

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра вагонів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять

з дисципліни

«ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ВАГОНІВ»

Частина 1

Харків 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри вагонів 23 грудня 2013 року,

протокол №5.

У методичних вказівках до практичних занять коротко описані основні способи зварювання, які використовуються при відновленні вагонів, їх вузлів та деталей у цехах (дільницях або відділеннях) вагоноремонтних підприємств, а також наведена методика розрахунку основного часу при відновленні за допомогою зварювальних робіт.

Рекомендовано для студентів денної та заочної форм навчання напряму 6.070105 „Рухомий склад залізниць”, а також слухачів НН ІППК спеціальності 7.07010502 „Вагони та вагонне господарство”.

Укладач

старш. викл. В.Г. Равлюк

Рецензент

проф. І.Д. Борзилов

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять
з дисципліни

*«ОСНОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ТА ВІДНОВЛЕННЯ ВАГОНІВ»*

Частина 1

Відповідальний за випуск Равлюк В.Г.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 30.01.14 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,75. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
....	4
1 Сутність процесу і класифікація способів зварювання.....	5
2 Підготовка до зварювально-наплавлювальних робіт.....	10
3 Вибір джерела живлення.....	13
4 Відновлення деталей зварюванням та наплавленням.....	17
5 Електрошлакове зварювання.....	31
6 Зварювання та наплавлення у середовищі захисних газів.....	35
7 Зварювання та наплавлення самозахисним порошковим дротом.....	41
...	41
8 Газове зварювання.....	45
9 Автоматичне зварювання під шаром флюсу.....	46
Список літератури.....	53
Додаток А (обов'язковий)	54

ВСТУП

Відновлення деталей рухомого складу — це один з найважливіших напрямків діяльності підприємств залізничного транспорту і провідна роль у цій діяльності приділяється зварюванню й наплавленню. Тому при ремонті локомотивів зварюванню й наплавленню належить 45-50 %, а при ремонті вагонів до – 75 % усього обсягу робіт. За рядом найбільш металоємкісних і дорогих деталей (рам вагонів, колісних пар, візків, автозчепного та гальмового обладнання й ін.) вторинне споживання відновлених виробів значно більше, ніж споживання нових запасних частин.

Собівартість відновлення для більшості деталей не перевищує 56-60 % вартості нових, а витрата матеріалів в 20-25 разів менше, ніж на їхнє виготовлення. У зв'язку із цим, при забезпеченні високої якості робіт, ремонтні підприємства можуть бути цілком конкурентоспроможні в умовах ринкової економіки.

Одним із шляхів збільшення пропускної спроможності залізниць є зниження власної ваги рухомого складу за рахунок використання сталей з підвищеним об'ємом текучості. Використання сталей більшої міцності у зварних конструкціях вагонів і локомотивів неминуче вимагає не тільки розробки технології їх ремонту, але й вишукування нових конструктивних рішень.

Для збільшення стійкості деталей локомотивів і вагонів є перспективними розробки способів ремонту з отриманням поверхневих шарів, які володіють особливими властивостями (плазмове та газопорошкове наплавлення та інші нові способи відновлення).

Для підвищення продуктивності праці, як і раніше, залишається актуальною проблемою механізація і автоматизація зварювально-наплавлювальних робіт при масовому ремонті деталей. Залишаються перспективними роботи в галузі підвищення експлуатаційної надійності зварних конструкцій зміцненням.

Основні труднощі, з якими зіштовхуються фахівці при відновленні деталей зварюванням і наплавленням, — це обґрунтування вибору наплавлювального матеріалу й джерела живлення зварювальної дуги. Крім того, при використанні режимів наплавлення, що не відповідають раціональним, різко знижується працездатність відновлених виробів. Тому розробка раціональних технологічних

процесів зварювання й наплавлення, оцінка їхньої ефективності займає значне місце в діяльності інженера-механіка.

1 СУТНІСТЬ ПРОЦЕСУ І КЛАСИФІКАЦІЯ СПОСОБІВ ЗВАРЮВАННЯ

Зварюванням називають технологічний процес утворення нерознімних з'єднань металевих виробів, що здійснюється при використанні міжмолекулярних і міжатомних сил зчеплення. Для виникнення цих зв'язків зварювані поверхні необхідно наблизити до відстані, відповідної атомному радіусу. Це можливо лише за умови усунення причин (мікронерівності, оксидні та органічні плівки, адсорбовані гази), що заважають зближенню, і надання атомам певної енергії (енергії активації). Енергія ця може передаватися у вигляді теплоти (термічна активація) та пружно-пластичної деформації (механічна активація). Відповідно до цього всі способи зварювання поділяють на дві основні групи: зварювання плавленням, зварювання тиском (пластичним деформуванням).

При зварюванні *плавленням* кромки з'єднуваних деталей (основний метал) і в більшості випадків додатковий (присадний) метал нагрівають до розплавленого стану (температура 2500 °С), утворюючи загальну зварювальну ванну. Після видалення джерела теплоти метал ванни охолоджується і твердіє, утворюючи наплавлений метал, або зварний шов, який з'єднує зварювані поверхні в єдине ціле.

При зварюванні тиском зварне з'єднання утворюється нагріванням зварюваних поверхонь до пластичного стану або до початку плавлення і додатковим прикладанням механічних зусиль стискання. Такі пластичні метали, як свинець, алюміній, мідь, нікель тощо, можна зварювати і в холодному стані лише за рахунок тиску.

За видом енергії, що застосовується для нагрівання металу, всі способи зварювання можна поділити на такі основні групи: електричні, хімічні, механічні і променеві.

Найважливішою є група *електричних способів*, при яких для нагрівання металу використовується електричний струм. Залежно від принципу перетворення електричної енергії в теплову, що

використовується під час зварювання, розрізняють такі основні види електричного зварювання: дугове, електрошлакове, контактне, індукційне, плазмове.

До групи *хімічних способів* зварювання належать газове і термічне. Нагрівання металу при цих способах зварювання здійснюється за рахунок тепла екзотермічних реакцій окислення різних речовин, що перебувають у газоподібному або твердому стані.

До *механічних способів* зварювання належать: горнове, або ковальське, холодне тиском, тертям, вибухом і ультразвуком. При цих методах зварювання для з'єднання металів використовують відповідні види механічної енергії.

Група *променевих способів* зварювання об'єднує: електронно-променеве, лазерним та сонячним променями.

Із перелічених способів зварювання найважливішими є електричне дугове, контактне і газове.

При зварюванні тиском у процесі пластичної деформації в поверхневих контактуючих шарах вирівнюються мікронерівності, руйнується адсорбований шар і збільшується кількість активних центрів взаємодії. Внаслідок цього між атомами поверхонь утворюється металевий зв'язок. Зварювання тиском здійснюють з попереднім нагріванням (контактне, індукційне, дифузійне) або без нього (холодне, ультразвукове, вибухом, тертям).

Найпоширенішим способом зварювання є дугове, джерело енергії якого — зварювальна дуга.

Зварювальною дугою називають стаціонарний електричний розряд у газопаровій атмосфері між електродами, що перебувають під напругою. Відстань між електродами називають *областю дугового розряду, або довжиною дуги* (приблизно дорівнює діаметру електрода). Запалювання дуги при зварюванні починається з короткого замикання електрода з виробом або з високочастотного електричного розряду (в разі використання неплавких електродів). Зварювальна дуга як концентроване джерело енергії забезпечує температуру стовпа дуги $6000 \div 7000$ °С і температуру катодної і анодної плям, відповідно $2400 \div 2600$ °С. У рівноважному стані залежність між напругою і струмом виявляє статична вольт-амперна характеристика дуги, що складається з трьох ділянок: спадної, жорсткої й зростаючої. Найчастіше використовують ділянку дуги з жорсткою характеристикою.

Зварювальну дугу можна живити постійним струмом (від

генераторів і випрямних установок) або змінним (від зварювальних апаратів чи трансформаторів). При зварюванні напруга на дузі має бути мінімальною. Тому потужність дуги регулюють зміною сили струму, керуючись вольт-амперною характеристикою.

Джерела зварювального струму мають відповідати таким вимогам: легке запалювання дуги і безпечність роботи (напруга холостого ходу має бути не більше $60 \div 80$ В); стабільне горіння дуги за заданим режимом; варіювання (регулювання) сили струму; обмеження струму при короткому замиканні зварювальної мережі (струм короткого замикання має не перевищувати робочий струм більше ніж у 1,5 рази).

Для виконання цих вимог найчастіше використовують джерело змінного або постійного струму з напругою холостого ходу $60 \div 80$ В зі спадною вольт-амперною характеристикою регульованої крутизни.

При ремонті вагонів зварюванню й наплавленню піддаються деталі, які в основному виготовлені: з конструкційних, низьковуглецевих, середньо- і низьколегованих прокатних і литих сталей. Вуглець і легуючі елементи, що входять до складу сталі, впливають на зварюваність і ділять її на чотири групи: добру, задовільну, обмежену й погану зварюваність. Тому при розробці технологічного процесу насамперед потрібно оцінити зварюваність металу відновлюваного виробу й призначити (при необхідності) певні операції, що зменшують або виключають негативний вплив тих або інших компонентів на якість відновленого шару.

Зварюваність називається сполучення технологічних властивостей металів і сплавів, що дають можливість утворювати в процесі зварювання або наплавлення з'єднання й шари, які за своїми властивостями не поступаються властивостям матеріалу відновлюваного виробу.

Найбільше на зварюваність впливають хімічний склад сплаву, фазова структура і її зміни в процесі нагрівання й охолодження, фізико-хімічні й механічні властивості, активність реакцій елементів тощо.

У зв'язку з тим, що параметрів, які характеризують основний і присадний (електродний) матеріали, дуже багато, тому зварюваність являє комплексну характеристику, що включає чутливість металу до окислювання й пороутворення, відповідність властивостей зварного з'єднання заданим експлуатаційним, реакцію на термічні цикли, опірність утворенню холодних і гарячих тріщин тощо.

З перерахованих параметрів найбільш істотною при зварюванні й наплавленні вуглецевих і низьколегованих сталей є опірність утворенню тріщин.

Гарячі тріщини найчастіше виникають при послабленні деформаційної здатності металу через появу в структурі легкоплавких крихких евтектик, дефектів кристалічної будови, внутрішніх і зовнішніх напружень.

Імовірність появи при зварюванні або наплавленні гарячих тріщин можна визначити за показником Уїлкінсона (*HCS*):

Умовою появи гарячих тріщин є $HCS > 2$. Тому, наприклад, при звичайному зварюванні низьколегованої сталі тріщини починають виникати при $HCS = 4$.

Холодні тріщини найчастіше виникають через загартованість сталі при швидкому охолодженні й насиченні металу шва й зони термічного впливу воднем. Вони, як правило, зароджуються після закінчення деякого часу після зварювання й наплавлення й розвиваються протягом декількох годин або навіть доби.

Для оцінки схильності металу до появи холодних тріщин найчастіше використовуються вуглецевий еквівалент, яким можна користуватися як показником, що характеризує зварюваність, при попередній оцінці останньої. Для цієї мети є ряд рівнянь. Найпоширенішим і прийнятним для сталей, що використовуються у вагонах, є таке:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}, \quad (1.1)$$

У таблиці 1.1 наведена класифікація сталей за зварюваністю відповідно до величини C_e й заходи для запобігання або зменшення ймовірності появи тріщин.

Таблиця 1.1 – Класифікація сталей за зварюваністю

Група сталей	Зварюваність	Еквівалент $C_e, \%$	Технологічні заходи			
			підігрів		термообробка	
			перед зварювання м	під час зварювання	перед зварюванням	після зварювання
1	Добра	<0,2	-	-	-	бажана
2	Задовільна	0,2÷0,35	необхідний	-	бажана	необхідна
3	Обмежена	0,35÷0,45	необхідний	бажаний	необхідна	необхідна
4	Погана	>0,45	необхідний	необхідний	необхідна	необхідна

Якщо оцінка зварюваності за показником C_e вказує на схильність сталі до появи холодних тріщин, то необхідно передбачити попередній підігрів деталі. Температуру підігріву можна визначити за формулою, °С,

$$t = 350\sqrt{C_{об} - 0,25}, \quad (1.2)$$

де $C_{об}$ - загальний вуглецевий еквівалент.

$$C_{об} = C_e + 0,005^S C_e, \quad (1.3)$$

де S - товщина металу деталі, що зварюється, мм.

