншими типами дисків штамповані є найважчими;

- антикорозійне покриття, яке наноситься на поверхню диска в процесі виготовлення, в процесі експлуатації пошкоджується. Вплив корозії робить сталеві диски менш привабливою в порівнянні з легкосплавними і кованими аналогами.

Литі диски

Цей тип колісних дисків ще називаються легкосплавними. Найчастіше їх виготовляють зі сплавів алюмінію. Такі диски користуються попитом у

автомобілістів завдяки своїй міцності, меншій вазі, а також хорошому балансуванню. Крім цього, лиття дозволяє виробникам створювати диски за особливими проектами та унікальним дизайном.

Особливість конструкції таких дисків полягає в тому, що обід і диск, на відміну від штампованих, є одним цілим.



Рисунок 1.2 – Литі колісні диски

Для виробництва литих дисків використовують високоякісний сплав, який на 97% складається з алюмінію, титану, магнію та інші металеві елементи, які зміцнюють алюміній.

Переваги литих дисків:

- процес виготовлення виконується з високою точністю, через що виключається можливість поява браку;
- широкий вибір дизайну виробів, що надає можливість змінювати естетичний вигляд автомобіля;
- у порівнянні зі штампованими литі диски набагато легші (якщо порівнювати варіанти, призначені для конкретних моделей авто);
- литі диски забезпечують краще відведення тепла від гальмівних колодок.

До недоліків легкосплавних дисків можна віднести їх відносно високу крихкість. При потраплянні в яму, литий диск може розколотися. Це зумовлено зернистою структурою металу, через що він погано сприймає удари.

До поломки таких дисків призводить утворення мікротріщин, які з'являються в результаті незначних ударів при русі автомобіля. Для збільшення міцності виробники роблять стінки дисків більш товстими, однак це негативно відображається на їх масі.

Ще одним недоліком литих дисків є складність їх відновлення після пошкоджень. Часто їх рихтування та прокатування може призвести до утворення нових мікротріщин.

Також до недоліків литих дисків можна віднести їх пошкодження в процесі експлуатації (поява потертостей, подряпин і сколів). Тому такі диски потребують постійного догляду і захисту. Якщо цього не робити, то вони швидко втрачають свій естетичний вигляд.

Ковані диски

Ковані диски (рис. 1.3) є різновидом легкосплавних дисків. Їх виготовляється шляхом штампування алюмінієвого сплаву. Матеріал заготовки може включати суміш алюмінію, магнію, а також титану. Після отримання заготовки диска для виготовлення кінцевого виробу її обробляють механічним шляхом. В результаті застосування такої технології виготовлення отримують волокнисту структуру, яка формується з кількох шарів матеріалу.



Рисунок 1.3 – Кований алюмінієвий диск

У порівнянні зі штампованим і литим аналогами ковани диски легші і виглядає красивіше. У порівнянні зі звичайними литими дисками вони мають більшу міцність, завдяки чому здатні витримати великі удари не руйнуючись.

Крім складності відновлення, основним недоліком кованих дисків є висока вартість їх виробництва. Ще один мінус кованих дисків полягає в тому, що при сильному ударі вони не деформується, гасячи при цьому енергію удару, а передають зусилля на підвіску, через що вона отримує більші навантаження.

Вибір оригінального дизайну кованого диска також обмежений, оскільки необхідність виконання механічної обробки потребує застосування високовартісного складного обладнання з ЧПК.

Комбіновані або складні диски

Складні диски (рис. 1.4) втілюють в собі всі переваги кованих і литих варіантів. В процесі виготовлення виливається основна частина диска, а кований елемент (обід) кріпиться до нього за допомогою болтів.



Рисунок 1.4 – Складний алюмінієвий колісний диск

Така компоновка дозволяє виробникам створювати максимально міцні і красиві колісні диски. Такі диски важко відновлюються, а також коштують набагато дорожче ніж ковани, однак їх переваги переважають всі існуючі недоліки.

Крім перерахованих типів колісних дисків, які отримали велику популярність та широкий попит, існують також рідкісні і дорогі розробки. До них відносять моделі зі спицями, які встановлюються на колекційних авто та ретромобілях. Також існують диски з композитних матеріалів. Їх в основному використовують на суперкарах з метою полегшення авто. Виготовляють їх з надміцного пластику, карбону та інших матеріалів.

1.3 Ушкодження литих дисків, їх види, характеристики та причини

Будь яке ушкодження колісного диска може вплинути на якість їзди та керуваність автомобілем. При цьому слід пам'ятати, що експлуатувати проблемні диски небезпечно.

Загалом існують такі основні види ушкоджень литих дисків [28]:

- тріщини та сколи;
- радіальне зміщення (биття);
- осьове зміщення (биття).

Кожне ушкодження має свою причину і може виникнути за певної дорожньої ситуації та мати свої наслідки (табл.)

Таблиця 1.1 – Характеристика ушкоджень колісних дисків

Вид ушкодження	Причина	Характеристика
Тріщини та сколи	Сильний удар під час потрапляння колеса в глибоку яму або вибоїну на дорозі	Дрібні зовнішні дефекти диска, пошкодження лакофарбового покриття
Радіальне зміщення (биття)	Наїзд колеса на бордюр або потрапляння в яму	Вм'ятини
Осьове зміщення (биття)	Бічний удар об бордюр або іншу перешкоду	«Вісімка» на диску

Тріщини дисків можуть бути повздовжні (рис. 1.5,а), поперечні (радіальні) (рис. 1.5,б), комбіновані (рис. 1.5,в) та тріщини зварних швів (рис. 1.5,г).

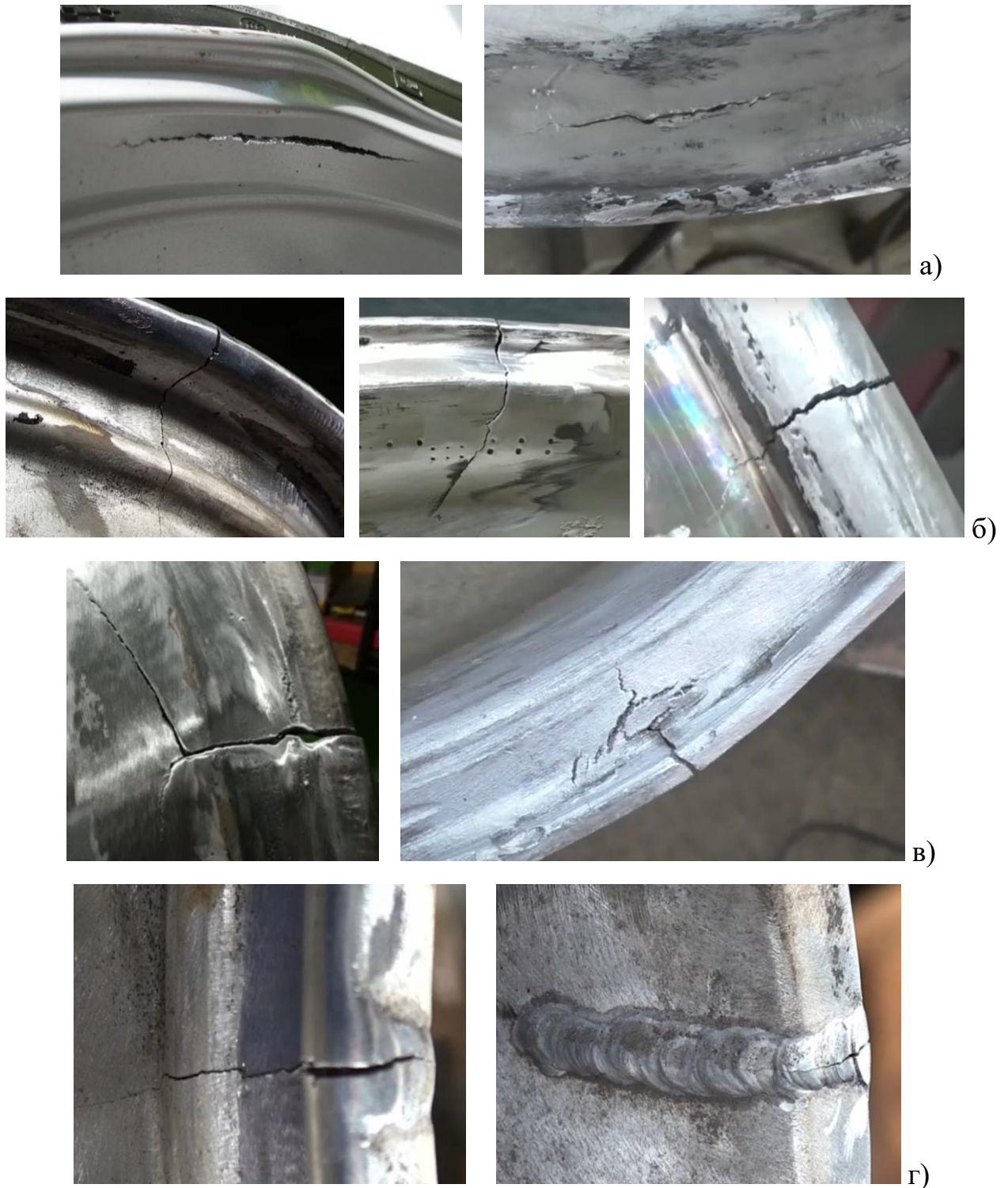


Рисунок 1.5 – Види тріщин литих колісних дисків

Якщо на дисках автомобіля виявлено одну з таких несправностей, то їх можна відремонтувати. Але існують і складніші пошкодження, які, на жаль, не підлягають ремонту. До них відносяться глибокі тріщини та тріщини в області маточини, великі сколи, а також сильне порушення геометричної форми та параметрів дисків. Виникнення таких пошкоджень залежить не тільки від характеру доріг, але й від якості дисків.

1.4 Аналіз існуючих технологій ремонту литих автомобільних дисків

Однією з найбільш поширених операцій ремонту литих автомобільних дисків є заварювання тріщин, які можуть утворюватися в дискові під дією ударних навантажень. Тріщини можуть утворюватися як на неушкоджених ділянках дисків так і в місцях, які вже були попередньо відремонтовані [26].

Для визначення характеру та розмірів тріщини диск очищають від пилу, бруду, лакофарбових покриттів та залишків герметизуючої мастики. Після цього тріщину розробляють (прорізають на всю довжину тріщини). Це дозволяє чітко бачити початок і кінець тріщини. Рекомендована товщина відрізного диска 1 мм. В деяких випадках по краях тріщини засвердлюють отвори з метою запобігти подальшому розповсюдженню тріщини та зняття концентрації напружень. Однак ці отвори в подальшому все одно заварюються, тому даних операцій можна уникнути [5].

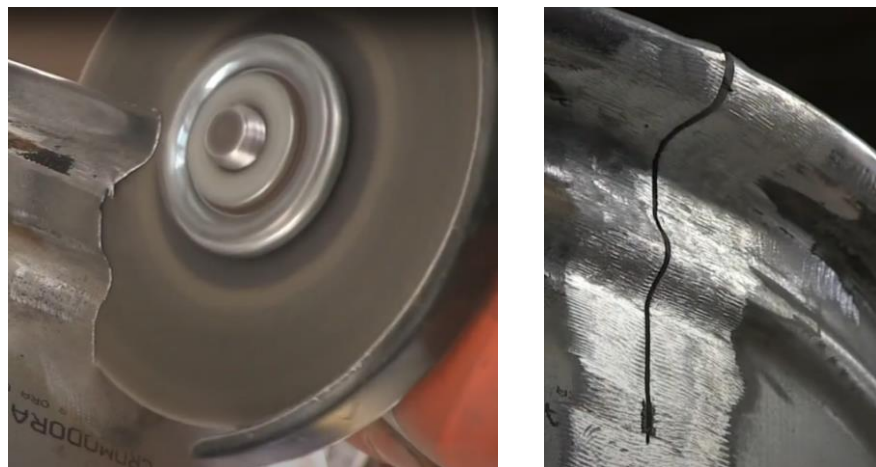


Рисунок 1.6 – Прорізання тріщини диска

Із зовнішнього боку диска поверх тріщини наварюють шов з накладанням додаткового шару присадкового матеріалу (рис. 1.7). Мета цього процесу наростити якісний алюміній на даній стороні тріщини.

Основна проблема зварювання алюмінію це те, що він має дуже високу теплопровідність(приблизно в 4 рази вищу ніж у сталі). Це призводить до малої

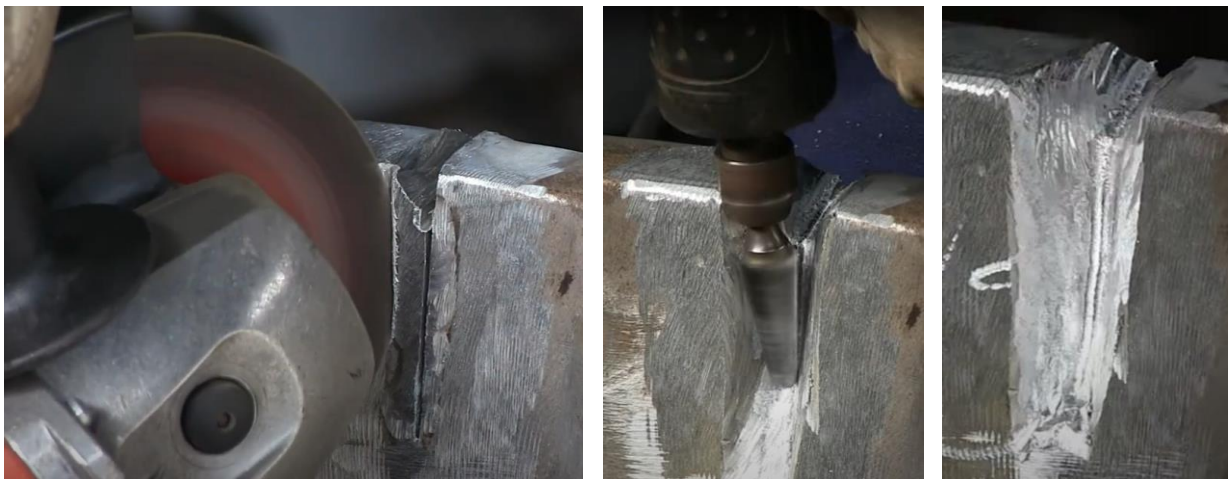
глибини провару через те, що матеріал деталі дуже швидко відбирає температуру від зони формування шва.

З внутрішньої сторони диска ділянку навколо тріщини також зачищають за допомогою шліфувальної машини. При зачистці слід бути уважним, оскільки алюміній має характерний відблиск і під різними кутами зору важко зорієнтуватися з межами тріщини та зони її обробки [29].

Далі тріщину вирізають на всю глибину (до шару свіжого металу, наплавленого з іншого боку диска) (рис. 1.8,а). Необхідність виконання такої операції пояснюється потребою проварити тріщину на всю глибину і отримати однорідний шов. Якщо цього не зробити, то через високу теплопровідність алюмінію дуже важко отримати глибокий провар (навіть апаратами з робочим струмом біля 400 А) [19].



Рисунок 1.7 – Наварений шар металу



а)

б)

в)

Рисунок 1.8 – Розробка тріщини диска

а – вирізання тріщини; б – розробка кромки; в – підготовлені кромки

Процес розробки тріщини є досить затратний по часу, але він забезпечує необхідну якість зварювання.

Після підготовки та розробки тріщини, виконують процес її зварювання (заварювання). Найбільш поширеним способом зварювання, який використовується в технології ремонту литих колісних дисків є електродугове зварювання неплавкими вольфрамовими електродами в середовищі інертного гаю (TIG) (рис. 1.9,а). Зварювання виконують на змінному струмі в середовищі 100 % аргону [2].

В залежності від товщини деталі, глибини тріщини та ширини розроблених кромок зварювання виконують за кілька проходів. Спочатку проварюють кореневий шов, а далі накладають наступні шари до повного заповнення розроблених кромок.