Температура супутнього зварювання або наплавлення підігріву залежить від матеріалу виробу й коливається в середньому від 250 до 400°С.

Зменшення вмісту водню в наплавленому металі досягається поліпшенням захисту зварювальної ванни від зовнішнього середовища, ретельною підготовкою поверхні перед наплавленням, прожарюванням присадного матеріалу тощо.

При аналізі зварюваності не слід упускати з виду той факт, що під впливом значних температур відбувається розміщення термічнозміцнених сталей. Таким чином, перед розробкою технології зварювання або наплавлення варто визначити зварюваність основного, присадного металу й металу шва; ймовірність появи тріщин; розміщення сплаву й призначити необхідні заходи для зменшення або виключення небажаних явищ.

2 ПІДГОТОВКА ДО ЗВАРЮВАЛЬНО-НАПЛАВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ

При зварювально-наплавлювальних роботах підготовчі операції полягають у такому: зачищення місць зварювання або наплавлення металевими щітками; видалення забруднень, іржі, залишків масел. При наявності на деталі отворів, шпонкових канавок їх необхідно закрити пробками або тимчасовими шпонками з маловуглецевої сталі. Шпонки слід укладати на азбестові прокладки товщиною 2 – 3 мм. Пробки й тимчасові шпонки повинні виступати над поверхнею деталі на 1 – 2 мм. Неприпустима постановка мідних і графітових пробок. Дозволяється забивання отворів азбестом.

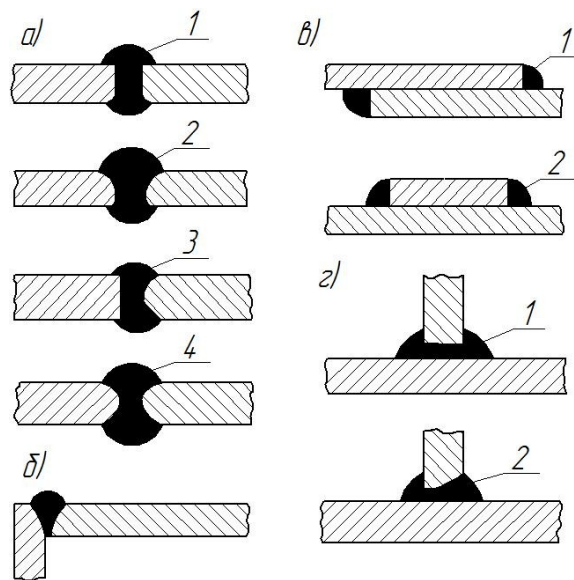
Кінці тріщин виявляються нагріванням газового пальника, накернюються та виконується їх засвердлювання.

Підготовку кромок під зварювання слід виконувати механічною обробкою (на токарському або стругальному верстаті, фрезеруванням, пневматичним або ручним зубилом, крейцмейселем й ін). При підготовці кромок деталей з маловуглецевої сталі дозволяється використання газового різання з подальшим механічним зачищенням різаної поверхні до одержання чистого металу. При підготовці газовим різанням кромок на деталях зі сталей, що містять вуглецю більше 0,3 %, різану поверхню необхідно обробити механічним способом на глибину не менше 3 мм.

При виборі форми оброблення кромок (рисунок 2.1) слід мати на увазі, що найбільш економічною формою є **I** – подібна без скосу кромок. У порівнянні з **V** – подібною більш економічними є **K** – і **X** – подібні двобічні. Однак вони можуть бути реалізовані при можливості доступу до обох боків деталі.

При заварюванні некрізних тріщин найчастіше використовується **V** – подібне оброблення, при заварюванні наскрізних — **X** – подібне.

При багатошаровому наплавленні накладення наступних шарів необхідно проводити після повного остигання попередніх і зачищення останніх до металевого блиску.



а) стикове: 1- I – подібне (без скосу кромки); 2- V-подібне, двобічне; 3 – К-подібне симетричне двобічне; 4 – Х-подібне симетричне двобічне; б) кутове; в) внапуск: 1 – двобічне; 2- однобічне; г) таврове: 1- без скосу кромки двобічне; 2- зі скосом однієї кромки однобічне

Рисунок 2.1 - Основні типи зварювальних з'єднань

Істотний вплив на продуктивність зварювання має положення шва в просторі (рисунок 2.2). За положенням в просторі зварні шви, що накладаються, поділяють на нижні, горизонтальні, вертикальні та стельові.

Нижні шви найбільш зручні для виконання, оскільки розплавлений метал електрода під дією сили тяжіння стікає в кратер і не витікає із зварювальної ванни, а гази і шлак виходять на поверхню металу. Тому скрізь, де це можливо, деталі слід розташовувати так, щоб можна було вести зварювання в нижньому положенні шва.

Вертикальні шви накладати менш зручно, оскільки сила тяжіння захоплює краплі електродного металу вниз. Ці шви виконують короткою дугою від низу до верху, що полегшує перехід крапель металу в шов, що утворюється при цьому у вигляді полицки, кратер утримує чергові краплі металу від набрякання вниз.

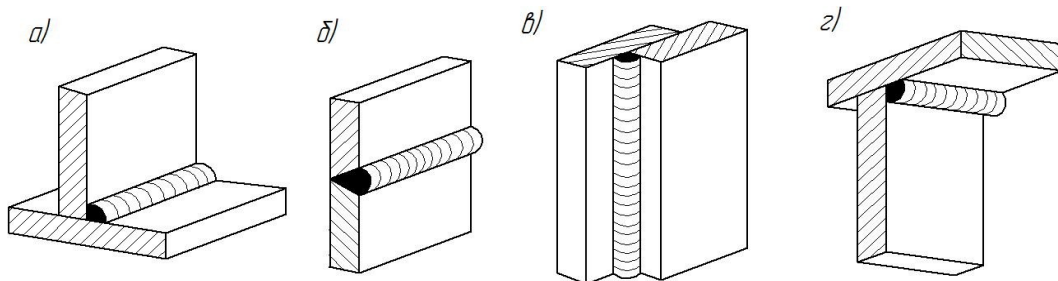
Горизонтальні шви при зварюванні встик виконують з обробленням шва з скосом кромки верхнього листа. Дугу запалюють на нижній полиці та потім її переводять на поверхню скосу і назад. Для зварювання зазвичай використовують електроди діаметром 4 – 5 мм. Шви внапуск виконувати легко, оскільки нижня кромка утворює полицку, що утримує краплі розплавленого металу.

Стельові шви найважче здійсненні, тому роботу з їх накладення доручають зварювальникам високої кваліфікації. Зварювання ведуть електродами діаметром не більше 5 мм при зниженій силі зварювального струму.

Обмащування електродів повинне бути тугоплавким, що сприяє утворенню «чохольчика», в якому утримується розплавлений метал електрода. Для полегшення переходу металу електрода в кратер шва зварювання виконують з максимально можливою короткою дугою.

Частка електродного металу, що перейшов у зварний шов, різна і залежить від способу і режиму зварювання, а також від виду шва. Частина металу електрода втрачається зважаючи на розбризування і чад. Ці втрати при ручному дуговому зварюванні досягають 25 – 30 %, а при автоматичному під шаром флюсу складають тільки 2 – 3 % загальної кількості розплавленого електродного металу. Кількість електродного металу, що перейшов у зварний шов, оцінюють *коефіцієнтом наплавлення*. При ручному зварюванні його значення встановлюють за марками електродів.

За коефіцієнтами плавлення і наплавлення розраховують потребу в електродному металі, для зварного шва встановленого перетину і швидкості накладення шва.



а) нижнє; б) горизонтальне; в) вертикальне; г) стельове

Рисунок 2.2 – Розміщення зварювальних швів у просторі

3 ВИБІР ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Зварювальна дуга є потужним дуговим розрядом в іонізованому середовищі газів і парів металу. Характеристиками дуги є її струм I_d і напруга U_d . Статична вольт-амперна характеристика дуги (рисунок 3.1) показує залежність $U_d=f(I_d)$ при $I_d=const$. Вона має три характерних ділянки: спадну I, жорстку II і зростаючу III.

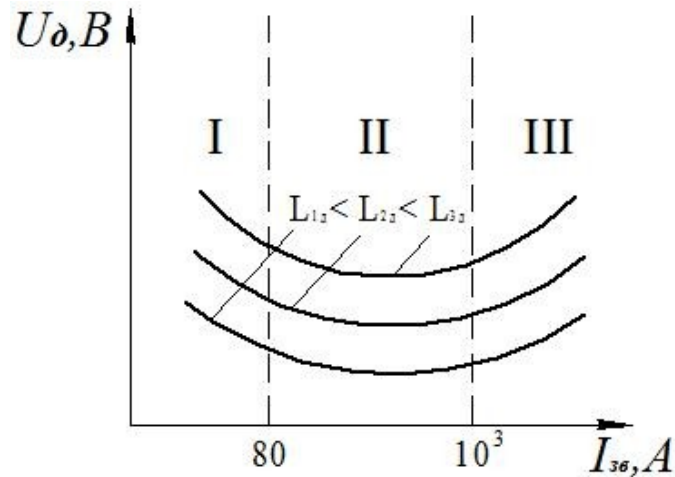


Рисунок 3.1 – Статичні вольт-амперні характеристики дуги

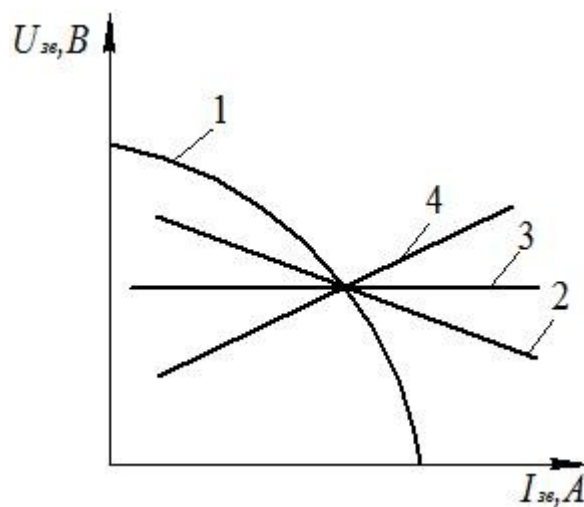
Крутоспадна характеристика дуги (ділянка I) буває при щільності струму не більше $10 \div 12$ А/мм. При збільшенні I_d збільшуються поперечний переріз стовпа дуги й електропровідність, причому збільшення останніх іде з деяким випередженням зростання струму дуги. Тому на ділянці I напруга дуги при збільшенні струму падає. При подальшому збільшенні I_d (ділянка II) пропорційно йому зростають площа поперечного перерізу й щільність струму. У зв'язку із цим напруга дуги залишається практично незмінною. Такий стан характерний для дуг із щільністю струму $12 \div 80$ А/мм², тобто практично у всьому діапазоні режимів зварювання штучними електродами, електродами, які не плавляться й під флюсом.

При зварюванні електродом, що плавиться, у захисних газах на форсованих режимах під флюсом (коли щільність струму більше 80 А/мм²), при збільшенні I_d , резерви зростання перерізу стовпа дуги вичерпані, тому він стискається й викликає збільшення напруги U_d . На таких режимах статична характеристика дуги (ділянка III) стає зростаючою.

У процесі зварювання дуга й джерело її живлення утворюють взаємозалежну систему. Стійкість горіння дуги й стабільність режиму зварювання залежать як від умов існування дугового розряду, так і від властивостей і параметрів джерел живлення й, у першу чергу, від зовнішньої характеристики джерела.

Зовнішньою характеристикою джерела живлення зварювальної дуги називається залежність між напругою на його затисках U_{in} і струмом $I_{зв}$, що протікає у зварювальному ланцюзі при навантаженні, тобто $U_{in} = f(I_{зв})$.

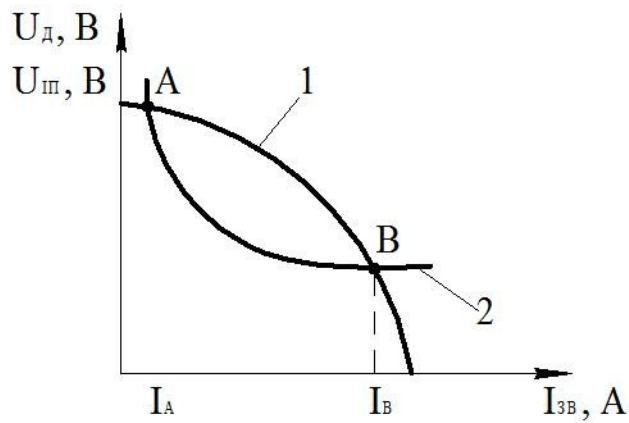
Існують такі зовнішні характеристики джерел живлення: спадні, пологоспадні, жорсткі, зростаючі (рисунок 3.2).