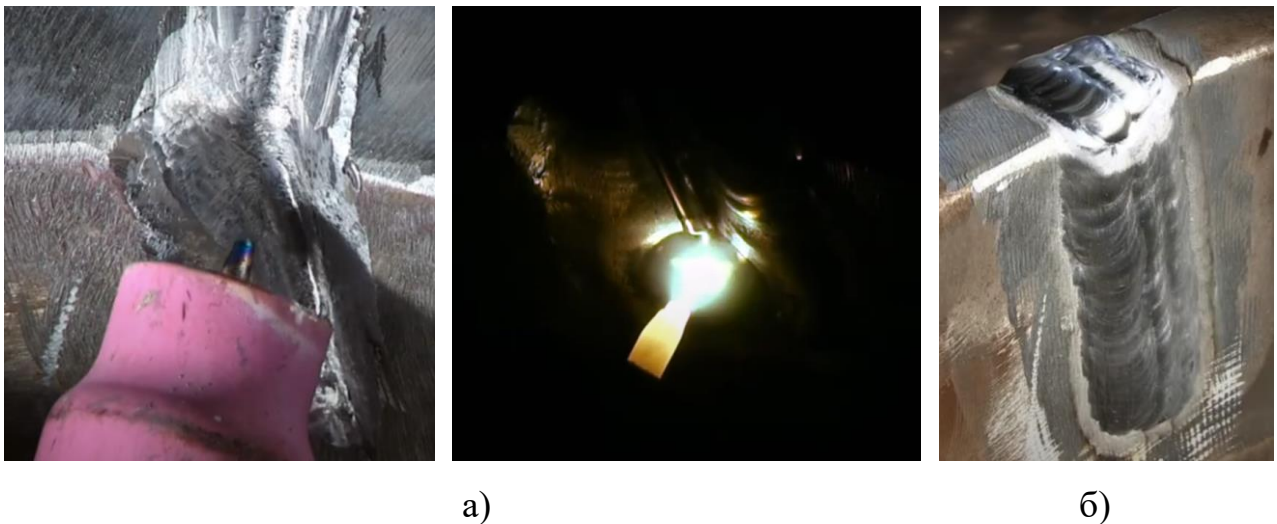


Рисунок 1.9 – Зварювання диска

а – процес TIG зварювання; б – шов з внутрішньої сторони диска

В процесі зварювання електрод рекомендується витягнути за межі сопла на 10-12 мм з метою кращої досяжності під час виконання кореневого шва. Струм зварювання рекомендується налаштовувати в межах 120 – 170 А (в залежності від товщини деталі). Такий струм дозволяє підтримувати високу температуру зварювання, за рахунок чого відбуватиметься добре руйнування оксидної плівки алюмінію та виводитиметься на поверхню шва.

Під час заварювання верхніх шарів шва зварювальний струм рекомендується зменшувати на 20 %. Це дозволяє краще керувати дугою та отримати більш якісну поверхню зварного шва.



Рисунок 1.10 – Процес обробки зовнішньої сторони диска

Після заварювання тріщини з внутрішньої сторони диска, наплавлений шар металу на зовнішній стороні зрізається, а поверхня диска шліфується за допомогою КШМ [22].

1.5 Фактори, які впливають на вибір технології ремонту литих дисків

Процес ремонту литих дисків автомобільних коліс відноситься до операцій відновлення пошкоджених або зношених дисків, виготовлених методом лиття з алюмінієвого сплаву. Литі диски відомі своєю міцністю, однак теж можуть зазнавати різних ушкоджень, таких як подряпини, сколи, тріщини або інші дефекти.

Вибір технології ремонту литих дисків може змінюватись, залежно від кількох факторів:

- тип пошкодження;
- матеріал та тип диска (алюміній, магній або сплав) та типу диска (литі чи ковані).
- розмір та діаметр диска;
- розташування пошкодження.

Існує кілька видів ремонту литих дисків:

- шліфування та полірування. Цей вид ремонту виконують для усунення незначних подряпин та поверхневих дефектів. Під час шліфування та полірування поверхня диска вирівнюється та набуває блиску.

- фарбування. Фарбування дисків виконують з метою відновлення пошкодженого лакофарбового покриття. Цей процес включає видалення старого та нанесення нового шару фарби та захисного лаку.

- рихтування. Рихтування проводиться у випадку деформації або погнутості диска. Для цього використовується спеціальне обладнання для відновлення геометрії диска.

- зварювання. Якщо на поверхні диска виявлені тріщини, то їх виправляють шляхом зварювання. Цей процес вимагає застосування спеціалізованого обладнання.

Важливо відзначити, що не всі види ушкоджень диска можуть підлягати ремонту. Рішення про можливість ремонту приймається в залежності від характеру пошкодження та рекомендацій фахівців.

Висновки за розділом

Аналіз конструкцій колісних автомобільних дисків показав, що для алюмінієвих легкосплавних дисків основним видом несправностей є їх тріщини. Для їх ремонту застосовують різноманітні способи зварювання, зокрема електродугове. Для ефективного виконання ремонту алюмінієвих дисків необхідно підбирати найбільш ефективні способи зварювання в залежності від виду матеріалу, його складу, товщини елемента диска та розмірів дефекту.

2 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика матеріалів виробу

Для виготовлення литих дисків найчастіше використовують алюміній зі спеціальними домішками. Найбільшого поширення набув ливарний сплав, до якого входить кремній (до 7 %), магній (0,4 %), титан (0,2 %), залізо (0,12 %), марганець (0,1 %), мідь і цинк (по 0,05 %) [11, 20]. З такого матеріалу отримують вироби, стійкі до корозії, що виключає потребу піддавати їх додатковому захисту. Також можуть застосовуватися й інші сплави, однак найбільш доцільним є застосування металу з низькою температурою плавлення.

В структурі матеріалу легкосплавних колісних дисків використовуються два найпоширеніших легких метали, це алюміній з температурою плавлення 933 °К (або 660 °С) і магній з температурою плавлення 923 °К (або 650 °С). Для роботи з такими легкоплавкими металами дозволяється використовувати стандартне устаткування.

Для виготовлення легкосплавних дисків для автомобільних коліс застосовують, в основному, сплави на основі алюмінію, який має ГЦК - грати з періодом $T = 0,4041$ нм.

Найбільш важливою властивістю алюмінію є його густина - 2,7 г/см³. Він має високу електричну провідність, корозійну стійкість внаслідок утворення тонкої міцної оксидної плівки Al₂O₃. Чим чистіший алюміній, тем вища його корозійна стійкість.

Технічний алюміній через його низьку міцність застосовується для виготовлення конструкцій і деталей, які не несуть навантаження, коли деталь має мати високу пластичність, гарну зварюваність, не піддаватись корозії та володіти високою тепло- і електропровідністю.

Механічні властивості відпаленого алюмінію й технічного алюмінію наведено в таблиці 2.1 [20].

Таблиця 2.1 - Механічні властивості відпаленого й технічного алюмінію

	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	НВ
Механічні властивості відпаленого алюмінію високої чистоти	50	15	-	50
Механічні властивості технічного алюмінію (АДМ)	80	30	35	–

Оскільки чистий алюміній не володіє високими міцнісними характеристиками, то більшого поширення набули його сплави. Через гарну технологічність, малу щільність, високу корозійну стійкість, за достатньої міцності, пластичності і в'язкості набули широкого застосування в авіації, суднобудуванні, автомобілебудуванні, будівництві та інших галузях народного господарства.

Усі алюмінієві сплави поділяють на деформовані, призначені для одержання напівфабрикатів (листів, плит, прутків, профілів, труб тощо), а також поковок і штампованих заготовок шляхом прокатування, пресування, кування й штампування та ливарні, призначені для фасонного лиття.

Найбільше часто на закордонних підприємствах для виробництва дисків виробники використовують g-Alsi7 - сплав з алюмінію і кремнію. Цей сплав добре піддається термічній обробці і на 20% краще витримує механічні навантаження. Також при виробництві колісних дисків використовують сплав алюмінію та кремнію g- Alsi10/11. В порівнянні з вищевказаним він гірше піддається термічній обробці [11].

Аналогом сплаву g-Alsi7 на нашому ринку є сплав АК7ч. Він має гарну корозійну стійкість, механічні, ливарні та технологічні властивості (не схильний до тріщиноутворенню під час кристалізації з наступним охолодженням, має мінімальну лінійну усадку). По оброблюваності різанням випереджає сплав АК12. Також має гарні механічні властивості за рахунок сполуки Mg_2Si , яка впливає на його міцність. Хімічний склад сплаву сплав АК7ч згідно ДСТУ 1583-93 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Хімічний склад сплаву АК7ч

Al	Fe	Si	Cu	Zn	Mn	Mg
89,6-93,8	до 1,5	6-8	до 0,2	до 0,3	до 0,5	0,2-0,4

Відповідно до ДСТУ 1583-93 властивості алюмінієвого сплаву АК7ч мають наступні значення (див. табл. 2.3).

Таблиця 2.3 - Механічні властивості матеріалу АК7ч при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Виливок	σ_b , МПа	ΔT , МПа	ψ_5 , %	КСУ, кДж/м ²	НВ, МПа
Лиття в кокіль	137-225	-	1,0 – 4,0	-	45-70

Його застосовують для виготовлення деталей літаків, приладів, корпусів pomp, карбюраторів, які працюють при температурі не вище $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Застосовують сплав АК7ч також для найбільш відповідальних виливків, складних і великогабаритних деталей, які працюють при вищих навантаженнях (картер двигуна внутрішнього згорання), для лиття мало та середньонавантажених деталей приладів, агрегатів і двигунів, а також для побутових виробів.

Аналогом закордонного сплаву AlSi10/11 в нашій країні є сплав АК12М2 - ливарний сплав. Його застосовують для одержання виливків складної конфігурації [20]. Температура його лиття $680\text{-}730\text{ }^{\circ}\text{C}$. Хімічний склад сплаву АК12М2 наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Хімічний склад матеріалу сплаву АК12М2

Al	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Mg
84-85	0,7	12	2	0,1	0,2	0,05

За ДСТУ 1583-93 властивості сплаву АК12М2 наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 2.5 - Механічні властивості матеріалу АК12М2 при $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Виливок	σ_b , МПа	ΔT , МПа	ψ_5 , %	КСУ, кДж/м ²	НВ, МПа
Лиття в кокіль	186	-	1,0		70
Лиття під тиском	260	-	1,5		83

2.2 Аналіз зварюваності алюмінієвих сплавів

Основною проблемою під час зварювання алюмінію є його здатність до швидкого покривання оксидною плівкою (Al_2O_3) на повітрі. Утворення оксидної плівки у звичайних умовах запобігає окисленню основного металу та забезпечує відсутність корозії у легких умовах експлуатації. Так, наприклад, при зварюванні технічного алюмінію на поверхні деталі після зварювання миттєво утворюється оксидний шар завтовшки $1 \cdot 10^{-7}$ м, який має межу міцності 20 МПа та щільність $4 \cdot 10^3$ кг/м³ [18].

Оксидна плівка, яка присутня на поверхні алюмінієвих деталей має температуру плавлення 2050 °С, тоді як сам алюміній плавиться близько при 650 С. Маючи більшу щільність, ніж алюміній, оксидний шар може проникати всередину зварного шва крізь розплавлену ванну у вигляді включень. Це призводить до зниження механічних властивостей зварного шва (зменшення міцності з'єднання)

Важливою негативною властивістю оксидної плівки є її здатність адсорбувати вологу (водяну пару), яка може утримуватись окисним шаром аж до температури плавлення металу. Ця волога стає джерелом водню, який викликає пористість зварного шва. Тому для виконання якісного зварювання необхідно вживати заходів з руйнування та видалення оксидної плівки з поверхні зварюваних кромek та основного металу в біляшовній зоні.

Оксидну плівку зазвичай видаляють наступними способами:

1. Механічним способом - шляхом зачищення шліфувальною шкіркою, дротяною щіткою з нержавіючої сталі або абразивним матеріалом. Видаленні оксидної плівки за допомогою щітки слід виконувати тільки в одному напрямку. Щітка не повинна бути надто грубою, інакше в результаті обробки оксид може проникнути в основний метал. Щітку, яка використовується для зачистки алюмінієвих деталей не можна використовувати для обробки поверхні деталей зі звичайної сталі чи нержавіючої сталі.

2. Хімічним способом – шляхом знежирення або травлення спеціальними хімікатами, до складу яких не мають входити вуглеводневі компоненти.

В авторемонтному виробництві технологія зварювання алюмінію та його сплавів може бути досить різноманітною. До основних особливостей зварювання цих матеріалів різними методами відносяться: необхідність видалення оксидної плівки з поверхні виробу, ретельна підготовка його до зварювання, попередній підігрів деталей тощо. До основних труднощів зварювання можна віднести:

1. Наявність та можливість утворення тугоплавкого оксиду Al_2O_3 ($T_{пл} = 2050$ °C) зі щільністю, більшою за щільність алюмінію, що ускладнює сплавлення зварних кромek та призводить до забруднення ним металу шва.

2. Різке зниження міцності при високих температурах зварювання може призвести до руйнування (провалування) твердого металу нерозплавленої частини кромek під дією ваги зварювальної ванни. Через високу текучість розплавленого алюмінію може витікати крізь корінь шва.

3. Через великий коефіцієнт лінійного розширення і низький модуль пружності алюмінієві сплави мають підвищену схильність до викривлення. Рівень зварних деформацій є в 1,5...2 рази вищий, ніж для сталевих конструкцій.

4. Необхідно проводити ретельне хімічне очищення зварювального дроту (прутків присадки), механічне очищення та знежирення зварних кромek деталі. Через різке підвищення розчинності газів у розігрітому металі та затримкою їх в середині металу під час охолодження останнього може виникати пористість, що в свою чергу, призводить до зниження міцності та пластичності металу. Попередній та супутній підігрів може сповільнити кристалізацію зварного шва, що сприятиме кращому видаленню газів та зменшенню пористості.

5. Через високу теплопровідність алюмінію для зварювання необхідно виконувати підігрів початкових ділянок шва до температури 120-150 °C або застосування супутній підігрів.

6. Метал зварного шва схильний до виникнення тріщин. Це пов'язано з грубою стовпчастою структурою металу шва та виділенням на межах зерен легкосплавної евтектики, а також утворенням значних усадкових напружень через високої ливарну усадки алюмінію (до 7 %).

2.3 Аналіз можливих способів ремонтного зварювання

Як альтернативні способи відновлювального зварювання деталей з алюмінієвих сплавів розглянемо такі способи [10, 18]:

- ручне дугове зварювання штучними покритими електродами;
- механізоване зварювання плавким дротом суцільного перерізу у захисних газах;
- зварювання неплавким вольфрамовим електродом в інертному газі;
- зварювання трифазною дугою.

2.3.1 Ручне дугове зварювання покритими електродами

Зварювання алюмінію із застосуванням покритих електродів виконують на постійному струмі зворотної полярності. Джерело постійного струму для живлення зварювальної дуги має забезпечувати падаючою вольт-амперну характеристику. Зварювання виконують короткою дугою з нахилом електрода 60...90°, що покращує візуальний контроль за зварювальною ванною. Перед виконанням зварювання зварні деталі можуть підігріватися до температури 150...200 °С.

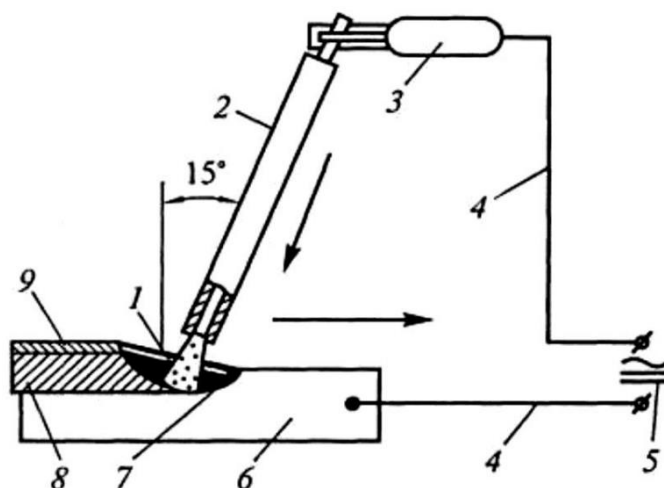


Рисунок 2.6 – Схема зварювання покритим електродом

1 – зварювальна дуга; 2 – електрод; 3 – електродотримач, 4 – зварювальні кабелі; 5 – джерело живлення; 6 – деталь; 7 – зварювальна ванна; 8 – зварне з'єднання; 9 – шлакова кірка

Ручне дугове зварювання алюмінію та його сплавів із застосуванням штучних покритих електродів рекомендують виконувати виключно в нижньому положенні і без коливань кінцем електрода. Зварювання стикових та кутових швів виконують на однакових режимах зварювання. Під час багат шарового зварювання кореневі шви слід виконувати електродами меншого діаметра. Після зварювання з поверхні шва необхідно видаляти шлак. Зайве посилення шва та бризки металу видаляються з поверхні деталі за допомогою скребків, пневматичних фрез або зубила.