1 - спадні; 2 - пологоспадні; 3 - жорсткі; 4 – зростаючі

Рисунок 3.2 - Зовнішні характеристики джерел живлення

Сталий режим роботи системи визначається точкою перетинання (рисунок 3.3) зовнішньої характеристики джерела 1 і вольт-амперною характеристикою 2 дуги, тобто для нормального протікання процесу зварювання необхідна рівність напруг на дузі й клеммах джерела живлення $U_{д} = U_{ш}$. Однак стійке її горіння буде при струмі, що відповідає точці В. Струм, що відповідає точці А (I_A), є струмом запалювання дуги. Після появи останньої він автоматично підвищиться до робочої величини I_B .

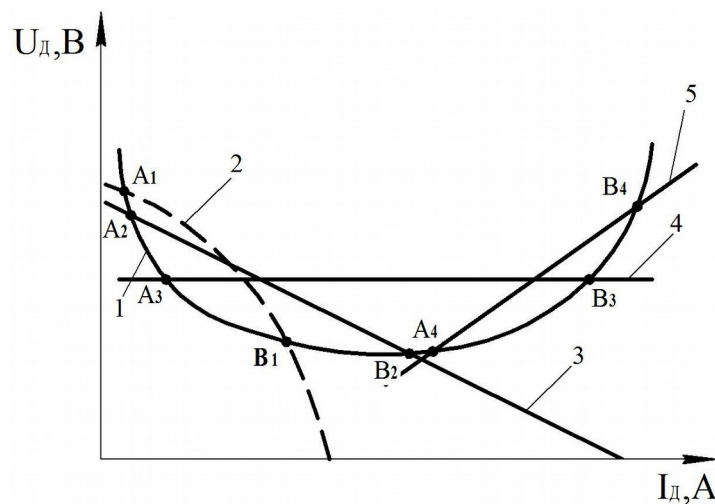


I_A - струм запалювання дуги; I_B - струм стійкого горіння дуги

Рисунок 3.3 - Зовнішня характеристика джерела живлення й вольт-амперна характеристика дуги

Вибір джерела живлення зварювальної дуги за типом зовнішньої характеристики виконується залежно від способу зварювання.

Якщо форма характеристики дуги спадна, то зовнішня характеристика джерела живлення (рисунок 3.4) повинна бути більш крутоспадною.



1 – вольт-амперна характеристика дуги; 2, 3, 4, 5 - зовнішні характеристики джерел живлення

Рисунок 3.4 - Характеристики системи „дуга - джерело живлення“

При жорсткій характеристиці дуги характеристика джерела повинна бути пологоспадною або жорсткою, але в меншому ступені,

ніж характеристика дуги. І при зростаючій, вольт-амперній характеристиці дуги приймається джерело живлення із жорсткою або злегка зростаючою характеристикою.

При ручному зварюванні, як правило, спостерігаються значні коливання довжини дуги, а відповідно й напруги на дузі, але режим зварювання при цьому повинен бути стабільним.

Значить, у цьому випадку, чим крутіше характеристика джерела живлення, тим більш стійка дуга, тобто тим менше зміна струму при зміні довжини дуги.

При автоматичному зварюванні електродом, що плавиться, відбувається саморегулювання, при якому довжина дуги після її зміни відновлюється автоматично за рахунок зміни струму й відповідно швидкості плавлення дроту. Явище саморегулювання найбільш сильно проявляється при підвищенні щільності струму в електроді й зменшенні крутості зовнішньої характеристики джерела живлення.

Відповідно, джерела живлення зварювальної дуги із крутоспадною зовнішньою характеристикою використовують, як правило, при ручному зварюванні, при зварюванні електродом, що не плавиться, у середовищі захисних газів і зварюванні під флюсом при порівняно невеликій щільності струму.

Джерела живлення з іншими типами зовнішніх характеристик рекомендуються для зварювання й наплавлення під флюсом на форсованих режимах зі значною щільністю струму, зварювання тонким дротом, електрошлакового зварювання та ін.

Таким чином, для певного способу зварювально-наплавлювальних робіт повинно бути підібрано джерело живлення з такою зовнішньою характеристикою, при якій система „дуга-джерело живлення“ у робочому режимі буде стійкою.

Крім зазначеного, джерела живлення повинні задовольняти такі основні вимоги:

- можливості функціонування при періодичних коротких замиканнях зварювального ланцюга, що відбуваються як у процесі зварювання, так і при запалюванні дуги;

- значення струму короткого замикання повинно бути в 1,5-2 рази більше значення робочого струму;

- напруга холостого ходу джерела повинна дозволяти легко запалювати дугу, забезпечувати стійке її горіння й бути безпечною для зварювальника при дотриманні ним правил техніки безпеки;

- можливості регулювання зварювального струму в широкому

діапазоні. Технічні характеристики деяких джерел живлення наведені в додатку таблиці А.1-А.5.

4 ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗВАРЮВАННЯМ ТА НАПЛАВЛЕННЯМ

Спосіб зварювання винайшов інженер Н. Н. Бенардос у 1882 р., застосувавши вугільний електрод; інженер Н. Г. Славянов у 1888 р. удосконалив спосіб Н. Н. Бенардоса, замінивши вугільний електрод металевим. Спосіб Н. Г. Славянова швидко отримав широке практичне застосування і зберігся до наших днів. За способом Н. Г. Славянова один провід від джерела струму приєднується до зварюваної деталі, а інший — до електрода — металевого стрижня. При замиканні ланцюга між кінцями електрода і деталлю виникає електрична дуга, внаслідок чого плавляться кромки деталі і електрод; метал електрода заповнює шов між деталями і утворює після затвердіння зварюванням шов.

Процес зварювання та наплавлення в основному складається з трьох стадій:

- нагрівання й розплавлення присадного матеріалу та основного металу деталі;
- сплавлення металів та їх рафінування;
- охолодження та кристалізація металу та утворення зварювально-наплавленого валика.

Найчастіше на вагоноремонтних підприємствах зварювання використовується для заварювання тріщин, приварювання накладок, наплавлення зношених поверхонь.

Наплавлення є різновидом зварювання та полягає в тому, що на поверхню деталі наносять шар розплавленого металу для відновлення її розмірів та форми.

Велике значення для забезпечення якості зварювання має правильний вибір електродів.

Електроди для електродугового зварювання класифікуються так:

- за призначенням;
- за механічними властивостями металу шва;

- за хімічним складом стрижня та покриття (обмащування);
- за характером шлаку;
- за матеріалом, з якого вони виготовлені;
- за допустимими просторовими положеннями зварювання або наплавлення;
- за родом та полярністю струму.

Застосування тих або інших електродів, дротів, флюсів, захисних газів та інших матеріалів для зварювання визначається маркою матеріалу виробів, які зварюються або ремонтуються.

Сталі, що використовуються при виготовленні вагонів та контейнерів, категорії їхньої зварюваності та умови зварювання наведені в інструкції [8, 9].

За призначенням електроди поділяються на такі групи:

- для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей — У;
- для зварювання теплотривких легованих сталей — Т;
- для зварювання високолегованих сталей з особливими властивостями — В;
- для наплавлення шарів з особливими властивостями — Н.

За товщиною покриття існують такі групи електродів:

- із тонким покриттям — М;
- із середнім покриттям — З;
- із товстим покриттям — Д;
- із особливо товстим покриттям — Г.

Покриття можуть бути кислі — А, основні — В, целюлозні — Ц, рутилові — Р та інші — П.

У цей час при ремонті вагонів набувають найбільшого застосування кислі, основні й рутилові покриття.

Кисле покриття складається в основному з оксидів металу, алюмосилікатів і розкислювачів. Газовий захист здійснюється за рахунок згоряння органічних складових покриття.

Зварювання електродами з кислим покриттям можна виконувати за допомогою постійного та змінного струму. У процесі зварювання зварювальна ванна бурхливо кипить внаслідок активного розкислення металу вуглецем, що сприяє хорошій дегазації металу шва. Тому навіть при зварюванні по окалині або іржі виходять порівняно щільні шви, що поступаються за характеристиками пластичності й ударної в'язкості металу шва електродам із іншими видами покриттів. При

використанні електродів з кислим покриттям існує схильність до утворення кристалізаційних тріщин, велике розбризування металу, значне виділення в процесі зварювання шкідливих марганцевих виділень. До електродів з кислим покриттям відносяться електроди таких марок: ОМА-2, ЦМ-7, ОММ-5 та ін.

Основне покриття складається переважно з мармуру, плавикового шпату, розкислювачів і легуючих елементів (феромарганець, феросиліцій, ферованадій тощо). Газовий захист розплавленого металу забезпечується вуглекислим газом й окисом вуглецю, які утворюються в результаті дисоціації карбонатів.

Електроди з основним покриттям (УОНИ13/45, СМ-11, УОНИ13/55К, ВН-48, ОЗС-33, ОЗС-25, ОЗС-18, УОНИ13/55У, УОНИ13/65, ВСОР-65У та ряд інших) забезпечують одержання наплавленого металу з малим вмістом газів і шкідливих домішок, з високими пластичними характеристиками й ударною в'язкістю при нормальній і негативній температурах, з хорошою стійкістю проти утворення кристалізаційних тріщин і старіння. Тому такі електроди призначаються для зварювання конструкцій з вуглецевих і конструкційних сталей, міцних конструкцій з литих вуглецевих і низьколегованих високоміцних сталей.

Недоліком цього виду покриттів є підвищена чутливість до пороутворення при зволоженні покриття, збільшенні довжини дуги, при наявності окалини, іржі або масла на кромках виробів, що зварюють.

Зварювальні роботи електродами з основним покриттям ведуться, як правило, на постійному струмі зворотної полярності. Щоб використати такі електроди для зварювання на змінному струмі, у покриття вводяться компоненти, що містять легкоіонізуючі елементи: калієве рідке скло, кальційовану соду, поташ тощо.

Рутилове покриття містить в основному рутиловий концентрат, різні алюмосилікати й феромарганець. Розкислення й легування металу шва досягається наявністю феромарганцю, а газовий захист - целюлозою. Марки електродів з рутиловим покриттям: ОЗС-12, МР-3, ОЗС-6, ОЗС-4, АНО-4, ОЗС-32, ОЗС-21 й ін.

Електроди з рутиловим покриттям мають високі зварювально-технологічні властивості, забезпечують хороше формування шва, мають невелике розбризування, легку віддільність шлакової шкірки, малу схильність металу до утворення пор. Зварювання можна вести як на постійному, так і змінному струмі.

У таблиці 4.1 наведені деякі характеристики електродів загального призначення, найпоширеніших у ремонтній практиці для зварювання й наплавлення вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей.