До переваг даного способу можна віднести його високу мобільність, низьку вартість та простоту обладнання. На даний час виробниками пропонується широкий вибір покритих електродів, які дозволяють забезпечувати хорошу якість зварювання алюмінію та його сплавів.

До недоліків способу зварювання покритими електродами можна віднести: розбризування металу; значну зону термічного впливу; залежність якості ремонту від кваліфікації зварювальника; низьку продуктивність.

2.3.2 Механізоване зварювання плавким дротом суцільного перерізу в інертному газі

В даний час для операції механізованого зварювання легких сплавів використовуються спеціальні імпульсні джерела з імпульсом високої напруги, яка здатна розбивати оксидну плівку, і наступним зниженням напруги до базових значень. При цьому розплавлений електродний дріт проходить всі етапи від розплавлення до перенесення в зварювальну ванну. Можливість керування ванною дозволяє забезпечити високу якість зварного з'єднання. Використання імпульсного зварювання дозволяє отримати певні технологічні переваги: зменшується розбризування електродного металу, збільшується стабільність під час збудження та горіння дуги, знижуються зварювальні деформації, через високу концентрацію енергії зростає якість зварного шва, покращуються умови кристалізації розплаву. Використання імпульсної подачі для електродного дроту значно збільшує ефективність процесу механізованого зварювання для деталей з алюмінієвих сплавів [19].

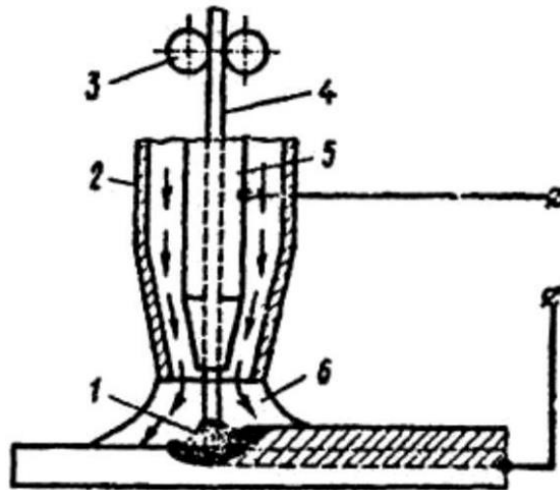


Рисунок 2.7 – Схема механізованого зварювання суцільним дротом в середовищі інертного газу

1 – електрична дуга; 2 – газове сопло; 3 – подаючий механізм; 4 – електродний дріт; 5 - струмопідвідний мундштук; 6 – захисний інертний газ

Процес механізованого зварювання в за тривалістю виконання орієнтовно втричі швидший, ніж процес зварювання неплавним електродом, однак якість останнього вища. Технологія зварювання деталей з алюмінію за допомогою зварювальних півавтоматів у порівнянні зі зварюванням сталі має деякі технічні особливості:

- алюміній та його сплави не зварюються на постійному струмі прямої полярності, а тільки на зворотній полярності;
- жорсткість алюмінієвого зварювального дроту значно нижча, ніж сталевого, через що збільшується ймовірність утворення петель (рис. 2.8) навіть при незначних опорах у рукаві шлангового пакета. Для уникнення цього недоліку застосовують-х роликові механізми подачі, зменшують довжину рукава та встановлюють тефлонову напрямну для зниження тертя.



Рисунок 2.8 – Змінання алюмінієвого дроту у механізмі подачі

- під час нагрівання розширення алюмінію вище ніж сталі, через що дріт може застрягти в контактному кінцевіку. Для запобігання застрягання дроту необхідно застосувати наконечники зі збільшеним діаметром отвору;

- через швидке ніж для сталі плавлення алюмінієвого дроту під час зварювання необхідно забезпечувати більшу швидкість подачі дроту. За малої швидкості подачі буде відбуватися оплавлення наконечника пальника.

До переваг даного способу можна віднести: високу продуктивність, не вимагає високої кваліфікації виконавця, а також хороший захист місця зварювання.

До його недоліків можна віднести: розбризкування металу; можливу пористість утвореного з'єднання, гірші фізико-механічні властивості шва, в порівнянні зі зварюванням неплавким вольфрамовим електродом.

2.3.3 Зварювання неплавким вольфрамовим електродом

Під час зварювання із застосуванням неплавких вольфрамових електродів в середовищах інертних газів дуга нагріває та розплавляє метал у зоні з'єднання.

Захисний інертний газ подається з газового сопла, виконує функцію захисту зварювальної ванни та електрода від атмосфери. У якості захисних газів застосовують аргон, гелій або їх суміші. Тугоплавкий вольфрамовий електрод розташовується в центрі газового сопла. Присадковий матеріал подається до зони зварювання вручну. Живлення дуги забезпечує джерело змінного струму. Змінний струм забезпечує руйнування оксидних плівок [2].

Спосіб TIG-зварювання почав активно розвиватися починаючи з 60-х років минулого століття. В даний час цей спосіб дозволяє задовольняти високі вимоги до зварних швів, завдяки чому він набув широкого поширення під час виготовлення, ремонту та відновлення відповідальних деталей із алюмінієвих сплавів.

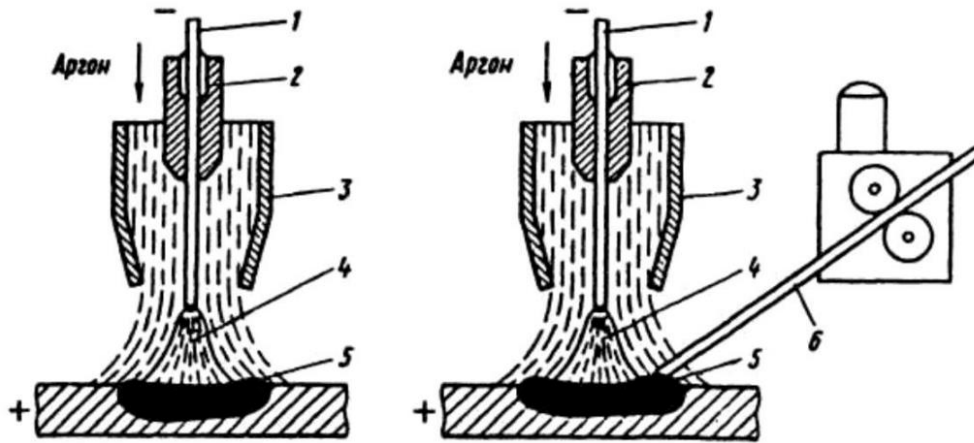


Рисунок 2.9 – Схема зварювання неплавким електродом (TIG-зварювання)

- 1 – електрод; 2 – цанговий затискач електрода; 3 – сопло; 4 – дуга;
5 – зварювальна ванна; 6 – пруток присадкового матеріалу

До переваг зварювання неплавким електродом можна віднести: покращення зовнішнього вигляду та якості зварного з'єднання порівняно з іншими способами зварювання; можливість регулювання кількості присадкового металу; малу зону термічного впливу.

До його недоліків можна віднести: зменшення продуктивності зварювання у порівнянні з іншими способами; вимагає високої кваліфікації зварювальника; високі вимоги до якісної додаткової підготовки деталей та зварювального дроту.

2.3.4 Зварювання трифазною дугою

Необхідність усунення недоліків зварювання неплавким електродом в інертних газах вимагає постійного його удосконалення. Через це було розроблено обладнання для зварювання алюмінію на змінному струмі з накладенням імпульсів (імпульсно-дугове зварювання). При цьому між імпульсами підтримується постійна низькоамперна дуга, що дозволяє суттєво стабілізувати процес та підвищити якість зварних з'єднань.

Одним із напрямків удосконалення зварювання неплавким електродом є використання джерела живлення трифазної дуги. Під час такого зварювання використовують два вольфрамові електроди. До кожного електрода та деталі

подають змінний струм від трифазного джерела живлення. При цьому відбувається одночасне горіння трьох дуг (незалежної дуги між електродами та двох дуг між кожним електродом та зварюваною деталлю). Трифазна дуга володіє високою стійкістю і продуктивністю процесу.

В процесі зварювання трифазною дугою існує можливість регулювання тепловкладень в основний метал. Послідове розташування електродів дозволяє отримати збільшення глибини проплавлення, а при паралельному розташуванні електродів відбуватиметься збільшення ширини шва та зниження глибини проплавлення [4].

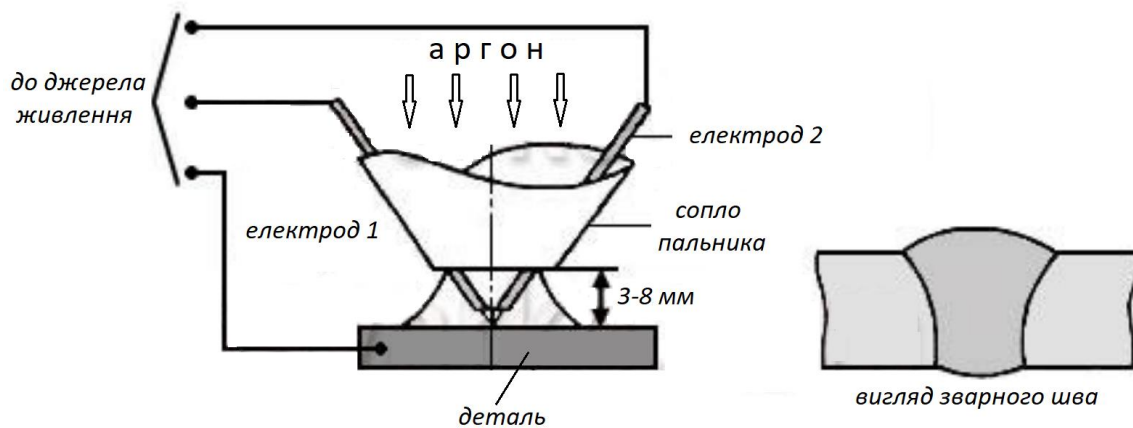


Рисунок 2.10 – Схема зварювання трифазною дугою

До переваг трифазного зварювання алюмінієвих сплавів відносять: високі можливості проплавлення; значну продуктивність операції; хороші показники катодного розпилення оксидних плівок

Недоліками процесу є складність регулювання теплових режимів зварювання та необхідність високої якості підготовки присадкового матеріалу.

2.4 Теоретичні залежності визначення параметрів і режимів процесу електродугового зварювання алюмінію

2.4.1 Розрахунок параметрів та режимів ручного електродугового зварювання покритими електродами

Параметри режиму ручного електродугового зварювання покритими електродами (РДЗ) залежать від товщини зварюваного металу та типу зварного

з'єднання. Основним документом, який регламентує типи, конструктивні елементи та розміри зварних з'єднань для даного виду зварювання, які використовуються під час обґрунтування параметрів процесу є ГОСТ 5264-80 «Ручне дугове зварювання. Зварні з'єднання».

Основними параметрами процесу РДЗ є [10]:

діаметр електрода d_e , мм;

сила зварювального $I_{зв}$, струму, А;

напруга на дузі U_d , В;

швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год;

кількість проходів $n_{п}$.

Необхідну кількість проходів під час РДЗ визначають за формулою:

$$n_{п} = \frac{F_{но} - F_{нк}}{F_{нз}} + 1, \quad (2.1)$$

де $F_{но}$ – загальна площа поперечного перерізу наплавленого металу, мм²;

$F_{нк}$ – площа поперечного перерізу наплавленого металу кореневого шва, мм²;

$$F_{нк} = (5 \dots 7)d_e$$

$F_{нз}$ – площа поперечного перерізу заповнюючого наплавленого металу шва, мм²;

$$F_{нз} = (8 \dots 10)d_e$$

Силу зварювального струму визначають залежно від діаметра зварювального електрода:

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot j, \quad (2.2)$$

де d_e – діаметр електрода, мм;

j – допустима щільність струму в електроді, А/мм² (див. табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Значення допустимої щільності струму під час РДЗ [3]

Вид покриття	j , А/мм ² в електроді діаметром	
	3	4
Кисле, рутилове	14-20	11,5-16
Основне	13-18,5	10-14,5
Целюлозне	12,7-16,9	9,6-13,6

Також силу зварювального струму під час приблизних розрахунків можна визначити з виразу

$$I_{зв} = k_n \cdot d_e , \quad (2.3)$$

де k_n – коефіцієнт пропорційності, який залежить від діаметра електрода (див. табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Коефіцієнт пропорційності [3]

Діаметр електрода, мм	3	4
Коефіцієнт пропорційності, k_n	30-45	35-50

Знаючи характеристики покриття електрода та положення зварного шва силу зварювального струму визначають за формулою:

$$I_{зв} = K_I^{тп} \cdot K_I^{пш} \cdot d_e , \quad (2.4)$$

де $K_I^{тп}$ – коефіцієнт, який залежить від типу покриття електрода (див. табл. 2.8);

$K_I^{пш}$ – коефіцієнт, який залежить від положення шва в просторі (див. табл. 2.9).

Таблиця 2.8 – Значення коефіцієнта $K_I^{тп}$ [3]

Коефіцієнт	Тип покриття			
	Основне	Рутилове	Кисле	Целюлозне
$K_I^{тп}$	17-23	20-30	20-30	20-25

Таблиця 2.9 – Значення коефіцієнта $K_I^{пш}$ [3]

Коефіцієнт	Положення шва в просторі		
	Нижнє	Стельове	Горизонтальне, вертикальне
$K_I^{пш}$	1	0,76-0,78	0,85-0,92

Напруга на дузі залежить від типу покриття електрода, його товщини, хімічного складу стержня та його діаметра. Її можна визначити за формулою:

$$U_d = 20 + 0,04 \cdot I_{зв}, \quad (2.5)$$

або

$$U_d = 12 + 0,36 \cdot \frac{I_{зв}}{d_e}, \quad (2.6)$$

Швидкість зварювання визначається за формулою:

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{\rho \cdot F_{ни} \cdot 100}, \quad (2.7)$$

де α_n – коефіцієнт наплавки, г/А·год ($\alpha_n = 8 \dots 10$ г/А·год);

ρ – густина наплавленого металу, г/см³.

2.4.2 Розрахунок параметрів режиму механізованого дугового зварювання суцільним дротом в середовищі захисних газів

Параметри режиму механізованого дугового зварювання суцільним дротом в середовищі захисних газів (MIG) залежать від товщини зварюваного матеріалу та типу зварного з'єднання. Основним документом, у якому представлені типи, конструктивні елементи та розміри зварних з'єднань, які необхідні для розрахунку режиму зварювання наведені в ГОСТ 14771-76 «Дугове зварювання в захисних газах. Зварні з'єднання».

Основними параметрами процесу дугового зварювання в середовищі захисних газів є:

- діаметр електродного дроту $d_{ед}$, мм;
- сила зварювального $I_{зв}$, струму, А;
- напруга на дузі U_d , В;
- швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год;
- кількість проходів $n_{п}$;
- виліт електрода l_b , мм;
- швидкість подачі електродного дроту $V_{ед}$, м/год;
- витрата захисного газу $l_{зг}$, л/хв.

Визначення параметрів процесу дугового зварювання суцільним дротом в середовищі захисних газів починають з визначення глибини проплавлення.

Вона залежить від товщини металу S , який необхідно зварити, величини зазору b між деталями, параметрів притуплення кромки c та форми їх розроблення, а також катета шва K . Розрахункові формули, які використовують для визначення глибини провару різних типів зварних швів наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Вирази для визначення глибини проплавлення [14]

Тип зварних з'єднань	Розрахункова формула
Стикове одностороннє без скосу кромки	$h_p = S - 0,5 \cdot b$
Стикове двостороннє без скосу кромки	$h_p = 0,6 \cdot S - 0,5 \cdot b$
Стикове одностороннє зі скосом кромки	$h_p = 0,7 \cdot S - 0,5 \cdot b$
Стикове двостороннє зі скосом кромки	$h_p = 0,35 \cdot S - 0,5 \cdot b$
Кутову, таврове, напускове	$h_p = (0,7 \dots 1,1) \cdot K, K = 1,2S$

Необхідний діаметр електродного зварювального дроту визначають за формулою:

$$d_{ед} = \sqrt[4]{h_p} \pm 0,05 \cdot h_p, \quad (2.8)$$

де h_p – розрахункова глибина проплавлення, мм.