Для одержання при ручному дуговому наплавленні шарів з високими механічними властивостями (більша твердість, зносостійкість, жаростійкість й ін.) рекомендується використовувати електроди, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Характеристики електродів загального призначення

Тип електрода	Марка електрода	Матеріал, що зварюється	Рід струму	Просторове положення деталі
1	2	3	4	5
Э42	ОМА-2	Вуглецеві сталі з $\sigma_b > 410$ МПа тонколистові	Змінний, постійний зворотної полярності	Всі положення
Э42Э	УОНИ 13/45	Вуглецеві й низьколеговані сталі $\sigma_s \leq 410$ МПа при підвищених вимогах до металу шва за пластичністю, ударною в'язкістю й стійкістю проти утворення тріщин	Постійний зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - нижнє й вертикальне)
Э46	СМ-11; ОЗС-12	Вуглецеві сталі $\sigma_s \leq 450$ МПа	Змінний, постійний прямої полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - нижнє й вертикальне)
	МР-3; ОЗС-6		Змінний, постійний зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - нижнє й вертикальне)
	ОЗС-4; АНО-4		Змінний, постійний будь-якої полярності	Всі положення
	ОЗС-32; ОЗС-21		Змінний, постійний зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - нижнє й вертикальне)

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
Э46А	УОНИ 13/55 К	Вуглецеві й низьколеговані сталі з $\sigma_s \leq 450$ МПа при підвищених вимогах до металу шва за пластичністю, ударною в'язкістю й стійкістю проти утворення тріщин	Постійний зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - нижнє й вертикальне)
	ВН-48		Постійний зворотної полярності, змінний - для діаметрів електродів 4 й 5 мм	
Э50А	УОНИ 13/55	Вуглецеві й низьколеговані сталі з $\sigma_s \leq 490$ МПа при підвищених вимогах до металу шва за пластичністю, ударною в'язкістю й стійкістю проти утворення тріщин	Постійний зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - нижнє й вертикальне)
	ОЗС-33		Змінної постійної будь-якої полярності	
	ОЗС-25	Те саме і при низьких температурах	Постійний зворотної полярності	
	ОЗС-18	Низьколеговані сталі з $\sigma_s \leq 490$ МПа стійкі до атмосферної корозії	Постійний зворотної полярності	
Э55	УОНИ 13/55У	Вуглецеві й низьколеговані сталі марок Ст 5, 25М2С, 35ГС й ін при зварюванні стрижнів арматури й рейок	Змінний, постійний зворотної полярності	Нижнє
Э60	УОНИ 13/65	Вуглецеві й низьколеговані сталі з $\sigma_s \leq 590$ МПа	Постійний зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5 мм - нижні й вертикальне)
	В6Ф – 65У	Те ж, переважно для зварювання трубопроводів		Всі положення

Таблиця 4.2 - Характеристики наплавлювальних електродів

Марка електрода й сердечника	Призначення електрода	Твердість наплавленого металу	Особливості наплавлення
1	2	3	4
ОЗН-300М, дріт Св-08, Св-08Г2С	Наплавлення деталей з вуглецевих і низьколегованих сталей, що працюють в умовах тертя й ударних навантажень	НВ250-350	У нижньому положенні на змінному й постійному струмі зворотної полярності
ОЗН-400М, сердечник-дріт Св-08, Св-08Г2С; ОЗН-7, сердечник-дріт Св-08		НВ350-450	
ОЗН-7 сердечник-дріт Св-08	Наплавлення деталі, що швидко зношується, які працюють при значних ударних навантаженнях	HRC>55	У нижньому положенні на постійному струмі зворотної полярності
ОЗШ-3, сердечник-дріт Св-08, Св-08А	Наплавлення деталей, що швидко зношуються	HRC52-58	На постійному струмі зворотної полярності, у нижньому й вертикальному положенні в 1-4 шари з підігрівом до 300-400 °С
НР-70, сердечник-дріт Св 08, Св-08А	Наплавлення деталей з вуглецевих сталей, що працюють в умовах тертя кочення й ударних навантаженнях	НВ 300-390	Наплавлення на постійному струмі зворотної полярності широкими валиками
ОМГ-Н, сердечник-дріт Св-06Н3А	Наплавлення деталей з високо марганцевистої сталі типу 110Г13, 110Г13Л	HRC25-33	Наплавлення в нижньому і похилому положеннях на змінному або постійному струмі з мінімальним розігрівом деталі
ЦНИИН-4, сердечник-дріт Х14М4Н3Т	Наплавлення й зварювання дефектів на сталі типу 110Г13, 110Г13Л	НВ450-500	Наплавлення на постійному струмі зворотної полярності в нижньому положенні

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4
ОЗИ-3, сердечник - дріт Св-08, Св-08А	Наплавлення деталей, що швидко зношуються	HRC58-63	Наплавлення в нижньому положенні при постійному струмі зворотної полярності в 1-4 шари з попереднім прогрівом до 300-600°C, повільним охолодженням в печі або в піску, відпалом або відпуском при 560°C протягом 2 год
ОЗН-6, сердечник- дріт Св-08, Св-08Г2С	Наплавлення деталей, що швидко зношуються та працюють в умовах інтенсивного зношування та значних ударних навантаженнях	HRC>55	Наплавлення в нижнім положенні на змінному струмі або постійному зворотної полярності. Наплавлений метал має підвищену тріщиностійкість при багатошаровому наплавленні й в умовах ударних навантажень

Перед проведенням зварювальних та наплавлювальних робіт матеріали, які застосовуються, мають бути підготовлені. Електроди, порошковий дріт, окрім самозахисних, та флюс повинні бути прожарені при температурі не нижче 250°C або при температурі, яка вказана в супроводжувальному сертифікаті. Суцільний дріт, особливо той, що застосовується для зварювання у захисних газах, повинен бути очищений від бруду, мастил та продуктів корозії. Захисні гази повинні відповідати вимогам стандартів.

Перед виконанням зварювальних та наплавлювальних робіт деталі готуються до цих операцій. В елементах, які знаходяться під навантаженням, місця, що підлягають зварюванню (тріщини, зломи, дефектні шви), потрібно спочатку розвантажити та усунути деформації основного металу. Обсяг та характер робіт, які виконуються під час готування деталі до зварювання, залежить від виду дефекту. Тому при зварюванні тріщини її спочатку розробляють (при товщині стінок деталі менше 5 мм тріщини можна не розробляти, а тільки зачистити її краї). Якщо товщина стінок більше 5 мм, то виконують V – подібне розроблення країв тріщини, а при товщині стінок більше 12 мм — X – подібне.

Зварювання складальних одиниць вагонів та контейнерів повинно проводитись згідно з вимогами, які наведені в конструкторській документації на виріб.

Заварювання тріщин та зломів, підготовлених до заварювання, а

також підсилення пошкоджених місць повинно проводитись з дотриманням таких вимог:

– тріщини у конструкціях та деталях, виготовлених із низьковуглецевої, середньовуглецевої або низьколегованої сталі, необхідно заварювати електродами типу Э42А, Э46, Э50А або механізованим зварюванням у захисних газах аналогічно зварюванню у стик.

Зварювання тріщин у деталях з товщиною стінки більше 8 мм повинно виконуватися в декілька шарів. Перед накладанням чергового шару поверхня попереднього повинна бути очищена від шлакової шкірки;

– при ремонті замкнутих тріщин рекомендується перед зварюванням провести підігрів до температури 200 – 250°С зони розробленої тріщини та металу, що прилягає до неї, шириною не менше 50 мм з кожного боку тріщини;

– при довжині тріщини більше 300 мм її треба заварювати зворотно ступінчатим способом з довжиною ступені 150 – 200 мм. Після заварювання дефекту проводять підварювання кореня шва зі зворотного боку, попередньо вилучивши напливи та шлак. Для забезпечення повного проварювання наскрізної тріщини необхідно, коли це можливо, проводити двобічне зварювання або зварювання на підкладці, що залишається;

– поверхня зварних швів після заварювання тріщин та зломів повинна зачищатися до рівня основного металу в тих випадках, коли потребується посилення цих місць накладками;

– посилюючі накладки повинні бути виготовлені з тих марок сталі, що й деталі і конструкції вагонів, або з інших марок, які вказані в нормативно-технічній документації. Для посилення елементів вагонних конструкцій рекомендується також використовувати низьколеговані сталі марок 09Г2Д, 09Г2СД та 10Г2БД. Товщина однобічної накладки повинна бути не менше 0,8 – 1,0 від товщини основного металу деталі, двобічної — не менше половини. У накладках не повинно бути гострих кутів.

Накладки повинні перекривати заварений стик або тріщину не менше ніж на 100 мм, при неможливості цього перекриття може бути зменшено до 50 мм. При приварюванні двобічних накладок необхідно, щоб протилежні шви були зсунуті відносно один одного не менше ніж на 30 мм. Величина катета зварного шва при приварюванні накладки повинна бути однаковою з її товщиною або

меншою, але не більше ніж на 2 мм.

Заварювання дефектів у литті зі сталі та чавуну необхідно проводити згідно з ДСТУ 3183-95 „Заварювання дефектів лиття із сталі та чавуну“.

Наплавлення зношених поверхонь деталей та вузлів вагонів треба виконувати з дотриманням таких вимог:

– наплавлення, як правило, повинно проводитись зносостійкими матеріалами або матеріалами, що зміцнюють, з урахуванням діючих технологій та обладнання, при цьому механічні властивості наплавленого металу повинні бути не нижче механічних властивостей основного металу, а його твердість не повинна перевищувати границь, які встановлені технічною документацією;

– поверхня, яка наплавляється, повинна бути очищена перед наплавленням, а дефекти поверхні у вигляді ливарних раковин, виривів тощо повинні бути усунені зварюванням.

Ручне дугове електрозварювання на вагоноремонтних підприємствах часто використовується для усунення в деталях тріщин та зломів невеликих розмірів, коли застосування механізованих засобів зварювання недоцільно, а також при зварюванні деталей складної форми. Ручне дугове електрозварювання виконують штучними електродами, які зварювальник подає до зварювального виробу та переміщує їх в потрібному напрямку.

Ручне дугове наплавлення застосовується для відновлення зношених поверхонь деталей невеликих розмірів, а також при відновленні гладких та нарізних отворів діаметром менше 25 мм.

Для зварювання сталей **електроди** виготовляють із сталюго зварювального дроту за держстандартом, яким передбачено 75 його марок, із них 6 виготовляють з низьковуглецевої, 30 — із легованої і 39 — із високолегованої сталі. Всі вони мають обмежений вміст вуглецю, сірки і фосфору. Дугове зварювання стрижнями зі сталюго дроту (голими електродами) не застосовується внаслідок нестійкого горіння дуги і великого насичення металу шва киснем і азотом повітря. Для підвищення стійкості горіння дуги і захисту розплавленого металу від взаємодії з повітрям на електродні стрижні 9 (рисунок 4.1) наносять так звані товсті, або якісні, покриття. Їх складовими, крім стабілізуючих і клеючих (рідке скло), є шлако- і газотвірні речовини і розкислювачі. Для одержання наплавленого металу спеціального складу і властивостей вони містять також різні легувальні елементи. До стабілізуючих належать різні сполуки

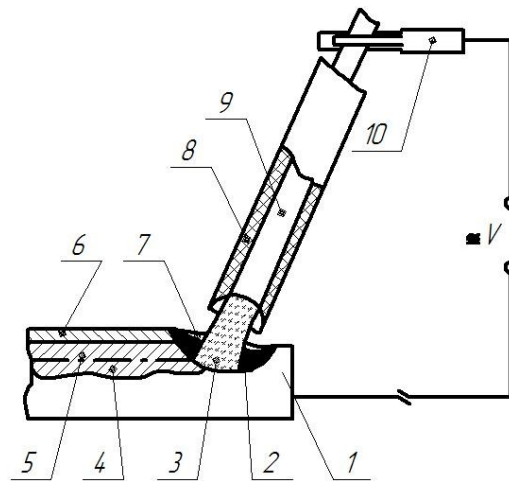
лужних (калію, натрію) і лужноземельних (кальцію) металів, які в дузі легше іонізуються, ніж кисень і азот повітря, і цим поліпшують стійкість горіння дуги.

Шлакоутворюючими речовинами є оксиди, карбонати й інші сполуки, які вносять у покриття у вигляді мінералів (кремнезему, мармуру) і руд (титанової, марганцевої). Під час плавлення покриття вони утворюють шлаки, які покривають краплини електродного металу в дузі і зварювальну ванну на металі 1 шва і цим захищають розплавлений метал від азоту і кисню повітря. Після остигання металу шва і шлаку шлакова шкірка б легко видаляється з поверхні шва.

Для газового захисту в електродні покриття вносять різні органічні сполуки, наприклад, електродну целюлозу, які під час згорання утворюють навколо дуги захисні гази і цим захищають розплавлений метал від взаємодії з повітрям.

Як розкислювачі застосовують елементи, що мають більшу спорідненість з киснем, ніж залізо. До них належать марганець, титан, кремній та ін. Перебуваючи у зварювальній ванні, вони відбирають кисень від оксидів заліза, утворюючи нерозчинні в залізі оксиди відповідних елементів, які потім спливають у шлак.

Легувальними елементами є хром, марганець, вольфрам, молібден. В електродні покриття їх вносять тоді, коли електроди призначені для зварювання легованих сталей, одержання стійких проти спрацювання наплавлень тощо. Розкислювачі та легувальні елементи вносять у покриття головним чином у вигляді феросплавів.



- 1- основний метал; 2 – зварювальна ванна; 3 - електрична дуга;
 4 - проплавлений метал; 5 - наплавлений метал; 6 – шлакова шкірка;
 7 - рідкі шлаки; 8 - електродне покриття; 9 - металевий стрижень
 електрода; 10 - електродотримач

Рисунок 4.1 – Схема ручного дугового зварювання штучним електродом

Для виготовлення покритих електродів усі кускові матеріали шихти покриття подрібнюють, розмелюють, просіюють і змішують з рідким склом. Одержану масу наносять на електродні стержні методом пресування. Потім електроди просушують і прожарюють.