Силу зварювального струму, яка залежить від глибини проплавлення та коефіцієнта пропорційності, визначають за формулою:

$$I_{зв} = \frac{h_p}{k_n} \cdot 100, \quad (2.9)$$

де k_n – коефіцієнт пропорційності, який залежить від діаметра електродного дроту (див. табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Коефіцієнт пропорційності для механізованого зварювання

Діаметр електродного дроту	k_n , мм/100А
	Постійний струм зворотної полярності
1,2	2,10
1,6	1,75
2	1,55
3	1,45
4	1,34
5	1,20

Силу зварювального струму також можна визначити, знаючи глибину проплавлення та ширину шва:

$$I_{зв} = K_1 \cdot \frac{h_p^{1,32}}{e^{1,07}}, \quad (2.10)$$

де K_1 – коефіцієнт, який залежить від діаметра електродного дроту. Його отримують емпіричним шляхом, а для розрахунків використовують табличні дані (табл. 2.12);

Таблиця 2.12 – Значення коефіцієнта K_1 [3]

$d_{ед}$, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
K_1	335	335	430	460	480

Напругу на зварювальній дузі, яка залежить від діаметра і вильоту електродного дроту, визначають за формулою:

$$U_d = 20 + \frac{50 \cdot 10^{-3}}{d_{ед}^{0,5}} \cdot I_{зв}, \quad (2.11)$$

або

$$U_d = 14 + 0,05 \cdot I_{зв}, \quad (2.12)$$

чи

$$U_d = 7 \cdot \sqrt[4]{I_{зв}}, \quad (2.13)$$

Розрахункову кількість проходів визначають за формулою (2.1).

Швидкість зварювання визначають за формулою (2.7), прийнявши значення коефіцієнта наплавлення $\alpha_n = 12 \dots 14$ г/А·год [18].

Відповідно до теорії поширення теплоти під час зварювання для геометричної подібності зварювальної ванни необхідно забезпечити $I_{зв} = V_{зв} = A = \text{const}$. Тоді швидкість зварювання можна визначити за наступною формулою:

$$V_{зв} = \frac{A}{I_{зв}}, \quad (2.14)$$

де A – постійна похідна від сили зварювального струму та напруги на дузі, Ам/год (див. табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Значення A в залежності від $d_{ед}$ [3]

$d_{ед}$, мм	1,2	1,6	2,0	3,0	4,0	5,0
A , Ам/год	2000- 5000	5000- 8000	8000- 12500	12000- 16000	16000- 20000	20000- 25000

Швидкість механізованого зварювання також можна визначити за формулою:

$$V_{зв} = K_V \cdot \frac{h_p^{1,61}}{e^{3,36}}, \quad (2.15)$$

де K_V – коефіцієнт, який залежить від діаметра електродного дроту. Його значення, визначені експериментальним шляхом наведені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Значення коефіцієнта K_V [3]

$d_{ед}$, мм	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0
K_V	1030	1065	1060	1120	1150

Необхідну швидкість подачі електродного дроту визначають за формулою:

$$V_{ед} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{\rho \cdot F_{ед} \cdot 100}, \quad (2.16)$$

де α_n – коефіцієнт наплавки, г/А·год ($\alpha_n = 12 \dots 14$ г/А·год);

$F_{ед}$ – площа поперечного перерізу дроту, см².

або

$$V_{ед} = 0,53 \frac{I_{зв}}{d_{ед}^2} + 6,94 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{I_{зв}^2}{d_{ед}^3}, \quad (2.17)$$

Необхідний виліт електродного дроту визначають за формулою:

$$l_b = 10 \cdot d_{ед} \pm 2 \cdot d_{ед}, \quad (2.18)$$

Витрату захисного газу можна визначити за емпіричною формулою:

$$q_{зг} = 0,2 \cdot I_{зв}^{0,75}, \quad (2.19)$$

2.4.3 Розрахунок параметрів аргонодугового зварювання

Параметри та режими процесу аргонодугового зварювання (TIG) залежать від товщини зварюваного металу і типу зварного з'єднання. Основним

документом, у якому представлені типи, конструктивні елементи та розміри зварних з'єднань, які необхідні для розрахунку режиму зварювання алюмінію та його сплавів наведені в ГОСТ 14806-80 «Дугове зварювання алюмінію та алюмінієвих сплавів в інертних газах. Зварні з'єднання».

Основними параметрами режиму TIG зварювання є:

- діаметр неплавкого електрода $d_{не}$, мм;
- сила зварювального $I_{зв}$, струму, А.

Діаметр присадкового матеріалу (прутка) вибирають за спеціальною діаграмою (рис. 2.11) [30].

Необхідний струм зварювання визначають за наступною формулою:

$$I_{зв} = 65 \cdot \sqrt{d_{не}^3}, \quad (2.20)$$

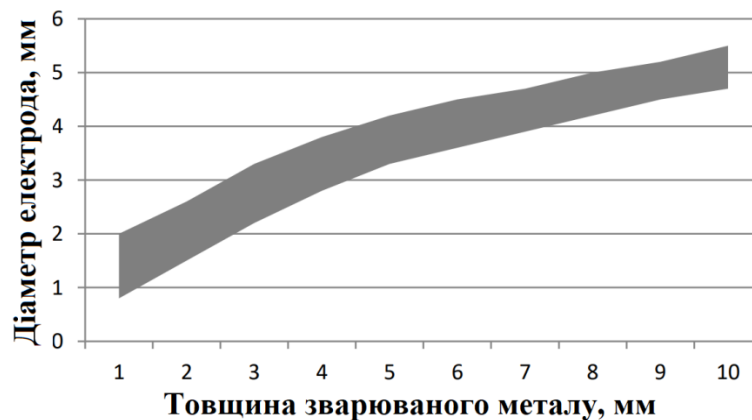


Рисунок 2.11 – Діаграма для вибору діаметра вольфрамового електрода

Для забезпечення ефективного газового захисту для кожного режиму зварювання встановлюють оптимальну витрату газу. Надійність захисту в процесі зварювання визначається також діаметром і формою сопла пальника, відстанню сопла від поверхні виробу, відсутністю протягів. У таблиці 2.15 подано рекомендовані діаметри сопла пальника залежно від діаметра електрода.

Таблиця 2.15 - Визначення діаметра вихідного отвору сопла

Діаметр вольфрамового електрода, мм	2-3	4	5	6
Діаметр вихідного отвору сопла, мм	10-12	12-16	14-18	16-22

Залежність між діаметром сопла та витратою газу, яка також може використовуватися для обґрунтування витрати представлена на рис. 2.12.

Витрату аргону, в залежності від виду зварюваного матеріалу та товщини визначають за графіком, представленим на рис. 2.13.

Надмірна витрата може призводити до турбулентного витікання газу і засмоктування в зону дуги навколишнього повітря, а отже до порушення газового захисту. При недостатній витраті газу або надмірно великій швидкості зварювання захист зони зварювання буде недостатнім.

Тиск аргону в залежності від витрати встановлюється в межах 0,01-0,05 МПа. Аргон подають за 3-5 с до збудження дуги, а вимикають подачу газу через 5-7 с після згасання дуги [18, 30].

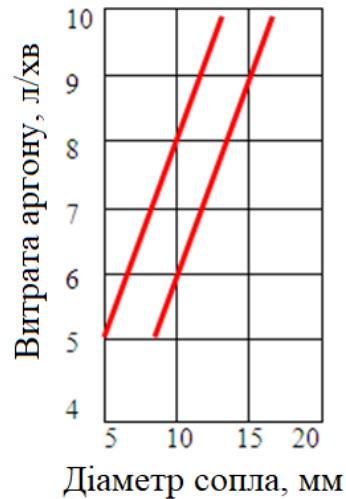


Рисунок 2.12 – Залежність витрати аргону від діаметра сопла

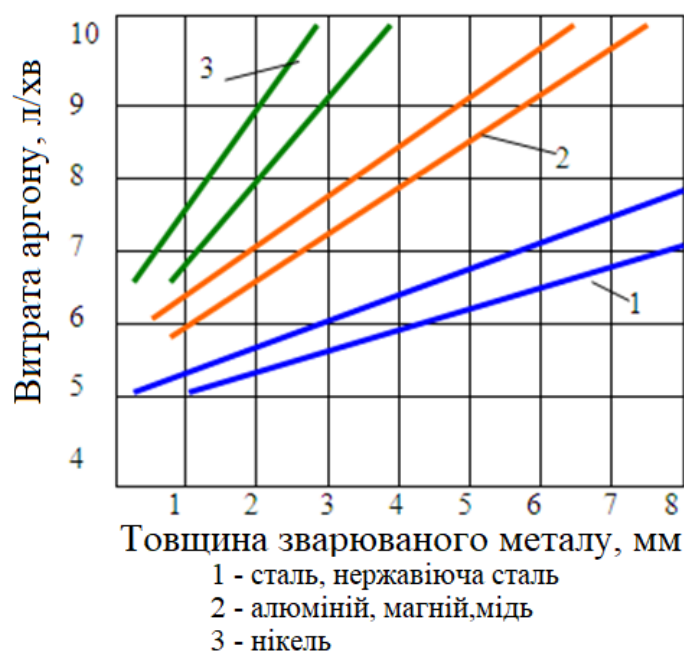


Рисунок 2.13 – Діаграма визначення витрати аргону

Як присадковий матеріал, що випускається за ГОСТ 7871-75, найчастіше використовують дріт:

- чистий технічний алюміній (СВА99, СВА97, СВА85Т, СВА5);
- сплав алюміній-марганець (СВАМц);
- сплав алюмінію з магнієм (СВАМг3, СВАМг5, Св1557, СВАМг6, СВАМг63, СВАМг61);
- сплав алюмінію з кремнієм (СВАК5, СВАК10);
- сплав алюмінію з міддю (Св1201).

Діаметр прутків присадкових дротів можна підбирати в межах 2-5 мм.

Висновки за розділом

Для ремонту алюмінієвих дисків в автомайстернях та СТО можуть використовувати три основні види електродугового зварювання: ручне електродугове штучними покритими електродами, механізоване суцільним дротом в середовищі аргону та аргонодугове зварювання неплавкими вольфрамовими електродами з подачею присадкового матеріалу.

Основними технологічними параметрами процесу зварювання алюмінію є величина зварювального струму, напруга на дузі, діаметр електрода (дроту чи присадкового матеріалу), швидкість зварювання та витрата захисного газу. Ці параметри залежать від товщини елементів конструкції і впливають на глибину проварювання, якість формування зварного шва та міцність конструкції.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЄВИХ КОЛІСНИХ ДИСКІВ

Для вибору оптимального процесу електродугового зварювання легкосплавних колісних дисків під час їх ремонту проаналізуємо параметри процесів, розглянутих в п. 2.3 і 2.4.

3.1 Обґрунтування технологічних параметрів процесу ручного електродугового зварювання

З п.п. 2.4.1 відомо, що вибір параметрів процесу зварювання здійснюється за товщиною зварюваних деталей. Так як товщина елементів колісних дисків легкових автомобілів може коливатися в межах 1...10 мм, то для їх ремонту методом зварювання можна вибрати покриті електроди з наступними характеристиками:

- діаметром електрода 3 мм – довжина 225-300 мм;
- діаметр електрода 4-5 мм – довжина 350-450 мм.

Покриті електроди та спосіб РДЗ рекомендовано використовувати в одиничному ремонті дисків з з алюмінієвих сплавів АМц або АмГ при вмісті магнію та сплавів кремнію-алюмінію до 5 %. Спеціальні електроди для ручного дугового зварювання алюмінію покриті обмаскою, до складу якої входять фториди і хлориди лужноземельних і лужних металів.

Легування металу зварювального шва здійснюється додатково через покриття або шляхом підбору необхідного складу матеріалу стрижня електрода.

Використання електродів меншого діаметру може виникати труднощі зварювання, причиною яких є високою швидкістю плавлення стрижня електрода. Для нормальної роботи товщина металу повинна перевищувати 4 мм.

Найбільш поширеними серіями електродів для зварювання алюмінію, які доступні на ринку України є електроди серій ОЗА, УАНА і ОЗАНА. Перша і третя серії мають високий рівень гігроскопічності і низьку міцність. Електроди серії УАНА використовують для зварювання та наплавлення деталей з ливарних сплавів алюмінію і його деформівних сплавів.

Для електродів ОЗА-1 використовують алюмінієвий дріт Сва1, рекомендований для роботи з чистим алюмінієм. Електроди ОЗА-2 виготовляються з дротів СваКЗ, СваК5, СваК10 і придатні для роботи зі сплавами алюміній-кремній. Електроди серій ОЗАНА-1 і ОЗАНА-2 виготовляють з алюмінієвого сплаву АД1 і АВ2Т та дроту СваКЗ або СваК5 відповідно. Перший вид цих електродів використовують для зварювання чистого алюмінію, а другий – для зварювання сплавів кремній-алюміній [10, 16].

Залежність сили зварювального струму визначається діаметром електрода. На рис. 3.1 представлено залежність зварювального струму від товщини зварюваних деталей, побудована за результатами розрахунку виразу (2.3).

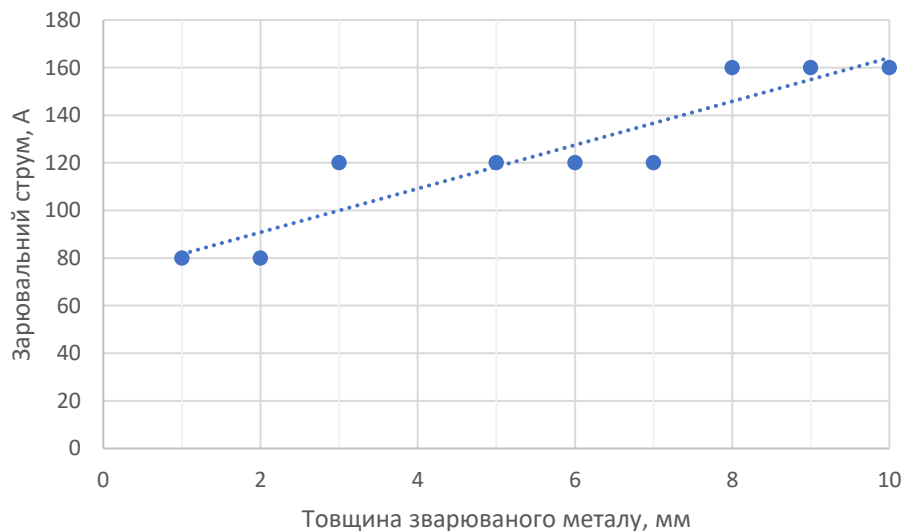


Рисунок 3.1 – Залежність зварювального струму зварювання від товщини зварюваних деталей

З рис. 3.1 бачимо, що значення зварювального струму змінюються ступінчасто. Це зумовлено залежністю струму від діаметра електродів. Оскільки

рекомендаціями [3] встановлені стандартні діаметри електродів, то підбір струму доцільно здійснювати за середніми значеннями досліджуваних параметрів та при необхідності змінювати після пробного зварювання.

Технологічним параметром, який регламентує продуктивність процесу є швидкість зварювання. Теоретична залежність швидкості зварювання під час РДЗ, побудована в функції від товщини металу та розрахована за (2.7) представлена на рис. 3.2.

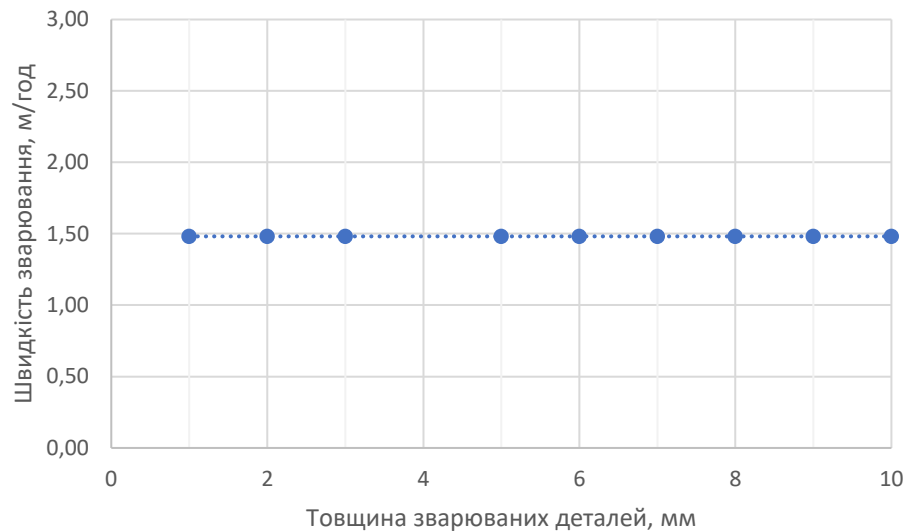


Рисунок 3.2 – Залежність швидкості зварювання від товщини металу

Дана залежність побудована для випадку одностороннього зварювання з розробкою кромки за один прохід. Як бачимо, швидкість зварювання є постійною. Це пояснюється залежністю діаметра електрода від товщини металу, а зварювального струму від діаметра електрода. Оскільки зі збільшенням товщини деталей буде збільшуватися і площа поперечного перерізу зварного шва, то за рівних значень всіх інших параметрів процесу, даний показник буде взаємнозалежним для пропорційного зростання зварювального струму.

За результатами розрахунків спосіб РДЗ доцільно застосовувати під час зварювання елементів колісних дисків товщиною > 3 мм на струмі 100...120 А.

Для зварювання алюмінію і його сплавів покриті електроди використовують вкрай рідко. І хоча, цей процес є найменш затратним та найбільш простим, якість виконання робіт залишає бажати кращого.

3.2 Обґрунтування технологічних параметрів процесу механізованого зварювання

Для процесу механізованого зварювання дротом суцільного перерізу в середовищі захисних інертних газів крім технологічних параметрів, розглянутих в попередньому пункті, додатково слід визначати швидкість подачі електродного дроту, витрату захисного газу та виліт електрода.

Початковим параметром, який визначає значення усіх наступних для процесу механізованого зварювання є глибина проплавлення на яку впливають геометричні параметри деталі, спосіб обробки кромки та тип зварного з'єднання (табл. 2.10).

Залежність глибини проплавлення від товщини кромки деталі, які підлягають механізованому зварюванню наведена на рис. 3.3.

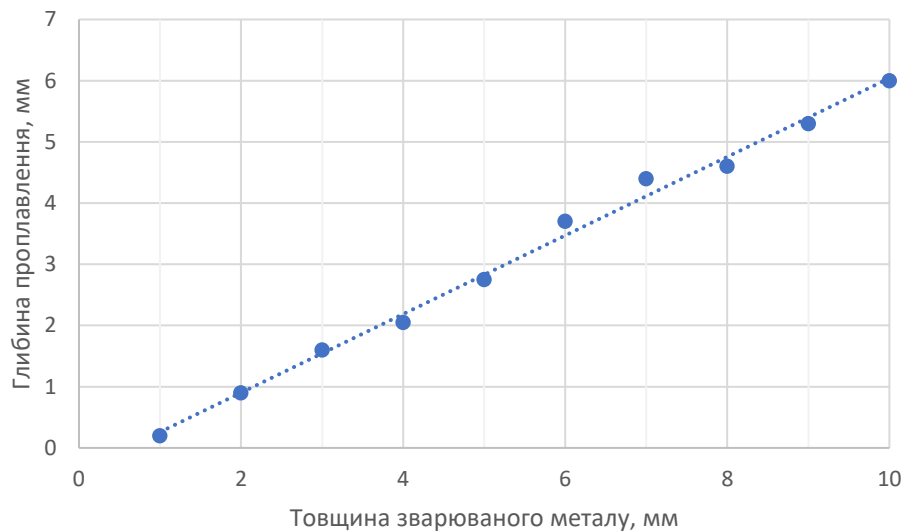


Рисунок 3.3 – Залежність глибини проплавлення від товщини кромки деталі

У функціональній залежності від цього ж показника визначають необхідний діаметр електродного дроту (2,8) та необхідна величина сили зварювального струму (2.9, 2.10). Графічне відображення даної залежності сили зварювального струму від товщини деталей, а отже і від глибини проплавлення представлено на рис. 3.4.

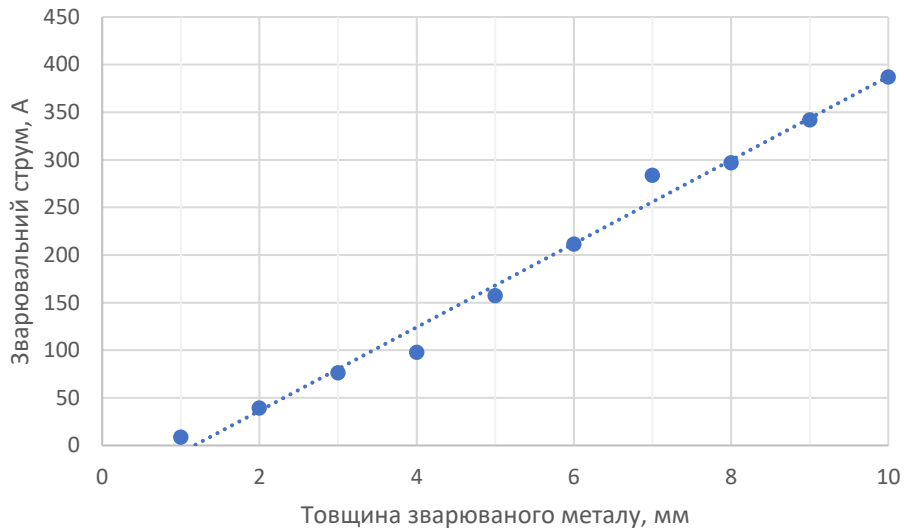


Рисунок 3.4 – Залежність сили зварювального струму від товщини деталі

Залежність сили струму, необхідної для розплавлення дроту та виконання зварювання, від товщини деталей представлена на рис. 3.5.

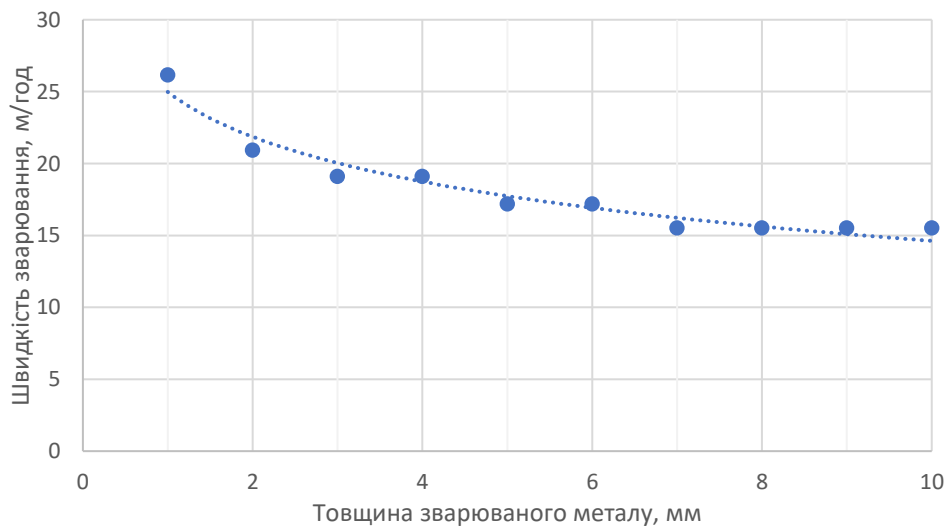


Рисунок 3.5 – Залежність швидкості зварювання від товщини зварюваних деталей

Оскільки більшість джерел живлення для механізованого зварювання працюють в синергетичному режимі, то сила зварювального струму взаємопов'язана зі швидкістю подачі електродного дроту. Графічне відображення даної залежності, розрахованої за (2.16) ілюструє рисунок 3.6.

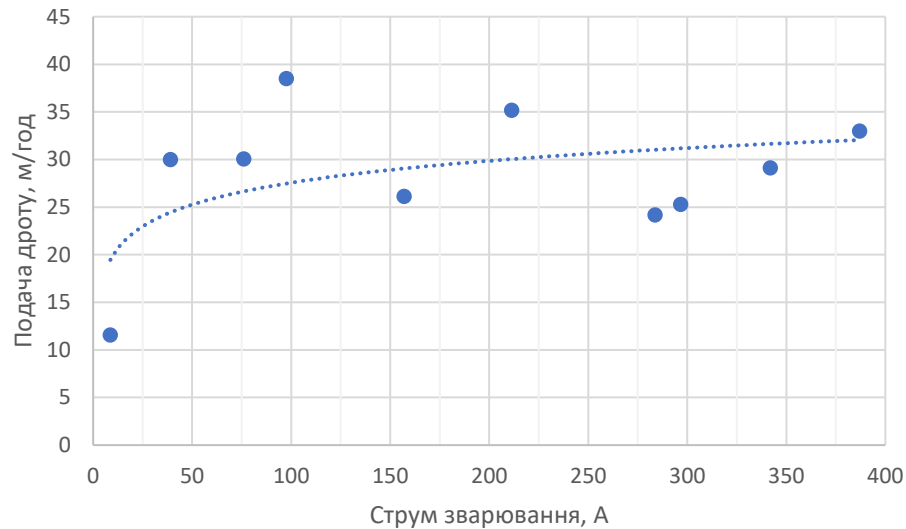


Рисунок 3.6 – Залежність подачі зварювального дроту від сили зварювального струму

Як бачимо з рис. та рис. зі збільшенням зварювального струму та забезпечення максимальної якості процесу та швидкості зварювання подача електродного дроту збільшується. Зменшення інтенсивності спадання швидкості зварювання та зростання подачі дроту на струмах понад 180 А пояснюється застосуванням зварювального дроту діаметром 1,8...2,0 мм і більше [19].

Збільшення діаметра електрода, струму та швидкості зварювання вимагає пропорційного збільшення витрати захисного газу. Графік, який відображає залежність витрати аргону для зварювання деталей різної товщини, визначений за залежністю (2.19) представлено на рис. 3.7.

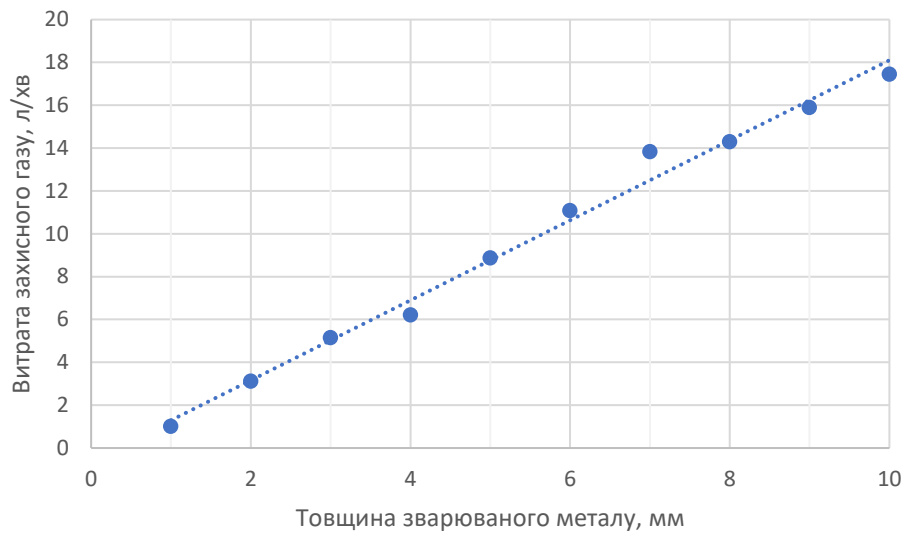


Рисунок 3.7 – Залежність витрати газу від товщини зварюваних деталей

З рисунків 3.3...3.7 випливає, що залежності глибини проплавлення, величини зварювального струму та витрати газу носять лінійний характер. Це пояснюється тим, що всі вони є взаємо пов'язані і кожен наступний залежить від попереднього.

З отриманих результатів можна зробити висновки, що процес MIG зварювання виконується на вищих струмах, ніж РДЗ. Однак, через менші діаметри електрода (електродного дроту) процес механізованого зварювання дозволяє зварювати деталі меншої товщини, а отже для ремонтних операцій з легкосплавними алюмінієвими дисками він є перспективнішим, в порівнянні зі зварюванням покритими електродами.

Оптимальними параметрами процесу механізованого зварювання суцільним дротом в середовищі захисного інертного газу будуть:

- діаметр електродного дроту $d_{ед} = 0,8...1,2$ мм;
- сила струм зварювання $I_{зв} = 120...200$ А;
- напруга на дузі $U_{дз} = 19...24$ В;
- швидкість зварювання $V_{зв} = 17...19$ м/год;
- виліт електрода $l_{в} = 9...12$ мм;
- швидкість подачі електродного дроту $V_{ед} = 30...35$ м/год;
- витрата захисного газу $l_{зг} = 6...11$ л/хв.

3.3 Обґрунтування технологічних параметрів процесу аргонодугового зварювання

Параметри процесу аргонодугового зварювання алюмінію в середовищі інертних газів (TIG) аналогічні, які і для процесу РДЗ. Відмінність становить вибір та обґрунтування необхідної витрати захисного газу.

Як і для двох, розглянутих раніше, способів зварювання визначальним параметром, за яким підбирають та визначають всі інші є товщина зварюваних деталей. Графічна залежність необхідної сили зварювального струму від товщини зварюваних деталей наведено на рис. 3.8.

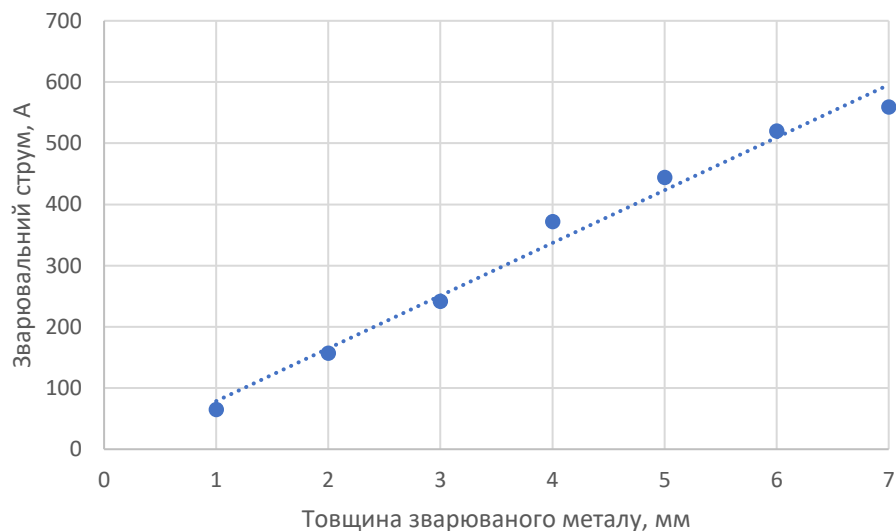


Рисунок 3.8 – Залежність сили зварювального струму від товщини деталі

Як і для попередніх видів зварювання дана залежність носить лінійний характер. Однак значення зварювального струму, необхідні для виконання технологічного процесу, у порівнянні з ручним та механізованим зварюванням є значно вищими. Поясненням цього є необхідність руйнування оксидної плівки на поверхні деталі, температура плавлення якої значно вища від температури плавлення основного металу.

Залежність швидкості аргонодугового зварювання у функції від товщини деталей зображена на рис. 3.9.