Незважаючи на широке поширення ручного дугового зварювання при виконанні зварювально-наплавлювальних робіт воно має ряд недоліків:

- порівняно низька якість наплавленого металу через слабкий захист зварювальної ванни від впливу навколишнього середовища;
- велике коливання зварювального струму;
- значна ймовірність виникнення непроварів, підрізів й інших дефектів з'єднання;
- великі втрати (до 30 %) присадного матеріалу на вигар, розбризування, недогарки;
- мала продуктивність через неможливість використання високої щільності струму й перерв при зміні електродів;
- складність технологічного процесу, що вимагає тривалого часу підготовки зварників, й ін.

Все це варто враховувати при виборі способу зварювання й наплавлення.

Розрахунок основного часу при зварюванні та наплавленні

При ручному дуговому зварюванні (наплавленні) до параметрів режиму зварювання відноситься сила зварювального струму, напруга, швидкість переміщення електрода уздовж шва (швидкість зварювання), рід струму, полярність тощо.

Діаметр електрода вибирається залежно від товщини металу, що зварюється, типу зварного з'єднання й положення шва в просторі.

При виборі діаметра електрода для зварювання можна використовувати наближені дані таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Вибір діаметра електрода в залежності від товщини металу

Товщина металу, мм	1÷2	3	4÷5	6÷10	10÷15	15 і більше
Діаметр електрода, мм	1,6÷2,0	2,0÷3,0	3,0÷4,0	4,0÷5,0	5,0	5,0 і більше

У багатошарових стикових швах перший шар виконують електродом 3-4 мм, а наступні шари виконують електродами більшого діаметра.

Зварювання у вертикальному положенні проводять із застосуванням електродів діаметром не більше 5 мм. Стельові шви виконують електродами діаметром до 4 мм. При наплавленні зношеної поверхні повинна бути компенсована товщина зношеного шару плюс 1-1,5 мм на обробку поверхні після наплавлення.

Сила зварювального струму розраховується за формулою, А,

$$I_{зв} = K \cdot d_e, \quad (4.1)$$

де K - коефіцієнт, який залежить від діаметра електрода (таблиця 4.4), А/мм;

d_e - діаметр електрода (таблиця 4.3), мм.

Таблиця 4.4 - Коефіцієнт K , який залежить від діаметра електрода

d_e , мм	1÷2	3÷4	5÷6
K , А/мм	25÷30	30÷45	45÷60

Силу зварювального струму, розраховану за цією формулою, варто відкоригувати з урахуванням товщини елементів, що зварюються, типу з'єднання й положення шва в просторі. Якщо товщина металу $S \geq 3d_e$, тоді значення $I_{зв}$ слід збільшити на 10 – 15 %. Якщо ж $S \leq 1,5d_e$, тоді зварювальний струм зменшують на 10 – 15 %. При зварюванні кутових швів і наплавленні значення струму повинне бути збільшено на 10 – 15 %. При зварюванні у вертикальному або стельовому положенні значення зварювального струму повинно бути зменшено на 10 – 15 %.

Для більшості марок електродів, що використовуються при зварюванні вуглецевих і легованих конструкційних сталей, напруга дуги $U_0 = 22 \div 28$ В.

Розрахунок швидкості зварювання виконується за формулою, м/год,

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_{шв} \cdot \gamma}, \quad (4.2)$$

де α_n - коефіцієнт наплавлення, (приймають з характеристики вибраного електрода додаток А, таблиця А.9), г/А·год;

$F_{шв}$ – площа поперечного перерізу шва при однопрохідному зварюванні (або одного шару валика при багатопрохідному шві), мм²;

γ – щільність наплавленого металу, г/мм³ (для сталі = 0,00785 г/мм³).

Маса наплавленого металу для ручного дугового зварювання розраховується за формулою, г,

$$G_n = F_{шв} \cdot l \cdot \gamma, \quad (4.3)$$

де l - довжина шва, мм;

Розрахунок маси наплавленого металу при ручному дуговому наплавленні виконується за формулою, г,

$$G_n = F_{nn} \cdot h_n \cdot \gamma, \quad (4.4)$$

де F_{nn} – площа поверхні, що наплавляється, мм²;

h_n – необхідна висота шару, що наплавляється, см.

Основний час горіння дуги визначається за формулою, год,

$$T_o = \frac{Q_H}{\alpha_H \cdot I_{зв}}. \quad (4.5)$$

Повний час зварювання (наплавлення) приблизно визначається за формулою, год,

$$T = \frac{T_o}{K_n}, \quad (4.6)$$

де T_o – основний час горіння дуги, год;

K_n – коефіцієнт використання зварювального поста, приймається для ручного зварювання $0,5 \div 0,55$.

Витрата електродів для ручного дугового зварювання (наплавлення) визначається за формулою, кг,

$$G_m = G_n \cdot K_e, \quad (4.7)$$

де K_e - коефіцієнт, що враховує витрати електродів на 1 кг наплавленого металу (додаток А, таблиця А.9).

Витрата електроенергії визначається за формулою, кВт· год,

$$A = \frac{U_d \cdot I_{зв}}{\eta \cdot 1000} \cdot T_o + W_o \cdot (T - T_o), \quad (4.8)$$

де U_d – напруга дуги, В;

η – коефіцієнт корисної дії джерела живлення зварювальної дуги (таблиця 4.5);

W_o – потужність, що витрачається джерелом живлення зварювальної дуги при холостому ході (таблиця 4.5), кВт;

T - повний час зварювання (наплавлення), год.

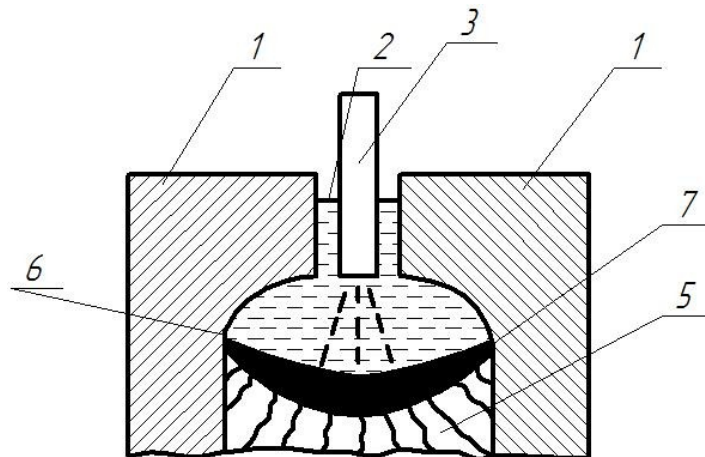
Таблиця 4.5 - Значення η джерела живлення зварювальної дуги й W_o

Рід струму	η	W_o
Змінний	0,8–0,9	0,2–0,4
Постійний	0,6–0,7	2,0–3,0

Вибір й обґрунтування джерела живлення зварювальної дуги може бути здійснено за таблицями А.1-А.5, які наведені в додатку А.1.

5 ЕЛЕКТРОШЛАКОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Електрошлакове зварювання (наплавлювання) (ЕШЗ) — це процес з'єднання металів, при якому розплавлення зон зварювання основного й електродного металів здійснюється теплотою, що виділяється при проходженні електричного струму через шлакову ванну (рисунок 5.1). Шлакова ванна 2 утворюється за допомогою зварювальної дуги на початку зварювання. Подаючи флюс до дуги, створюють значний шар електропровідного шлаку, після чого дуга занурюється в шлак, стає довшою і нестабільною. Це призводить до припинення дугового розряду і замикання струму у зварювальному ланцюзі. Рідкий шлак нагрівається при проходженні електричного струму. Плавленням електродного дроту 3, пластини або спеціального мундштука, що подаються до зварювальної ванни 4, забезпечується теплота перегрітого (до 2000°C) шлаку. Частина теплоти витрачається також на оплавлення кромки 6 зварювальних металів 1.



1 — зварюваний метал, 2 — шлакова ванна, 3— електродний дріт, 4 — металева ванна, 5 — зварювальний шов, 6 — величина зварювального струму (I)

Рисунок 5.1 - Схема електрошлакового зварювання

Процес ЕШЗ можливий при вертикальному розташуванні шва і швидкості зварювання до 5 м/год. Витрати на 1 м шва, порівняно з автоматичним дуговим зварюванням під флюсом, приблизно у 10 разів менші за рахунок підвищення продуктивності (в 20 разів), скорочення витрат флюсу (в 20÷30 разів) і спрощення підготовки кромки. ЕШЗ застосовують для з'єднання товстолистових (понад 20 мм) заготовок, виливків, поковок і злитків чавуну, сталі, сплавів кольорових металів. Зварювальні з'єднання при цьому можуть бути фігурними, криволінійними, змінного перерізу.

При ЕШЗ зварюванні застосовуються в основному плавлені флюси. Кращими технологічними властивостями для зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей володіють такі марки флюсів: АН-8, АН-8М, АН-22. Хороші результати при зварюванні вуглецевих сталей дають флюси марок АН-348У і АН-47.

Для зварювання легованих сталей підвищеної міцності типу 25ХНЗМФА, 20Х2М та інших використовують флюс марки АН-9. Леговані й високолеговані сталі зварюються під флюсом марок АНФ-1, АНФ-7, 48-ОФ-6. Хороші результати при зварюванні корозійностійких й вуглецевих сталей отримують при використанні флюсу марки АН-45.

ЕШЗ й наплавлення чавуну виконується на флюсах марок АНФ-14, АН-75. Флюс перед використанням прожарюється при температурі 300–700 °С упродовж 1–2 год.

Наплавлений метал при ЕШЗ формується за допомогою водоохолоджуючих кристалізаторів або мідних підкладок. Часто використовують замкові з'єднання.

Розглянутий спосіб зварювання (наплавлення) володіє цілим рядом переваг:

- високою стійкістю процесу (що мало залежить від роду струму) і нечутливістю до короточасних змін струму й навіть його переривання;
- високою продуктивністю;
- значною економічністю процесу (на плавлення рівної кількості

електродного металу електроенергії затрачається на 15-20 % менше, ніж при дуговому зварюванні);

– виключенням необхідності підготовки поверхні, що зварюється або наплавляється;

– високим захистом зварювальної ванни від повітря;

– можливістю одержати за один прохід наплавленої поверхні теоретично будь-яку товщину;

– можливістю наплавлення без особливих перешкод чавуну, кольорових металів і сплавів й інших матеріалів, що погано зварюються.

До недоліків варто віднести:

– можливість формування наплавлених поверхонь тільки у вертикальному положенні;

– неприпустимість переривання процесу до закінчення зварювання;

– необхідність виготовлення технологічного оснащення, що формує шов;

– грубозернисту структуру металу шва й зони термічного впливу.

Як джерела живлення при ЕШЗ використовують трансформатори (ТШС-1000-1, ТШС-1000-3, ТШС-3000-1, ТШС-3000-3, ТШС-10000-1 й ін.), перетворювачі (ПГС-500, ПСМ-1000, ПС-1000), випрямлячі (ВС-600, ВС-1000, ВКСМ-1000-1, ВДМ-3001, ВДМ1601, ВМГ-5000 й ін.). Характеристики апаратів і джерел живлення наведені в додатку А, таблиця А.8.

Розрахунок основного часу при електрошлаковому зварюванні

Зварювальний струм розраховується за формулою, А,

$$I_{зв} = A + B \frac{S}{n_e}, \quad (5.1)$$

де A – стала величина, $A=220 \div 280$;

B – стала величина, $B = 2 \div 4$;

S – товщина наплавленого шару, мм;

n_e – кількість електродів.

Швидкість подачі електродного дроту розраховується залежно від величини зварювального струму за формулою, м/с,

$$V_{el} = \frac{I_{зв}}{(2,2-1,6)}, \quad (5.2)$$

Величина напруги на шлаковій ванні розраховується за формулою, В,

$$U_{ш} = 12 + \sqrt{125 + \frac{S}{0,075} \cdot n_e}, \quad (5.3)$$

Швидкість наплавлення визначається за формулою, м/с,

$$V_n = \frac{n_e \cdot \alpha_n \cdot I_{зв}}{p \cdot h \cdot S \cdot K_y}, \quad (5.4)$$

де h – ширина шару, що наплавляється, мм;

α_n – коефіцієнт наплавлення, $\alpha_n = 25 \div 30$ г/А·год;

K_y – коефіцієнт форми шва, $K_y = 1,05 \div 1,1$.