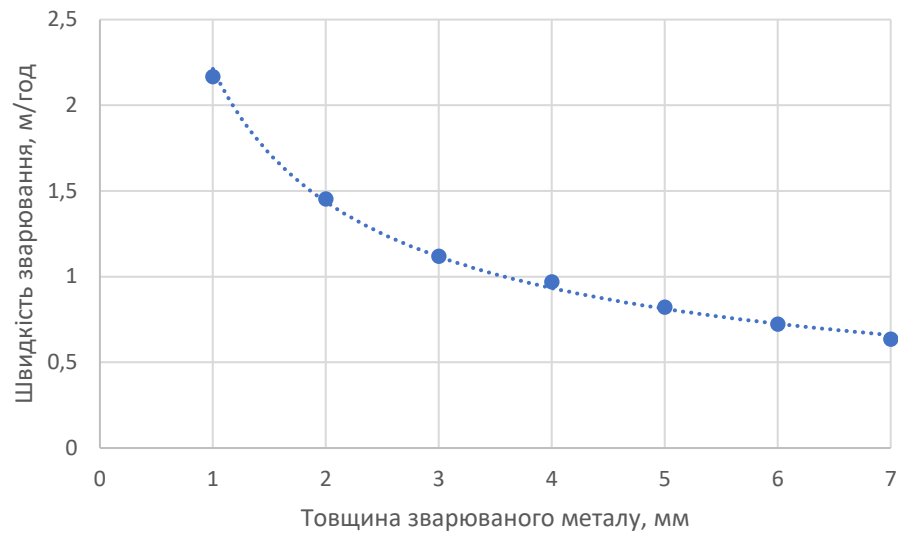


Рисунок 3.9 – Залежність швидкості зварювання від товщини зварюваних деталей

Як бачимо з рис. збільшення товщини металу призводить до стрімкого зменшення швидкості зварювання. Це негативно відображається на продуктивності процесу, тому його рекомендовано для зварювання деталей товщиною до 2 мм, а також заварювання незначних дефектів та тріщин [2].

Процес TIG зварювання вимагає якісного захисту електрода, зварювальної ванни та утвореного зварного шва від впливу кисню із навколишнього середовища. Тому витрата газу є дещо вищою, ніж під час процесу MIG зварювання. Залежність витрати захисного газу від товщини металу наведена на рис. 3.10.

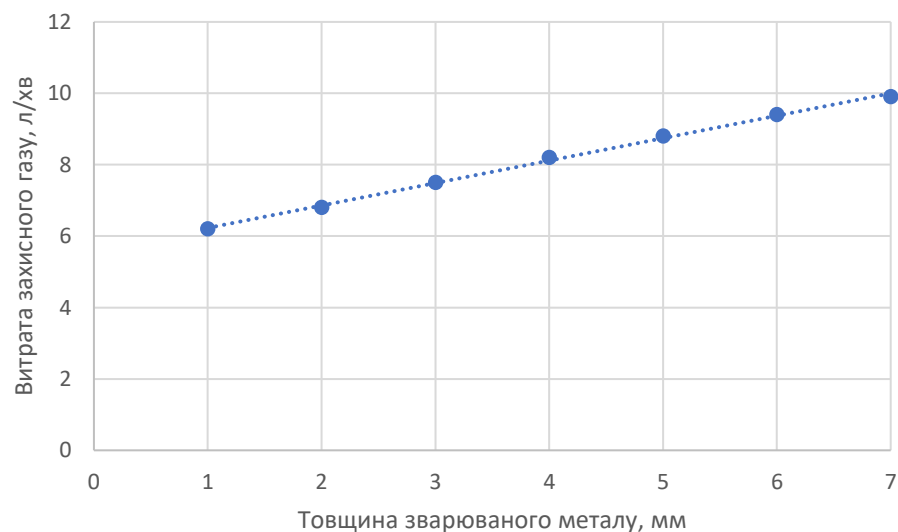


Рисунок 3.10 – Залежність витрати газу від товщини зварюваних деталей

Аналізуючи рис. можна зробити висновок, що аргонодугове зварювання доцільно застосовувати для продуктивного ремонту незначних дефектів дисків та зварювання їх елементів товщиною до 2 мм. Однак, даний вид зварювання дозволяє отримувати шви з високою естетичною якістю, що мінімізує необхідність застосування наступної їх механічної обробки. Процес зварювання доцільно виконувати на струмах 100-180 А при витраті захисного газу 6-8 л/хв.

3.4. Підготовка елементів конструкції до збирання і зварювання

Ремонтні елементи дисків з алюмінієвих сплавів, а також зварювальна дрiт перед зварюванням повинен бути розконсервовані. Жировий шар видаляють протиранням поверхні тирсою і змивають гарячою водою. Далі поверхні металу протерають серветками, змоченими в розчиннику або бензині.

Розмітку ремонтних деталей диска виконують за допомогою фарби або олівцем. Лінії відрізки також допускається розмічати керном або рисувалкою. Чорнове вирізання заготовок для заміни відсутніх елементів диска та обробка їх кромки під зварювання може виконуватися плазмовою дугою або на гільйотинних ножицях. Кромки елементів після різання при необхідності обробляються.

З поверхонь кромки та поверхонь поблизу них видаляють шар технологічно лакування або інший спеціальний захисний шар. Ширина зони очищення повинна становити $1,55s$ (де s - товщина елемента в зоні зварювання), але не менше 10 мм (рис. 3.11) [3].

Очищенню підлягають поверхні тільки зовнішньої сторони з'єднання будь-якого типу, крім напусків з'єднань. Зовнішня поверхня нижнього елемента напускового з'єднання також повинна бути очищена симетрично до верхнього елемента. Нижня поверхня верхнього елемента повинна бути очищеною на відстані, рівній товщині верхнього елемента.

На всіх поверхнях точкового зварювання у місцях постановки точок очищають кругові ділянки діаметром, рівним 1,5 зовнішнього діаметра зварної точки (див. рис. 3.11).

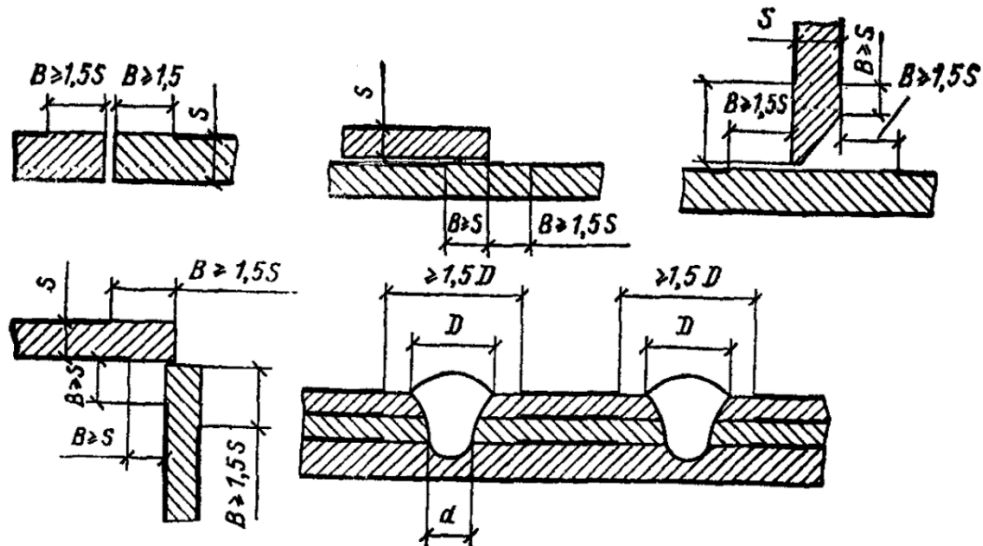


Рисунок 3.11 – Схеми зачистки зварних елементів

Електродний та присадковий дріт також піддають хімічній обробці.

Після механічного зачищення поверхня деталей має бути повторно знежирена.

Механічне зачищення поверхонь поблизу місць зварювання та кромek деталей виконують сталевими дисковими щітками з нержавіючого сталевого дроту діаметром 0,1-0,15 мм і довжиною ворсу не менше 10 мм. Щітки повинні бути чистими та знежиреними. Виконувати очистку поверхонь абразивними дисками, шліфувальною шкіркою, а також виконувати піскоструменеву або дробоструменеву обробку не допускається.

Не допускається торкатися пальцями до зварюваних кромek або дроту після їх очищення.

Для досягнення високої якості зварювання відповідальних деталей не допускається застосовувати для зварювання дротів, термін після обробки яких становить більше 1 доби. Для зварювання неплавким електродом не дозволяється застосовувати присадкові прутки, які зберігалися після хімічного

очищення більше 3 діб. Оброблені елементи та дріт повинні зберігатися в сухому та чистому приміщенні.

Незалежно від конструкції з'єднання складання та зварювання (особливо стикових) швів рекомендується проводити на підкладках, у яких в місцях з'єднання елементів виконані спеціальні канавки (рис. 2). Ширина канавки має бути рівною 2-3х товщин зварних елементів, а глибина - половині їхньої товщини. Рекомендована форма та розміри канавок у підкладках, залежно від конфігурації та товщини зварюваних елементів, наведені на рис. 3.12 та 3.13 [18].

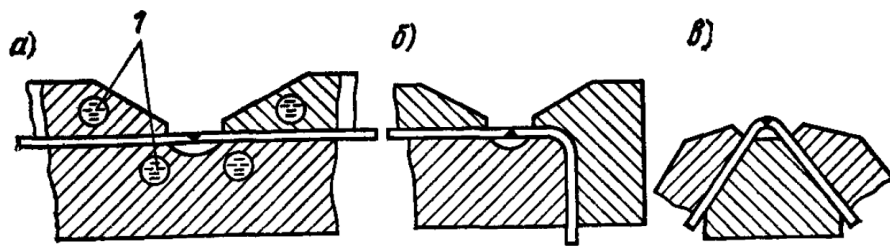


Рисунок 3.12 – Конструкції підкладок та притискних пристроїв
 а - з водяним охолодженням для зварювання стикових з'єднань; б - без штучного охолодження для зварювання встик; в - без штучного охолодження кутових з'єднань; 1 - канали водяного охолодження

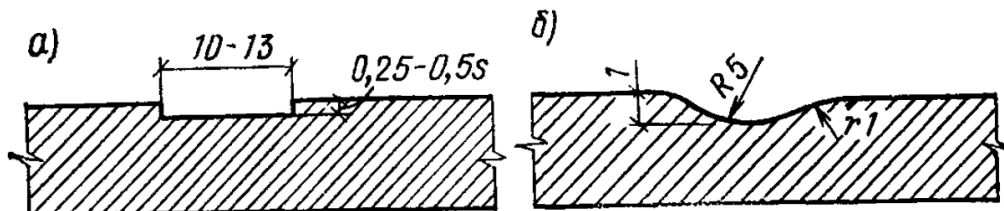


Рисунок 3.13 – Орієнтовні розміри та форми канавок у знімних підкладках для зварювання стикових з'єднань алюмінієвих елементів товщиною до 3 мм

а – неплавким електродом; б – плавким електродом

В якості матеріалу для підкладок може застосовуватися нержавіюча сталь. Зварювання термічно зміцнених алюмінієвих сплавів, а також сплавів, чутливих до нагрівання при зварюванні, слід проводити на мідних підкладках. В такому випадку підкладки, а також притискні елементи повинні бути забезпечені каналами для водяного охолодження у процесі зварювання (див.

рис. 3.12). Для зварювання на високих струмах, особливо плавким електродом, використання мідних підкладок без штучного охолодження недопускають.

Розміри поперечного перерізу мідних підкладок для зварювання елементів товщиною < 3 мм повинні бути не менше 25×75 мм.

Для зварювання неплавким електродом стикових з'єднань елементів товщиною < 3 мм канавки у підкладках слід виконувати з прямими кутами без заокруглень. Для зварювання таких же елементів плавким електродом кути канавок у підкладках повинні бути заокруглені.

3.5. Збирання елементів зварної конструкції

Під час ремонту дисків складання відламаних попередньо підготовлених частин рекомендується виконувати у складально-зварювальних кондукторах із затискачами, які забезпечують надійне кріплення елементів. Кондуктори повинні забезпечувати щільне прилягання зварних кромок елементів та точне складання деталей.

Для збирання елементів товщиною $0,8 \dots 2$ мм використовують клавішні складальні кондуктори з розташуванням прижимів на відстані $6 \dots 8$ мм від осової лінії стику. Для попередження зміщення зварних кромок під час зварювання зусилля їх притискання до основної конструкції або до фіксаторів кондуктора повинно становити 100 Н на 1 см довжини з'єднання за товщини з'єднаних елементів до 4 мм включно і 300 Н при більшій їх товщині.

Складально-зварювальне обладнання повинно забезпечити вільний доступ до місць зварювання пальником чи електродом.

Під час застосування поворотних кондукторів висота їх розташування повинна бути такою, щоб зварювальник перебував у зручному положенні.

При використанні кондукторів повинні забезпечуватися можливість безперервного виконання шва безперервно, відсутність перетинів лінії шва з фіксаторами і затискачами, добра видимість шва. Після накладання при хваток складальне обладнання, яке перешкоджають зварюванню необхідно прибрати.

Довжину прихваток і відстань між ними, в залежності від товщини зварних елементів вибирають за таблицею 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики прихваток [3]

Товщина сполучних елементів, мм	Довжина прихваток, мм	Відстань між прихватками, мм
2-4,5	20-25	100-150
5-8	30-35	150-200
10-16	40 - 50	200-250
18-20	60-80	250-300
25-30	70-100	300-400
40-50	80-120	350-450

Товщина прихваток має бути такою, щоб їх можна було переплавити при наступному зварюванні. При товщині елементів до 3 мм прихватки повинні виконуватись із повним проплавленням деталі. Діаметри електродного і присадкового дроту, які застосовуються для простановлення прихваток, мають бути такі ж, як і для основного зварювання; зварювальний струм має бути на 10% вищий, ніж під час основного зварювання. Прихватки розташовують по черзі від середини з'єднання до країв. Крайні прихватки повинні розміщуватись не ближче 20 мм від краю деталі. Не слід виконувати прихватки поблизу отворів, в місцях перетину стикових швів або в кутах конструкції.

Прихватки елементів товщиною до 10 мм рекомендується виконувати неплавким електродом без присадкового матеріалу. Прихватки з'єднань елементів товщиною понад 10 мм виконують напівавтоматичним зварюванням.

Прихватки в стикових з'єднаннях з багат шаровими швами слід розташовувати з боку зворотного наплавлення першого шару шва.

Перед зварюванням прихватки слід зачистити від забруднень та знежирювати. Прихватки з наявними порами, тріщинами або іншими дефектами видаляють і проставляють заново.

3.6. Основні вимоги до виконання операцій зварювання

Перед запалюванням дуги слід продути аргоном шланги зварювального апарату і зварювальний пальник протягом 5...10 с. Вимкнення подачі аргону після згасання дуги слід виконувати також через певний проміжок часу. Витрата аргону при його попередньому та заключному продуванні повинна бути такою самою, як при зварюванні заданого типу з'єднання.

Зварювання стикових та кутових швів слід виконувати способом «кутом вперед». Таврові та кутові шви в нижньому положенні виконують «в човник». Також, допускається зварювання таких швів у звичайному положенні.

Виконання з'єднань різних типів в одній конструкції потрібно виконувати в такій послідовності: стикові з'єднання листів або смуг; таврові з'єднання листів чи смуг; стикові з'єднання кутників чи ребер жорсткості; з'єднання кутників жорсткості з плоскими поверхнями.

Початок та закінчення поздовжніх швів в алюмінієвих конструкціях потрібно здійснюватися на допоміжних вивідних планках або плоских поверхнях виробу, рекомендовані розміри яких 100×100 мм. Ці розміри можуть бути уточнено під час розробки технологічного процесу. Вивідні планки на початку та в кінці шва слід збирати з елементами конструкції на прихватках або закріплювати їх за допомогою складально-зварювального обладнання без накладання прихваток. Після закінчення зварювання шва вивідні планки необхідно видаляти і зачищати торці зварного з'єднання до рівня основного металу.

Під час закінчення виконання шва кратер має бути виведений на вивідну планку або на раніше закінчену ділянку шва і заварений шляхом заповнення електродним або присадним металом без руху пальника. Виведення шва на основний метал не допускається.

За наявності в конструкції зварних швів різної довжини та різного перерізу слід дотримуватися наступної черговості:

- спочатку слід накладати більш довгі шви та більшого перерізу, потім коротші шви меншого перерізу;

- під час зварювання двох близько розташованих швів другий шов накладати після вистигання першого.

При зварюванні дисків, в конструкції яких передбачено застосування змішані способи з'єднань їх елементів (зварювання та клепаання), спочатку виконують усі зварювальні роботи. Клепаання слід виконувати після закінчення зварювання робіт.

Якщо для виготовлення конструкції передбачено застосування кількох видів зварювання, насамперед має бути виконано контактне стикове, потім дугове і, нарешті, контактне точкове (або роликове) зварювання. Допускається використання в одній конструкції диска різних способів зварювання (плавкими та неплавкими електродами).