Маса наплавленого металу визначається за формулою, г,

$$G_n = V_n \cdot \gamma, \quad (5.5)$$

де V_n – об'єм наплавленого металу, см³.

Витрата зварювального дроту визначається за формулою, м,

$$G_{np} = G_n (1 + \psi), \quad (5.6)$$

де ψ – втрати на вигар і розбризування, $\psi = 0,02 \div 0,03$.

Витрата флюсу приймається 0,2÷0,3 кг на погонний метр шва незалежно від товщини металу.

Основний час горіння дуги, повний час зварювання (наплавлення) і витрата електроенергії визначаються за формулами (4.5), (4.6), (4.8).

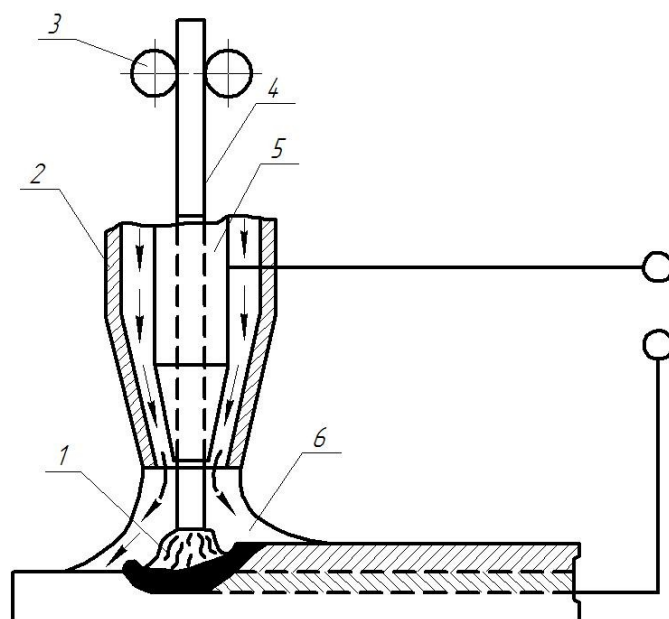
Технічні характеристики апаратів для електрошлакового зварювання наведені в додатку А, таблиця А.8.

6 ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ У СЕРЕДОВИЩІ

ЗАХИСНИХ ГАЗІВ

При зварюванні (наплавленні) в захисній атмосфері зварювальну дугу, основний метал і електрод захищають в атмосфері газу в камері або струменем газу, який подають до місця зварювання спеціальним пальником. Для зварювання використовують плавкі й неплавкі (вуглець, вольфрам) електроди, постійний і змінний струм прямої (мінус на електроді) й зворотної полярності. Захисні атмосфери можуть бути інертними (аргон, гелій) або активними (вуглекислий газ, азот, водень). Оскільки інертні гази не взаємодіють з металом і не розчиняються в ньому, хімічний склад шва і зварюваного металу однаковий, що забезпечує високу якість зварювальних з'єднань. Інертні гази застосовують для зварювання легованих сталей і сплавів на основі *Ti*, *Cr*, *Al*, *Mn* завтовшки 0,1÷100 мм. Найпоширенішим є аргонодугове зварювання неплавким вольфрамовим електродом. Частіше застосовують дугу постійного струму прямої полярності. Завдяки цьому значна більшість теплоти дуги витрачається на розплавлення основного металу. Проте дуга зворотної полярності має дуже важливу властивість — здатність очищати поверхню металу від окисних і нітридних плівок та інших забруднень. Відбувається це очищення тому, що у зоні катодної плями на поверхні виробу завдяки катодному розпиленню під дією бомбардування позитивними іонами руйнуються оксидна та нітридна плівки та видаляються інші забруднення. Цю властивість дуги зворотної полярності використовують для зварювання (на змінному струмі електродом, що не плавиться) алюмінію, магнію та інших сплавів, поверхня яких вкрита тугоплавкою плівкою окислів і нітридів, що не розплавляються і тим самим перешкоджають з'єднанню кромek зварюваних елементів. Змінний струм дає змогу в одному з напівперіодів очищати поверхню, а в іншому — розплавляти основний метал і зменшувати нагрів вольфрамового електрода.

При зварюванні (наплавленні) у середовищі вуглекислого газу (рисунок 6.1) з сопла пальника 2 витікає струмінь захисного газу 6, який витісняє повітря зі зварювальної ванни, в яку входить електродний дріт 4, що вступає в зону горіння дуги.



1 - електрична дуга; 2 - газове сопло; 3- ролики, що подають;
4 - електродний дріт; 5 - струмопідвідний мундштук; 6 - захисний газ

Рисунок 6.1 - Дугове зварювання в захисному газі електродом, що плавиться

Якісні з'єднання низки сплавів одержують також і в середовищі активних газів, які взаємодіють з металом зварювальної ванни. Тому більшість марок конструкційних сталей зварюють у середовищі вуглекислого газу. Надходячи в зону високих температур дуги, він частково дисоціює з виділенням атомарного кисню. Для захисту від окислення застосовують зварювальний дріт з підвищеним вмістом *Si* і *Mn* (1÷2%), які відновлюють оксиди заліза. При цьому продукти реакції спливають на поверхню шва у вигляді шлаку. Під час такого зварювання найчастіше використовують дугу зворотної полярності.

У разі зварювання в захисній атмосфері об'єм ванни невеликий і вона швидше охолоджується. Це дає змогу, на відміну від зварювання під флюсом, здійснювати процес у вертикальному та перевернутому положеннях, що дуже важливо при зварюванні встик автоматичною зварювальною головкою.

Отже, при зварюванні й наплавленні в середовищі CO_2 необхідно передбачати заходи щодо розкислення металу, що наплавляється.

Це завдання вирішується використанням зварювальних дротів діаметром 0,8-2 мм, до складу яких входять елементи-розкислювачі. Найчастіше це кремній (0,6-1,0 %) і марганець (1-2 %). При наявності

таких компонентів розкислення окислів заліза відбувається за реакціями $2FeO+Si\rightarrow SiO_2+2Fe$ і $FeO+Mn\rightarrow MnO+Fe$.

Утворювані в процесі розкислення окиси кремнію й марганцю спливають на поверхню зварювальної ванни й після кристалізації металу видаляються.

Найбільшого поширення при зварюванні в середовищі CO_2 набули електродні дроти Св-08ГС, Св-08Г2С, СВ-10ГС, Св-18ХГС та ін.

Крім дротів суцільного перерізу, часто використовуються порошкові дроти типу ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-3Х2В8Т та ін.

Якщо у зварювальному дроті немає достатньої кількості розкислювачів, то зварювання супроводжується більшим розбризуванням металу, наявністю в ньому пор після кристалізації, великою ймовірністю утворення тріщин у наплавленому шарі.

Зварювання в середовищі CO_2 має ряд переваг:

- мінімальну зону структурних змін металу при високому ступені концентрації дуги й щільності струму;
- більший ступінь захисту зварювальної ванни від впливу зовнішнього середовища;
- істотну продуктивність;
- можливість спостереження за формуванням шва;
- можливість зварювати метал різної товщини (від десятих часток до десятків міліметрів), виконувати зварювання в різних просторових положеннях, механізувати, автоматизувати технологічний процес;
- незначну чутливість до іржі й інших забруднювачів основного металу.

Однак при виборі даного способу зварювання й наплавлення необхідно знати і його недоліки:

- сильне розбризування металу при струмі більше 500 А, що вимагає постійного захисту й очищення сопла пальника;
- інтенсивне випромінювання відкритої потужної дуги, що потребує захисту зварника;
- необхідність охолодження пальника при значних струмах;
- здійснення зварювання практично тільки на постійному струмі;
- наявність спеціального дроту.

Технічні характеристики напівавтоматів для зварювання в

захисних газах наведені в додатку А, таблиця А.7.

Розрахунок основного часу при зварюванні та наплавленні у вуглекислому газі дротом суцільного перерізу

В основу вибору діаметра електродного дроту покладені ті ж принципи, що й при виборі діаметра електрода при ручному дуговому зварюванні (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1- Вибір діаметра електродного дроту в залежності від товщини металу

Товщина металу, мм	0,6-1	1,2-2	3-4	5-8	9-12	13-18
Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,5-0,8	0,8-1	1-1,2	1,6-2	2	2-2,5

Розрахунок зварювального струму при зварюванні дротом суцільного перерізу виконується за формулою, А ,

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot \alpha}{4}, \quad (6.1)$$

де α - щільність струму в електродному дроті, при зварюванні в CO_2
 $\alpha=10\div 130$ А/мм²;

d_e – діаметр електродного дроту, мм.

Механізовані способи зварювання дозволяють застосовувати значно більші щільності струму в порівнянні з ручним зварюванням. Це забезпечується меншою довжиною вильоту електрода (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2- Рекомендовані значення вильоту електродного дроту в залежності від його діаметра

Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5
Виліт електрода L, мм	6-12	7-13	8-15	13-20	15-20	15-30

Напруга дуги і витрата вуглекислого газу вибираються в залежності від сили зварювального струму (таблиця 6.3).

Таблиця 6.3 - Залежність напруги і витрати вуглекислого газу від сили зварювального струму

Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,8	1	1,2	1,4	1,6	2,0
Напруга дуги, В	17÷22	19÷24	20÷27	20÷31	21÷34	23÷37
Витрата CO ₂ , л/хв	8÷10	8÷10	9÷10	15÷16	15÷16	18÷20

При зварювальному струмі 200÷250 А довжина дуги повинна бути в межах 1,5 ÷ 4,0 мм.

Швидкість подачі електродного дроту розраховується за формулою, м/с,

$$V_{nd} = \frac{4\alpha_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_e^2 \cdot \gamma}, \quad (6.2)$$

де α_p – коефіцієнт розплавлення дроту, г/А·год;

d_e – діаметр електродного дроту, мм;

γ - щільність наплавленого металу, 0,0078 г/мм³.

Значення α_p розраховується за формулою, г/А·год,

$$\alpha_p = 3 + 0,08 \cdot \frac{I_{зв}}{d_e}, \quad (6.3)$$

Швидкість зварювання (наплавлення) розраховується за формулою, м/с,

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_6 \cdot \gamma}, \quad (6.4)$$

де α_n - коефіцієнт розплавлення дроту, г/А·год;

F_6 – площа поперечного перерізу одного валика, при зварюванні в CO_2 $F_6 = 30 \div 70 \text{ мм}^2$;

γ – щільність наплавленого металу, для сталі $\gamma = 0,0078 \text{ г/мм}^3$.

Значення α_n розраховують за формулою

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi), \quad (6.5)$$

де ψ – коефіцієнт втрат металу на вигар і розбризування, при зварюванні в CO_2 $\psi = 0,1 \div 0,15$.

Маса наплавленого металу при зварюванні та наплавленні розраховується за формулами (4.3) і (4.4).

Витрата електродного дроту розраховується за формулою, г,

$$G_{np} = G_n (1 + \psi), \quad (6.6)$$

де G_n - маса наплавленого металу, г;

ψ - коефіцієнт втрат, $\psi = 0,1 \div 0,15$.

Основний час горіння дуги, повний час зварювання (наплавлення) і витрата електроенергії визначаються за формулами (4.5), (4.6), (4.8).

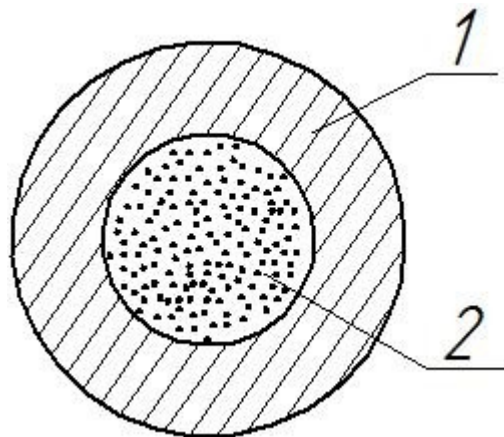
Довідкові відомості про устаткування для зварювання в CO_2 наведені в додатку А, таблиці А.4; А.5 і А.7.

7 ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ САМОЗАХИСНИМ ПОРОШКОВИМ ДРОТОМ

Зварювання під флюсом виконувати складно, воно обмежене положенням шва в просторі (переважно нижнє) і неможливістю спостереження за його формуванням. При зварюванні в захисних газах може порушуватися надійність захисту зварювальної ванни через рух повітря й залипання газового сопла бризками.

Зварювання порошковими самозахисними дротами виключає зазначені недоліки й поєднує у собі позитивні боки автоматизованих і ручних способів зварювання.

Сутність та схема зварювання аналогічні зварюванню в середовищі захисних газів (рисунок 7.1).



1 – оболонка; 2 – порошкоподібний сердечник

Рисунок 7.1 - Конструкція порошкового дроту

Відмінність полягає у відсутності захисного газу, функції якого виконує сердечник порошкового дроту при своєму згорянні. Дріт (рисунок 7.1) складається з оболонки 1, сформованої зі стрічки холодного прокату марки 08КП або 10КП товщиною 0,2 – 1,0 мм і шириною 8 – 20 мм методом профілювання або волочіння. Усередині оболонки перебуває порошкоподібний сердечник 2, що включає елементи, які виконують при зварюванні такі ж функції, як флюс або обмазка електродів. Така конструкція дроту визначає деякі особливості її застосування.

Порошок сердечника на 50 – 70 % складається з неметалічних, неелектропровідних матеріалів. У зв'язку з цим дуга горить, переміщуючись по металевій оболонці, і розплавляє її. При цьому плавлення сердечника може відставати від плавлення оболонки, що не виключає часткового переходу його у зварювальну ванну в нерозплавленому стані та створює передумови до утворення в металі шва пор і неметалічних включень.

У цей час випускаються дроти більших діаметрів (до 3 мм і більше), при зварюванні яких потрібен струм значної сили, що ускладнює зварювання у вертикальному й стельовому положеннях.

Дроти з рутіловим покриттям органічного типу (наприклад, ПП-АН1, ПП-2ДСК й ін.) мають задовільні зварювально-технологічні властивості, мало чутливі до зміни напруги дуги. Однак зварювання при великому струмі підвищеної швидкості може привести до утворення на швах підрізів. Виліт електрода для цього дроту повинен бути в межах 15-20 мм.

Порошкові дроти карбонатно-флюоритового типу (ПП-АН3, АП-АН7, ПП-АН11, СП-2 й ін.) дуже чутливі до зміни напруги на дузі й особливо до забруднення кромки. Для надійного збудження й горіння дуги, для виключення пор у швах виліт електрода повинен установлюватися в межах 25-30 мм.

Вологий сердечник, який може виникнути при зберіганні дроту, може привести до появи раковин у шві. Для попередження цього дрот варто прожарювати при температурі 230-250°C упродовж 2-3 год. Однак варто мати на увазі, що після прожарювання зменшується міцність дроту, а це вимагає ретельного настроювання механізму його подачі.

У таблицях 7.1 та 7.2 наведені технічні характеристики деяких типів зварювального й наплавлювального самозахисного порошкового дротів, що рекомендують при ремонті вагонів. Роботи виконуються постійним струмом зворотної полярності.

Таблиця 7.1 – Технічні характеристики зварювального порошкового дроту

Марка дроту	Діаметр дроту, мм	Положення зварювання	Механічні властивості наплавленого металу			Температура, до якої забезпечується необхідна ударна в'язкість, °С
			σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ , %	
ПП-АН3	2,8; 3,0	Нижнє	500-600	≥ 440	≥ 20	-20
ПП-АН7	2,4	Нижнє, горизонтальне	500-600	≥ 440	≥ 20	-20
ПП-АН11	2,0	Нижнє, горизонтальне, вертикальне	450-600	≥ 390	≥ 22	-20
ПП-АН45	2,5		450-600	≥ 390	≥ 22	-30
СП-3	2,2-2,6		500-600	≥ 440	≥ 20	-20
ППТ-7М	2,2		500-650	≥ 440	≥ 20	-20
СП-9	2,8		600-750	≥ 540	≥ 18	-10

Таблиця 7.2 - Технічні характеристики наплавлювального порошкового дроту

Марка дроту	Діаметр дроту, мм	Твердість наплавленого металу (другий і наступний шари)	Призначення
ПП-Нп-14ст	3,0	НВ 240-260	Для відновлення деталей з вуглецевих сталей, що працюють в умовах тертя металу об метал
ПП-Нп-90ПЗН4	2,8	НВ 160-240	Для відновлення деталей, що зазнають ударних навантажень, відновлення розмірів, усунення вад лиття з марганцевистої сталі
ПП-Нп-30Х5М2СМ	2,6	HRC 50-56	Для відновлення деталей, що працюють в умовах тертя металу об метал, при знакозмінних й ударних навантаженнях (сталеві колінчаті вали, хрестовини карданних валів, ролики тощо)
ПП-Нп-200Х15С1ГТР	3,2	HRC 50-56	Для відновлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування
ПП-Нп-30Х5М2СМ	2,0	HRC 42-48	Відновлення деталей, що працюють в умовах тертя металу об метал в окисному середовищі (колінчаті вали двигунів, хрестовини карданних валів і диференціалів)
ПП-Нп-50Х10В8С2Т	3,2	HRC 50-58	Для відновлення деталей, що працюють в умовах абразивного зношування з ударними навантаженнями

Розрахунок основного часу при зварюванні та наплавленні порошковим самозахисним дротом

Зварювальний струм, напруга дуги, швидкість подачі й виліт електродного дроту приймаються за таблицями 7.3 і 7.4.

Таблиця 7.3 - Режими зварювання самозахисними порошковими дротами

Товщина деталі, мм	Параметри режиму			
	I , А	U , В	$U_{др}$, м/год	Виліт дроту, мм
Порошкові дроти ПП-АН1, $d_э=2,8$; $\alpha_n=13$ г/А·ч				
3-6	200-240	24-25	100	15-20
8-12	250-300	25-27	120	20-25
14-20	300-350	26-28	170	20-25
Порошкові дроти ПП-АН-3, $d_e=3$ мм; $\alpha_n=13-17$ г/А·год				
5-10	360-380	25-28	140	15-20
10-15	420-450	26-29	170	20-25
15-25	460-490	29-32	210	25-30

Таблиця 7.4 - Режими наплавлення для дротів марки ПП-ТН250, ПП-ТН350, $d_{др}=3$ мм

I , А	U , В	$U_{др}$, м/год	Виліт дроту, мм	Коефіцієнт наплавлення α , г/А·год
310-330	28-30	126	50	14,6
400-420	30-32	200	60	17,3

Маса наплавленого металу визначається за формулою, г,

$$G_n = V_n \cdot \gamma, \quad (7.1)$$

Витрата порошкового дроту визначається за формулою, м,

$$G_{др} = G_n \cdot K, \quad (7.2)$$

де K - коефіцієнт, що враховує конструкцію дротів, $K = 1,25 \div 1,35$.

Основний час горіння дуги, повний час зварювання (наплавлення) і витрата електроенергії визначаються за формулами (4.5), (4.6), (4.8).

Технічні характеристики апаратів для автоматичного й напівавтоматичного зварювання порошковим дротом наведені в додатку А, таблиці А.6 і А.7.

8 ГАЗОВЕ ЗВАРЮВАННЯ

Основний і присадний метали під час газового зварювання розплавляються теплом газового полум'я, яке одержують від згорання горючого газу в суміші з киснем. *Газовим різанням* називають процес спалювання металів у струмені кисню. Найчастіше паливом є ацетилен (C_2H_2), іноді — водень, нафтові гази, пари бензину або гасу. При спалюванні ацетилену досягають найвищої температури $3200^\circ C$. Одержують ацетилен у спеціальних генераторах при взаємодії карбїду кальцію (CaC_2) з водою. З 1 кг карбїду утворюється приблизно 300 л ацетилену.

Основний інструмент газового зварювання – пальник призначений для змішування у певних пропорціях газу та кисню. За принципом дії пальники поділяють так:

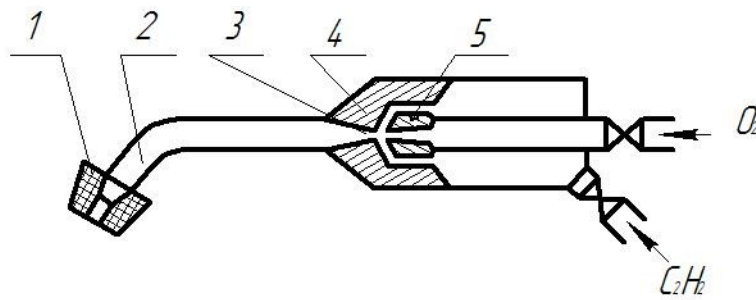
- інжекторні низького тиску (за тиском ацетилену);
- безінжекторні рівного тиску (за тиском ацетилену та кисню).

Розрізняють також одно- і багатополуменеві пальники.

Найпоширенішим є інжекторно-зварювальний пальник (рисунок 8.1), під час роботи якого кисень з балона надходить до інжектора 5 і зі значною швидкістю витікає з конусного отвору інжектора, що сприяє створенню розрядження в камері 4. За рахунок цього ацетилен, що подається при низькому залишковому тиску $0,001 \div 0,005$ МПа, засмоктується до камери змішування 3, утворюючи суміш, яка надходить до наконечника 2 і при виході з мундштука 1 підпалюється.

Поширеним способом з'єднання елементів при газовому зварюванні є зварювання в стик. Метод газового зварювання забезпечує плавне нагрівання і повільне охолодження виробів. Застосовують його для ремонтних робіт, при виготовленні виробів зі сталі й сплавів кольорових металів, для наплавлення тощо.

При зварюванні сталі газове полум'я відповідає співвідношенню $O_2/C_2H_2 = 1$, при зварюванні латуні використовують окислювальне полум'я ($O_2/C_2H_2 > 1$), при зварюванні чавунів і кольорових металів — насичене вуглецем полум'я ($O_2/C_2H_2 < 1$). Крім цього, для зварювання кольорових металів використовують флюси.



1 - мундштук; 2 - наконечник; 3 - камера змішування;
4- камера розрядження; 5- інжектор

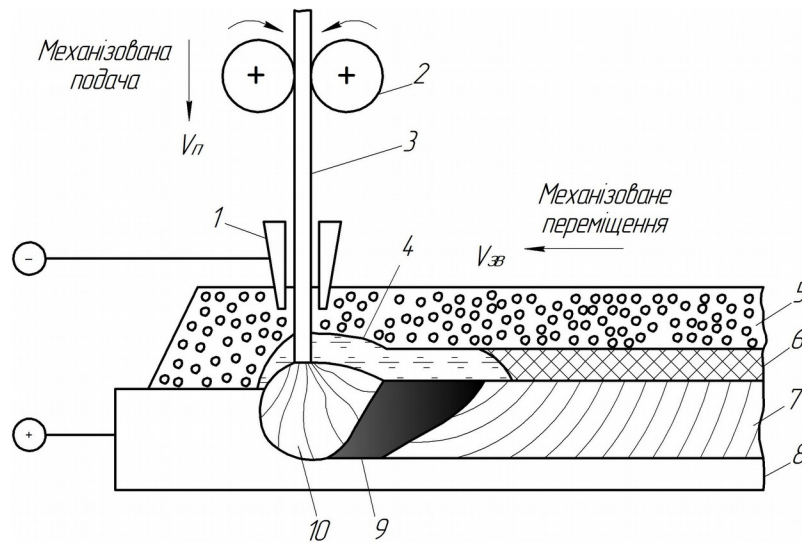
Рисунок 8.1 - Схема інжекторно-зварювального ацетиленового пальника

9 АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ШАРОМ ФЛЮСУ

Основним сучасним видом зварювання при виготовленні відповідальних конструкцій вагонів є дугове зварювання під шаром флюсу. Характерні риси цього виду зварювання полягають у такому:

- зварювання ведеться непокритим електродним дротом;
- захист дуги й зварювальної ванни здійснюється флюсом;
- переміщення електрода у вертикальному напрямку й уздовж звареного шва механізовані.

Автоматичне зварювання під флюсом (рисунок 9.1) доцільно застосовувати для виконання кільцевих, прямолінійних, стикових і кутових швів довжиною 0,8 м і більше на металі товщиною 3-100 мм із вільним входом і виходом зварювальної головки для початку й кінця шва.



- 1 – струмопровід; 2 – ролики; 3 – електродний дріт; 4 – ванна рідких шлаків; 5 – гранульований флюс; 6 – вугільна шкірка;
7 – зварювальний шов; 8 – основний метал; 9 – ванна рідкого металу;
10 – дуга

Рисунок 9.1 – Схема автоматичного зварювання під флюсом

Дуга горить між електродним дротом і основним металом. Стовп дуги й зварювальна ванна закриті шаром флюсу товщиною 30–50 мм. Частина флюсу розплавляється, утворюючи ванну рідких шлаків. При поступальному русі електрода поступово відбувається затвердіння зварювальної й вугільної ванн, утворення звареного шва, покритого твердою вугільною шкіркою, що згодом легко відділяється від наплавленого металу.