Під час зварювання або проставленні прихваток елементів товщиною 10 мм і більше для ТІГ зварювання і товщиною понад 16 мм для МІГ зварювання може проводитись супутній підігрів до температур [19]:

- 300-350 ° С - для елементів з алюмінію марки АД1М;
- 200-250 ° С - для елементів зі сплаву АМцМ;
- 100 ° С - для елементів зі сплаву АМг2М, АД31Т, 1915Т.

Корінь шва потрібно заварювати зі зворотного боку з'єднання. Для цього використовують ТІГ зварювання. Перед зварюванням зі зворотного боку потрібно усувати провисаючий метал і розробити корінь шва до надійної зони сплавлення.

Стикові з'єднання елементів диска товщиною понад 10 мм зі скосами кромки, а також напускові або кутові з'єднання елементів товщиною понад 12 мм виконують багатошаровими швами. Їх потрібно накладати неширокими протяжними шарами. Таке зварювання вимагає зачищення поверхні кожного попереднього шару сталеву дисковою щіткою та знежирення. В місці обриву дуги та перед виконанням підварного шва зі зворотного боку з'єднання також необхідно виконати зачистку поверхні шва.

При обриві дуги наступне зварювання слід починати не з місця обриву, а на відстані близько трьох товщин зварюваних елементів до місця обриву. Зварний шов слід починати між двома прихватками. В місцях переплавлення

шва або прихваток з метою зменшення надмірного посилення шва переплавку слід здійснюватися шляхом розплавлення попереднього шва чи прихваток.

Залишок привареного електродного або присадкового дроту видаляють механічними способами.

В процесі зварювання не допускається піддавати диск ударним навантаженням. По закінченню зварювання кільцевих швів слід перекрити початок шва на довжину 15...70 мм.

Для виконання зварювання дисків з використанням допоміжних поворотних пристроїв зварювальну головку слід зміщувати на 15...20° в бік, протилежний напрямку обертання диска.

Висновки за розділом

За результатами розрахунків встановлено, що при РДЗ доцільно застосовувати електроди товщиною 2... 3 мм та зварювати на змінному струмі 100...120 А.

Механізоване зварювання виконують електродним дротом діаметром 0,8...1,2 мм на струмі 120...200 А з подачею дроту 30...35 м/год та витратою аргону 6...11 л/хв.

Аргонодугове зварювання виконують вольфрамовими електродами діаметром 2 мм на струмах 100-180 А при витраті аргону 6-8 л/хв.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Санітарно-гігієнічні характеристики зварювального виробництва

Потужне ультразвукове або світлове випромінювання зварювальної дуги впливаючи на очі працівника може призвести до запального захворювання очного яблука (електроофтальмія), а при тривалому впливі - до ураження сітківки очей (кон'юнктивіт). Інфрачервоні короткохвильові промені можуть викликати хронічне захворювання - помутніння кришталика ока (катаракта). Шкідливі впливи променів зварювальної дуги на органи зору можуть чинити вплив в радіусі до 10 метрів [21, 24].

Шкіру захищають звичайним робочим одягом, лице і частина шиї - щитком або шоломом. Очі захищаються спеціальними темними скельцями - світлофільтрами, які вставляють в щиток або шолом. Ці скельця зовсім не пропускають ультрафіолетові промені, а інфрачервоні пропускають в межах від 0,1 до 4%, що не чинить шкідливого впливу на зір зварювальника.

При захворюванні очей від світлової радіації, необхідно негайно звернутися до лікаря, а при неможливості отримання швидкої медичної допомоги слід робити примочки очей слабким розчином питної соди.

Крім опіків променями електричної дуги, зварника можуть бути заподіяні опіки бризками розплавленого металу. Щоб уникнути опіків, необхідно надягати робочий одяг з щільної брезентової матерії. Одяг не повинна мати складок. Штани треба носити тільки на випуск, щоб вони закривали черевики. Щоб запобігти пропалювання спецодягу бризками розплавленого металу, тканина просочується спеціальними речовинами, які підвищують її вогнестійкість.

Під час виконання зварювальних робіт в результаті вигорання обмазки електрода і елементів легування підвищується загазованість робочого місця. Для запобігання цьому необхідно встановлювати пристрої витяжної вентиляції в зоні дихання зварника. Викидати повітря потрібно за межі робочих зон. Для видалення газів і пилу застосовується як місцева вентиляція робочого місця, так

і припливно-витяжна вентиляція всього приміщення. Припливне повітря повинне надходити розсіяно в робочу зону приміщень, в основному на незварювальні ділянки, а також там, де витяжна вентиляція здійснюється за допомогою місцевих відсмоктувачів. Швидкість руху повітря, на робочих місцях повинна бути не більше 0,3 м/с [24].

Для знежирення металу і зварювальних матеріалів від мастильних забруднень не слід застосовувати трихлоретилен, дихлоретан та інші хлоровані вуглеводні, так як при з'єднанні їх з озоном, присутнім в атмосфері під час дугового зварювання, може утворюватися задушливий газ (фосген).

4.2. Моделювання процесу формування і виникнення травмонебезпечної ситуації під час зварювання

Одним із основних способів моделювання небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф. Цей метод базується на побудові схем, відмов і помилок працівників (операторів) різних систем. Потрібно вести математичну обробку даних, з метою одержання ймовірності виникнення травматичних випадкових подій. Розрахунки спрямовані на зниження нещасних випадків на виробництві [9].

Вивчаючи модель процесів формування та можливого виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій, з якої починається небезпечний процес і до виникнення небезпечних наслідків. Якщо провести дослідження то обов'язково можна знайти подію (явище), що є причиною травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Розглянемо випадок виробничого травматизму під час виконання зварювальних робіт. У даному випадку може відбутися травма працівника, внаслідок ураження електричним струмом, отруєння шкідливими газами чи отримання опіку. Головну подію розміщують у верхній частині аркуша паперу і зверху донизу розміщують інші події. У побудованій моделі базові події мають форму круга. Нерозкриті базові події зображують у вигляді ромба, прямокутник подія, що виникає як результат дії фактора.

Математичну обробку побудованої моделі починають з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу у вгору починаючи з базових подій і закінчуючи головною. Значення подій вказуємо безпосередньо на символи зображення події. Ймовірності виробничих подій визначаємо за даними виробництва. Наприклад, базова подія “охорона праці”. Для визначення ймовірності ми повинні встановити наскільки (%) від ідеального рівня здійснюється відповідний контроль на об’єкт. Якщо буде встановлено, що такий рівень контролю становить 20 або 30%, то ймовірність відповідно становить 0,2 і 0,3. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують складені формули відповідно до положень.

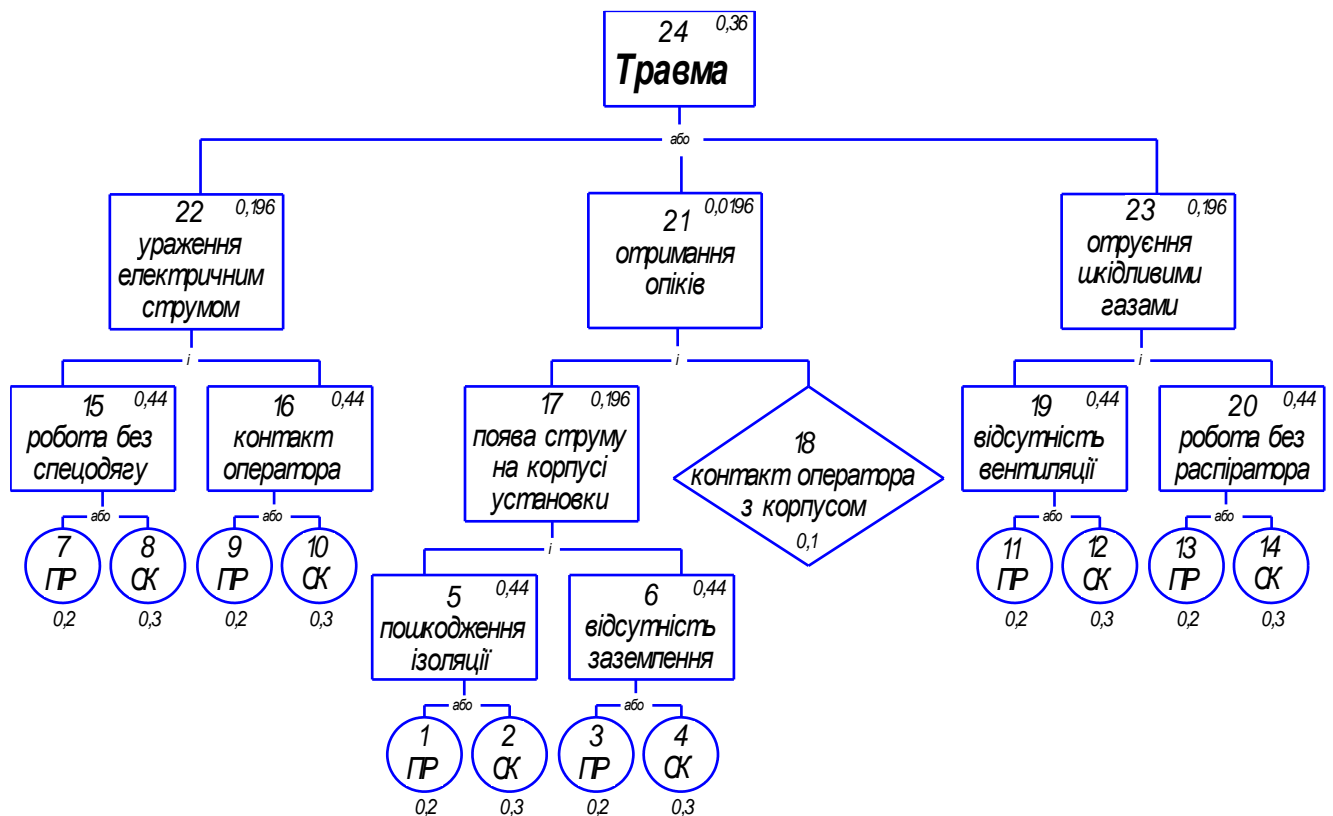


Рисунок 4.1. Модель процесу формування та виникнення травми

На даній схемі графічно відображено математичну обробку даних на виробництві про нещасні випадки.

Ймовірність події P_5 визначаємо наступним чином

$$P_5 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 = 0,2 + 0,3 - 0,2 \cdot 0,3 = 0,44 \quad (4.1)$$

Ймовірність подій $P_6, P_{15}, P_{16}, P_{19}$ і P_{20} буде рівною події P_5 , оскільки базові події для них є однаковими.

Ймовірність події P_{17}

$$P_{17} = P_5 \cdot P_6 = 0,44 \cdot 0,44 = 0,194 \quad (4.2)$$

Ймовірність події P_{21}

$$P_{21} = P_{17} \cdot P_{18} = 0,194 \cdot 0,1 = 0,0194 \quad (4.3)$$

Ймовірності подій P_{22} і P_{23} будуть рівною події P_{17} , оскільки події P_5, P_6, P_{15}, P_{16} рівні між собою.

Ймовірність події P_{24}

$$\begin{aligned} P_{24} &= P_{21} + P_{22} + P_{23} - P_{21} \cdot P_{22} - P_{21} \cdot P_{23} - P_{22} \cdot P_{23} \quad (4.4) \\ P_{24} &= 0,0194 + 0,194 + 0,194 - 0,0194 \cdot 0,194 - \\ &\quad - 0,0194 \cdot 0,194 - 0,194 \cdot 0,194 = 0,36 \end{aligned}$$

Висновки за розділом

На робочому місті під час зварювання колісних дисків під час їх ремонту і відновлення за наявності і можливості виникнення існуючих небезпек та небезпечних діяч на 100 робочих місць ймовірність виникнення травмонебезпечної ситуації становить 0,36 (36 %).

Такий високий показник пояснюється великою кількістю небезпечних факторів та високими вимогами щодо кваліфікації працівників, якості виконання технологічного процесу та умов безпеки праці.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

Оскільки метою роботи є обґрунтування технології ремонту алюмінієвих колісних дисків, то в даному розділі будемо визначати технологічну собівартість зварювання тріщини диска трьома різними способами та вибору на основі питомих капіталовкладень та зведених затрат найбільш економічної технології з трьох запропонованих.

Таблиця 5.1. Вихідні дані для розрахунку

Спосіб зварювання	Обладнання	Споживана потужність, кВт	Вартість апарата, грн	Кількість робітників / Розряд
ММА	Paton Pro 270	11,3	18599	1/4
MIG	Paton ProMIG 350-15	15,3	42319	1/4
TIG	Paton ProTIG 315AC/DC	13,5	47999	1/4

Під час розрахунку технологічної собівартості виконання операції будемо визначати витрати на:

- зварювальні матеріали (електроди, дрід, гази);
- електроенергію;
- зарплату зварювальників;
- амортизацію устаткування;
- поточний ремонт та технічне обслуговування устаткування;
- утримання та амортизацію виробничих площ.

Витрати на електроди, зварювальний та присадковий дрід $C_{ел}$ визначають за формулою:

$$C_{ел} = M_{н} \cdot K_{ел} \cdot C_{ел} \cdot K_{тр} , \text{ грн} \quad (5.1)$$

де $M_{н}$ – маса наплавленого металу, кг;

$K_{\text{ел}}$ – коефіцієнт витрат електродів або зварювального і присадкового дроту, який враховує втрати на угар, розбризування, недопалки, масу покриття електродів;

$C_{\text{ел}}$ – ціна електродів, зварювального і присадкового дроту, грн/кг;

$K_{\text{тр}}$ – коефіцієнт, який враховує транспортні витрати, $K_{\text{тр}} = 1,04 - 1,06$ [17].

Масу наплавленого металу $M_{\text{н}}$ визначають за формулою:

$$M_{\text{н}} = 0,001 \cdot \alpha_{\text{н}} \cdot I \cdot T_{\text{о}}, \text{ кг} \quad (5.2)$$

де $\alpha_{\text{н}}$ – коефіцієнт на плавки, г/А · год;

I – сила струму, А;

$T_{\text{о}}$ – час горіння дуги, год.

Таблиця 5.2 – Дані для визначення маси наплавленого металу

Товщина деталі, мм	Довжина шва, м	ММА			MIG			TIG		
		Швидкість зварювання, м/год	Струм дуги, А	Час горіння дуги, год	Швидкість зварювання, м/год	Струм дуги, А	Час горіння дуги, год	Швидкість зварювання, м/год	Струм дуги, А	Час горіння дуги, год
4	0,05	1,83	120	1,64	4,91	200	0,61	0,86	150	3,49

Для розрахунків приймаємо:

- для технології ММА зварювання $K_{\text{ел}}=1,6$;
- для технології MIG зварювання $K_{\text{ел}}=1,15$;
- для технології TIG зварювання $K_{\text{ел}}=1,11$;

Коефіцієнт наплавки приймаємо:

- для ММА зварювання $\alpha_{\text{н}}= 13$ г/А·год;
- для MIG зварювання $\alpha_{\text{н}}= 15$ г/А·год;
- для TIG зварювання $\alpha_{\text{н}}= 10$ г/А·год;

Ціна електродного матеріалу:

- для ММА зварювання (електроди MONOLITH E4043) - 1800 грн/кг;
- для MIG зварювання (дріт GRADIENT ER5356) діаметр 1,2 мм) - 786 грн/кг;
- для TIG зварювання (пруток GRADIENT ER4043) діаметр 3,2 мм) - 533 грн/кг;

Отже, для технології ММА зварювання:

$$C_{\text{ел}}^{\text{ММА}} = 0,001 \cdot 13 \cdot 120 \cdot 1,64 \cdot 1,6 \cdot 1800 \cdot 1,04 \cdot 10^{-3} = 7,66 \text{ грн.}$$

Для технології MIG зварювання:

$$C_{\text{ел}}^{\text{MIG}} = 0,001 \cdot 15 \cdot 200 \cdot 0,61 \cdot 1,15 \cdot 786 \cdot 1,04 \cdot 10^{-3} = 1,7 \text{ грн.}$$

Для технології TIG зварювання:

$$C_{\text{ел}}^{\text{TIG}} = 0,001 \cdot 10 \cdot 150 \cdot 3,49 \cdot 1,11 \cdot 533 \cdot 1,04 \cdot 10^{-3} = 3,19 \text{ грн.}$$

Витрати на газ $C_{\text{Г}}$ визначають за формулою:

$$C_{\text{Г}} = P_{\text{Г}} \cdot T_{\text{о}} \cdot C_{\text{Г}} \cdot K_{\text{тр}}, \text{ грн} \quad (5.3)$$

де $P_{\text{Г}}$ – норма витрат газу, м³;

$T_{\text{о}}$ – основний час, год;

$C_{\text{Г}}$ – ціна газу, грн;

Значення $P_{\text{Г}}$ за нормативами приймаємо:

- для MIG зварювання $P_{\text{Г}} = 420$ л/год.
- для TIG зварювання $P_{\text{Г}} = 350$ л/год.

Ціна загисного газу $A_{\text{Г}}$ становить 0,028 грн/л. Отже:

$$C_{\text{Г}}^{\text{MIG}} = 420 \cdot 0,61 \cdot 0,028 \cdot 1,04 = 7,46 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{Г}}^{\text{TIG}} = 350 \cdot 3,49 \cdot 0,028 \cdot 1,04 = 35,57 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на електроенергію зробити на основі середніх витрат на 1 кг наплавленого металу.

З довідкових даних вибираємо норму витрат електроенергії на 1 кг наплавленого металу. Для ММА зварювання норма витрат становитиме 4,5 кВт·год/кг; для MIG зварювання норма витрат становитиме 5 кВт·год/кг; для TIG зварювання норма витрат становитиме 6 кВт·год/кг.

Ціна електроенергії для машинобудівних підприємств становить 2,64 грн/кВт·год. Отже:

$$C_{\text{ел}}^{\text{ММА}} = 4,5 \cdot 2,64 \cdot 1 = 11,88 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ел}}^{\text{MIG}} = 5 \cdot 2,64 \cdot 1 = 13,2 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ел}}^{\text{TIG}} = 6 \cdot 2,64 \cdot 1 = 15,84 \text{ грн.}$$

Витрати на заробітну плату робітників з відрахуваннями на соціальні потреби C_3 визначають за формулою:

$$C_3 = \sum_{i=1}^n C_{Ti} \cdot T_{ki} \cdot K_d \cdot K_c, \text{ грн} \quad (5.4)$$

де i – номер операції;

n – кількість операцій;

C_{Ti} – годинна тарифна ставка розряду робітника, грн.;

T_{ki} – норма часу на виконання операції, год;

K_d – коефіцієнт, який враховує доплати та додаткову зарплату ($K_d = 1,4$);

K_c – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні потреби ($K_c = 1,22$).

Тарифна ставка робітника, який виконує зварювання вузла, за даними становить 98 грн/н-год. Отже, витрати на заробітну плату становитимуть:

$$C_3^{\text{ММА}} = 98 \cdot 1,64 \cdot 1,4 \cdot 1,22 = 274,51 \text{ грн.}$$

$$C_3^{\text{MIG}} = 98 \cdot 0,61 \cdot 1,4 \cdot 1,22 = 102,1 \text{ грн.}$$

$$C_3^{\text{TIG}} = 98 \cdot 3,49 \cdot 1,4 \cdot 1,22 = 584,17 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування по устаткуванню C_a визначають за формулою:

$$A = B_B / T, \text{ грн} \quad (5.5)$$

де A – річна сума амортизаційних відрахувань;

B_B – вартість об'єкта ОЗ, що амортизується;

T – термін корисного використання об'єкта- 4 року.

B_B – балансова вартість устаткування, грн, її визначають за формулою:

$$B_B = C \cdot K_{\text{TM}}, \quad (5.6)$$

де C – ціна зварювального апарата, грн;

K_{TM} – коефіцієнт транспортно-монтажних витрат ($K_{\text{TM}} = 1,1 - 1,15$).

Первісна вартість апарата Paton Pro 270 становить

$$B_0^{\text{ММА}} = 18599 \cdot 1,15 = 21388,55 \text{ грн.}$$

Ліквідаційна вартість – 2139,9 грн.,

Строк корисного використання - 4 роки,

Вартість апарата Paton Pro 270, що амортизується,

$$21388,85 - 2139,9 = 19248,95 \text{ грн.}$$

Річна сума амортизації дорівнює

$$19248,95 / 4 = 4812,24 \text{ грн.}$$

Первісна вартість апарата Paton ProMIG 350-15 становить

$$B_6^{\text{MIG}} = 42319 \cdot 1.15 = 48666,85 \text{ грн}$$

Ліквідаційна вартість – 4866,69 грн.,

Строк корисного використання - 4 років,

Вартість апарата Paton ProMIG 350-15, що амортизується,

$$48666,85 - 4866,69 = 43800,16 \text{ грн.},$$

Річна сума амортизації дорівнює

$$43800,16 / 4 = 10950,04 \text{ грн.}$$

Первісна вартість апарата Paton ProTIG 315AC/DC становить

$$B_6^{\text{MIG}} = 47999 \cdot 1.15 = 55198,85 \text{ грн}$$

Ліквідаційна вартість – 5519,89 грн.,

Строк корисного використання - 4 років,

Вартість апарата Paton ProTIG 315AC/DC, що амортизується,

$$55198,85 - 5519,89 = 49678,96 \text{ грн.},$$

Річна сума амортизації дорівнює

$$49678,96 / 4 = 12419,74 \text{ грн.}$$

Річний обсяг ремонту дисків на одній ділянці для усіх варіантів приймаємо 1500 шт/рік

Таким чином відрахування по амортизації обладнання для розглянутих варіантів становитиме:

$$C_a^{\text{MMA}} = 4812,24 / 1500 = 3,21 \text{ грн.}$$

$$C_a^{\text{MIG}} = 10950,04 / 1500 = 7,3 \text{ грн}$$

$$C_a^{\text{TIG}} = 12419,74 / 1500 = 8,28 \text{ грн}$$

Витрати на потоковий ремонт та технічне обслуговування зварювальних апаратів визначаємо за формулою:

$$C_3 = \frac{\sum_{i=1}^n B_{6i} \cdot K_p \cdot T_{ki}}{\Phi_d \cdot K_B}, \text{ грн} \quad (5.7)$$

де K_p – коефіцієнт, який враховує витрати на ремонт та технічне обслуговування апарата; ($K_p = 0,05$).

Величину Φ_d визначають за формулою:

$$\Phi_d = D_p \cdot p_{зм} \cdot T_{зм} \cdot K_p \quad (5.8)$$

де D_p – кількість робочих днів за рік, становить 255,

$p_{зм}$ – кількість робочих змін за день, становить 1;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год, становить 8 год;

K_B – коефіцієнт, який враховує планові простої устаткування ($K_B = 0,93$).

$$\Phi_d = 255 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 0,93 = 1897,2 \text{ год.}$$

Тоді:

$$C_p^{MMA} = \frac{18599 \cdot 0,05 \cdot 1,64}{1897,2 \cdot 0,93} = 0,86 \text{ грн.}$$

$$C_p^{MIG} = \frac{42319 \cdot 0,05 \cdot 0,61}{1897,2 \cdot 0,93} = 0,73 \text{ грн.}$$

$$C_p^{TIG} = \frac{47999 \cdot 0,05 \cdot 3,49}{1897,2 \cdot 0,93} = 4,75 \text{ грн.}$$

Витрати, пов'язані з утриманням та амортизацією площі будівлі, організована зварювальна дільниця C_o визначають за формулою:

$$C_o = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot K_f \cdot Y_f \cdot T_{ki}}{\Phi_d \cdot K_B}, \quad (5.9)$$

де i – номер операції;

n – кількість операцій;

F – площа цеху, м²;

K_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу ($K_f = 1,5$);

Y_f – річні витрати на утримання 1 м² площі будівлі, грн (2500 грн).

Площа ділянки становить $F = 6 \cdot 8 = 48 \text{ м}^2$.

Отже, витрати на утримання площі становить:

$$C_o^{MMA} = \frac{48 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 1,64}{1897,2 \cdot 0,93} = 167,31 \text{ грн.}$$

$$C_o^{MIG} = \frac{48 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 0,61}{1897,2 \cdot 0,93} = 62,23 \text{ грн.}$$

$$C_o^{TIG} = \frac{48 \cdot 1,5 \cdot 2500 \cdot 3,49}{1897,2 \cdot 0,93} = 356,04 \text{ грн.}$$

Виконані розрахунки технологічної собівартості зводимо в таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 - Результати визначення технологічної собівартості

Стаття витрат	Сума витрат, грн.		
	MMA	MIG	TIG
Електродний матеріал	7,66	1,7	3,19
Захисний газ	-	7,46	35,57
Електроенергія	11,88	13,2	15,84
Заробітна плата робітників із доплатами та відрахуваннями	274,51	102,1	584,17
Амортизаційні відрахування по устаткуванню	3,21	7,3	8,28
Поточний ремонт та технічне обслуговування устаткування	0,86	0,73	4,75
Утримання та амортизація площі будівлі, яку займає устаткування	167,31	62,23	356,04
Технологічна собівартість	465,43	194,72	1007,84

За результатами розрахунків можемо зробити висновок, що найбільш економічним способом ремонту алюмінієвих дисків є їх механізоване зварювання (MIG) апаратом Paton ProMIG 350-15.

Висновки за розділом

Порівняльний аналіз основних затрат на виконання зварювання дисків апаратами для MMA, MIG та TIG зварювання показав, що найбільш економічним способом зварювання алюмінієвих колісних дисків є механізоване зварювання. Однак даний спосіб можна застосовувати тільки під час заварювання тріщин в ободі та приварюванні відколених частин. Якщо ж необхідно зварювати елементи спиць, які мають малу товщину ї вимагають високої якості поверхні шва, то кращим способом буде аргонодугове зварювання.

ВИСНОВКИ

Для ремонту тріщин та сколів алюмінієвих легкосплавних автомобільних дисків на СТО та авторемонтних майстернях застосовують метод електродугового зварювання. Для ефективного виконання робіт необхідно правильно підбирати спосіб зварювання в залежності від виду матеріалу, його складу, товщини елемента диска та розмірів дефекту.

З поміж існуючих способів зварювання для ремонту алюмінієвих дисків можуть застосовуватись ручне електродугове штучними покритими електродами (ММА), механізоване суцільним дротом в середовищі аргону (MIG) та аргонодугове зварювання неплавкими вольфрамовими електродами з подачею присадкового матеріалу (TIG).

Основними технологічними параметрами процесу зварювання алюмінію є величина зварювального струму, напруга на дузі, діаметр електрода, швидкість подачі дроту та витрата захисного газу. Ці параметри підбирають за товщиною елементів конструкції диска з метою досягнення необхідної глибини проварювання, якості зварного шва та міцності конструкції.

Для заварювання тріщини в елементі диска товщиною понад 3 мм при ММА зварюванні доцільно застосовувати електроди товщиною 2... 3 мм та зварювати на змінному струмі 100...120 А; MIG зварювання виконують електродним дротом діаметром 0,8...1,2 мм на струмі 120...200 А з подачею 30...35 м/год та витратою аргону 6...11 л/хв; TIG зварювання виконують вольфрамовими електродами діаметром 2 мм на струмах 100-180 А при витраті аргону 6-8 л/хв.

Порівняльний аналіз основних затрат на виконання зварювання дисків апаратами для ММА, MIG та TIG зварювання показав, що найбільш економічним способом зварювання алюмінієвих колісних дисків є механізоване зварювання. Однак даний спосіб можна застосовувати тільки під час заварювання тріщин в ободі та приварюванні відколених частин. Якщо ж необхідно зварювати елементи спиць, які мають малу товщину і вимагають високої якості поверхні шва, то кращим способом буде аргонодугове зварювання.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Александров О.Г., Заруба І.І., Пінковський І.В. Будова та експлуатація устаткування для зварювання плавленням. Київ: Техніка, 1998. 176 с.
2. Аргонно-дугове зварювання литих дисків. URL: <https://superwheels.com.ua/ua/svarka-argonom-superwheels>
3. Биковський О.Г. Довідник зварника. Київ: Основа, 2014. 448 с.
4. Биковський О.Г. Зварювання та різання кольорових металів: Довідковий посібник. Київ: Основа, 2011. 392 с.
5. Божидарнік В.В., Гусєв А.П. Основи технології виробництва і ремонту автомобілів: Навчальний посібник. Луцьк: Надстир'я, 2007. 320 с.
6. Большаков В.І., Береза О.Ю., Міронова О.Ю., Марченко В.І. Матеріалознавство: підручник для ВТУЗів. Торонто: Базіліан прес, 1998. 216 с.
7. Види і параметри колісних дисків. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://shinashina.com.ua/>
8. Вирченко В.С., Драгобецький В.В., Пузир Р.Г., Федорак І.І. Деформація, руйнування і правка дисків коліс у процесі експлуатації. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5/2008, Частина 2 (52). с. 44-47.
9. Городецький І. В., Тимочко В. О. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичні рекомендації до виконання розділу у роботах ОКР "Магістр" студентами факультету механіки та енергетики. Львів : Львівський НАУ, 2011. 16 с.
10. Гуменюк І.В., Іваськів О.В., Гуменюк О.В. Технологія електродугового зварювання: Підручник. Київ: Грамота, 2006. 512 с.
11. Добровольський О.Г. Матеріалознавство та матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2014. 168 с.
12. ДСТУ 10157;2019 "Аргон газоподібний та рідкий. Технічні умови"
13. ДСТУ EN 1090-2:201X (EN 1090-2:2018, IDT). Виконання сталевих і алюмінієвих конструкцій. Частина 2. Технічні вимоги до сталевих конструкцій. Київ: УкрНДІ.

14. ДСТУ ISO 5817:2016 Зварювання. Зварні шви під час зварювання плавленням сталі, нікелю, титану та інших сплавів (крім променевого зварювання). Рівні якості залежно від дефектів (ISO 5817:2014, IDT)
15. Загальні відомості про колісні диски. URL: <https://uk.avtotachki.com/vidy-i-parametry-kolesnyh-diskov>
16. Зварювальні технології. <https://svartech.com.ua/ua/>
17. Іщенко І. І., Терещенко С. П. Оцінка економічної ефективності виробництва та затрат. Київ: Вища школа, 2011. 187 с.
18. Квасницький В. В. Спеціальні способи зварювання. Навчальний посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 437 с.
19. Косенко В.А. та ін. Зварювання в автомобілебудуванні: матеріалознавство та технології: навчальний посібник. Київ: Університет «Україна», 2018. 239 с.
20. Косенко В.А., Кущевська Н.Ф., Добровольський О.Г., Малишев В.В. Матеріалознавство та матеріали в автомобільному транспорті: навчальний посібник. Київ: Університет «Україна», 2015. 313 с.
21. Левченко О. Г. Охорона праці у зварювальному виробництві: Навчальний посібник. Київ: Основа, 2010. 240 с.
22. Марков О. Д. Організація автосервісу. Львів: Оріяна-Нова, 2008. 332 с.
23. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Матеріалознавство» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство / Укл.: Лисенко О.Б, Калінія Т.В. Кам'янське, ДДТУ, 2019-36 с.
24. НПАОП 28.52-1.31-13 “Правила охорони праці під час зварювання металів”.
25. Обладнання для авторемонту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://autopromimpex.com/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=186&Itemid=922
26. Ремонт алюмінієвих дисків. – Режим доступу: <http://uk.avtotachki.com/remont-alyuminievyh-diskov>

27. Основи охорони праці: навч. посібник / за ред. проф. В. В. Березуцького. Харків: Факт, 2005. 480 с.
28. Основні несправності колісних дисків. URL: <https://jak.koshachek.com/articles/defekti-avtomobilnih-diskiv.html>
29. Ремонт литих дисків. – Режим доступу: http://remont_diskov.kiev.ua/repairdisk.htm
30. Швець О.П., Березовецький С.А. Технології та обладнання зварювання металів і пластмас Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи на тему «Обладнання для аргонодугового TIG (WIG) зварювання металів неплавкими електродами» студентами ОС «Бакалавр» спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 208 «Агроінженерія», 274 «Автомобільний транспорт». Львів: ЛНАУ, 2022. 15 с.
31. Шестопалов С.К., Шестопалов К.С. Легкові автомобілі. Київ: Транспорт, 2008. 240 с.