Нерозплавлений у процесі зварювання флюс пневматичним пристроєм відсмоктується зі шва й використовується надалі при зварюванні.

При зварюванні під флюсом до електродного дроту ставляться жорсткі вимоги за хімічним складом, чистотою поверхні й калібруванням його перетину. Відхилення розмірів дроту за діаметром порушують роботу роликів автоматичної головки й погіршують якість шва.

Зварювання під флюсом можна здійснювати змінним і постійним струмом. Перевага повинна бути віддана зварюванню при постійному струмі, що забезпечує, як правило, високу якість зварених швів. Високолеговані корозійно-стійкі сталі зварюють при постійному струмі зворотної полярності.

Устаткування для зварювання — це зварювальні автомати, які повинні мати:

- механізм подачі електродного дроту в зону дуги (автоматична головка);

- механізм переміщення головки або механізм переміщення виробів.

Зварювальний автомат, у якого головка закріплена на самохідному візку, що має самостійний привод, називають *зварювальним трактором*.

Крім автоматичного зварювання, під шаром флюсу є *напівавтоматичне зварювання*. Воно відрізняється від автоматичного тим, що переміщення електродного дроту уздовж шва виконується вручну. Застосовується для коротких і перервних швів, а також криволінійних, які не можна заварити автоматичним зварюванням.

Через те, що обсяг зварювальної ванни досить великий (1000–2000 мм³, а при ручному дуговому 100–200 мм³), для запобігання стіканню рідкого металу й флюсу зварювання цими способами здійснюється тільки в нижньому положенні, тобто коли шов розташовується в горизонтальній площині або при дуже невеликих нахилах листів, що зварюються, як правило, не більше 7 градусів.

Особливість зварювання під флюсом дає можливість глибокого проплавлення основного металу. Тому при зварюванні під флюсом метал великої товщини можна зварювати без оброблення кромки, але із застосуванням обов'язкового зазора між листами.

Важливе значення має якість складання деталей для зварювання, для цього необхідно забезпечити:

- постійну величину зазора за всією довжиною шва;
- захист зворотного боку шва від витікання металу із зазора.

Переваги автоматичного зварювання під флюсом:

- хороший й порівняно дешевий захист розплавленого металу від впливу атмосферного повітря;

- продуктивність при автоматичному зварюванні під флюсом у порівнянні з ручним дуговим збільшується в 5 – 25 разів за рахунок збільшення швидкості зварювання з 2 до 30 м/год;

- збільшення сили зварювального струму в результаті відсутності застережень щодо розбризкування металу;

- більш низька витрата електродного металу внаслідок зменшення частки електродного металу в утворенні шва (з 70 до 30 %), зниження втрат на вигар, розбризкування й недогарки;

– не потрібно захищати очі від світлового випромінювання й не потрібна кваліфікована робоча сила.

Недоліки автоматичного зварювання під флюсом:

- можливість зварювання тільки в нижньому положенні;
- необхідність більш ретельної (у порівнянні з ручним зварюванням) підготовки кромки і більш точного складання деталей під зварювання;
- неможливість зварювання стикових швів у висячому положенні, тобто без підкладки або попереднього підварювання кореня шва.

Розрахунок основного часу при зварюванні та наплавленні під флюсом дротом суцільного перерізу

В основу вибору діаметра електродного дроту покладені ті ж принципи, що й при виборі діаметра електрода при ручному дуговому зварюванні (таблиця 9.1).

Таблиця 9.1 – Вибір діаметра електродного дроту в залежності від товщини металу

Товщина металу, мм	0,6-1	1,2-2	3-4	5-8	9-12	13-18
Діаметр електродного дроту d_e , мм	0,5-0,8	0,8-1	1-1,2	1,6-2	2	2-2,5

Розрахунок зварювального струму виконується за формулою, А,

$$I_{зв} = \frac{\pi \cdot d_e^2 \cdot \alpha}{4}, \quad (9.1)$$

При зварюванні для більш глибокого проплавлення рекомендується використовувати високі значення щільності струму в електродному дроті ($\alpha \geq 40 \div 50$ А/мм²), а при наплавленні для зниження глибини проплавлення приймається $\alpha \leq 30 \div 40$ А/мм². Діаметр електродного дроту бажано вибирати таким, щоб він забезпечив максимальну продуктивність зварювання (наплавлення) при необхідній глибині проплавлення.

Залежність напруги дуги від сили зварювального струму (флюс АН-348А) наведена в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Залежність напруги дуги від сили зварювального струму (флюс АН-348А)

Сила зварювального струму, А	180÷300	300÷400	500÷600	600÷700	700÷850	850÷1000
Напруга дуги, В	32÷34	34÷36	36÷40	38÷40	40÷42	41÷43

Наплавлення рекомендується виконувати при постійному струмі прямої полярності.

Виліт електродного дроту приймається 30÷60 мм, при цьому більш високі його значення відповідають більшому діаметру дроту й силі струму.

Швидкість подачі електродного дроту визначається за формулою, м/с,

$$V_{n \partial} = \frac{4\alpha_p \cdot I_{зв}}{\pi \cdot d_{др}^2 \cdot \gamma}, \quad (9.2)$$

де $d_{др}$ – діаметр електродного дроту, мм.

Коефіцієнт розплавлення дроту суцільного перерізу при зварюванні під флюсом визначається за формулами:

- для змінного струму

$$\alpha_p = 7 + 0,04 \cdot \frac{I_{зв}}{d_{нр}}; \quad (9.3)$$

- для постійного струму прямої полярності

$$\alpha_p = 2 + \sqrt{\frac{I_{зв}}{d_{нр}}}, \quad (9.4)$$

для постійного струму зворотної полярності $\alpha_p = 10 \div 12$ г/А·год.

Швидкість зварювання визначається за формулою, м/с,

$$V_{зв} = \frac{\alpha_n \cdot I_{зв}}{100 \cdot F_в \cdot \gamma}. \quad (9.5)$$

Коефіцієнт наплавлення розраховується за формулою , г/А·год,

$$\alpha_n = \alpha_p \cdot (1 - \psi), \quad (9.6)$$

де ψ – коефіцієнт витрат металу на вигар і розбризування, $\psi = 0,02 \div 0,03$.

Маса наплавленого металу визначається за формулою, г,

$$G_n = V_n \cdot \gamma. \quad (9.7)$$

Об'єм наплавленого металу визначається з виразу, мм³,

$$V_n = F_n \cdot h, \quad (9.8)$$

де F_n – площа наплавленої поверхні, мм²,

h – висота наплавленого шару, мм.

Витрата зварювального дроту визначається за формулою, г,

$$G_{др} = Q_n (1 + \psi), \quad (9.9)$$

де ψ – коефіцієнт втрат на вигар і розбризування.

Витрата флюсу визначається за формулою, г/пог. м,

$$G_{ф} = \frac{(U_{д} - 1,8) \cdot 780}{V_{зв}}. \quad (9.10)$$

Основний час горіння дуги, повний час зварювання (наплавлення) і витрата електроенергії визначаються за формулами (4.5), (4.6), (4.8).

Марки флюсу і товщина шару флюсу наведені в таблиці 9.3.

Таблиця 9.3 – Товщина шару флюсу залежить від сили зварювального

струму

Зварювальний струм, А	200÷400	400÷800	800÷1200
Товщина шару флюсу, мм	25÷35	35÷45	45÷60

Залежність сили зварювального струму і його щільності на глибину проплавлення наведена в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 – Вплив сили зварювального струму і його щільності на глибину проплавлення при автоматичному зварюванні під флюсом

Діаметр електродного дроту, мм		Глибина проплавлення, мм					
		3	4	5	6	8	10
1	Сила зварювального струму, А	200	300	350	400	500	600
	Щільність струму, А/мм ²	64	104	127	143	157	200
2	Сила зварювального струму, А	300	350	400	500	625	750
	Щільність струму, А/мм ²	43	50	57	71	89	107
3	Сила зварювального струму, А	375	425	500	550	675	800
	Щільність струму, А/мм ²	29	36	40	44	53	64
4	Сила зварювального струму, А	450	500	550	600	725	825
	Щільність струму, А/мм ²	23	26	28	31	37	42

Технічні характеристики апаратів для автоматичного зварювання (наплавлення) під флюсом наведені таблиці А.8 додатка А.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Бабенко, Э. Г. Расчет режимов электрической сварки и наплавки [Текст]: Метод. пособие / Э. Г. Бабенко, Н. П. Казанова. – Хабаровск : 1999. – 54 с.

2 Борзилов, І. Д. Технологія технічного обслуговування та ремонту вагонів: [Текст]: підруч. / І. Д. Борзилов. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – Т. 1. – 246 с.

3 Борзилов, І. Д. Основи експлуатації та відновлення вагонів [Текст]: консп. лек. / І. Д. Борзилов, В. Г. Равлюк, К. В. Шевченко. – Харків : УкрДАЗТ, 2009. – 66 с.

4 Кулагин, Н. Н. Нормирование труда на железнодорожном транспорте [Текст] : учебник / Н. Н. Кулагин. :– 5–е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1985. – 320 с.

5 Мотовилов, К. В. Технология производства и ремонта вагонов [Текст]: учебник / К. В. Мотовилов, В. С. Лукашук, В. Ф. Криворудченко, А. А. Петров; под общ. ред. К. В. Мотовилова. – М.: Маршрут, 2003. – 382 с.

6 Шляпин, В. Б. Ремонт сваркой узлов и деталей железнодорожного подвижного состава [Текст]: учебник / В. Б. Шляпин, Н. П. Емельянов, М. М. Крайчик. – М. : Транспорт, 1975. – 296 с.

7 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення [Текст]: метод. вказ. / Є. В. Коновалов, Л. М. Козар. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 36 с.

8 Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті пасажирських вагонів [Текст] : ЦЛ–0026: – Затв. нак Укрзалізниці №352 –Ц. 12.07.01. – Вид. офіц. – К., 2001. – 412 с.

9 Інструкція по зварюванню та наплавленню при ремонті вантажних вагонів та контейнерів [Текст]: ЦВ–0019: – Затв. нак Укрзалізниці №272 –Ц 06.11.98. – Вид. офіц. – К., 2001. – 296 с.

10 Інструкція оглядачу вагонів [Текст]: ЦВ-0043: - Затв. нак. Укрзалізниці №737-Ц від 28.12.01. – Вид. офіц. - К., 2002. – 186 с.

11 Коган, Г. Е. Ручная дуговая сварка металлов [Текст]: учебник / Г. Е. Коган. – М. : Транспорт, 1961. – 284 с.

12 Завдання та методичні рекомендації до виконання самостійної (контрольної) роботи з дисципліни «Основи експлуатації та відновлення вагонів» [Текст]: метод. вказівки / В. Г. Равлюк. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 53 с.

ДОДАТОК А (обов'язковий)

Таблиця А.1 - Технічні характеристики трансформаторів для ручного дугового зварювання з падаючими зовнішніми характеристиками

Найменування параметра	ТД-300	ТД-500	ТД-502	ТД-102	ТД-306
1 Кліматичне виконання, категорія розміщення	У2; Т2	У2; Т2	У3	У2	У2
2 Режим роботи ПН, %	60	60	60	20	30
3 Номінальний зварювальний струм, А	315	500	500	160	250
4 Межі регулювання зварювального струму, А	0-365	100-560	100-560	55-175	90-300
5 Номінальна робоча напруга, В	32	40	40	26,4	30
6 Первинна потужність, кВА	20,5	32	26,5	11,4	19,4
7 ККД, %, не менше	88	85	85	72	72
8 Габаритні розміри (довжина, висота, ширина), мм	620×692×710	570×720×835	780×720×835	290×435×535	370×630×585
9 Маса, кг, не більше	140	210	240	38	71

Таблиця А.2 - Технічні характеристики зварювальних трансформаторів ТДФ із падаючими зовнішніми характеристиками

Найменування параметра	ТДФ-1001	ТДФ-1601
1 Кліматичне виконання, категорія розміщення	У3; Т3	У4
2 Нижня температура навколишнього середовища, °С	-10	+1
3 Номінальний зварювальний струм, А	1000	1600
4 Межі регулювання: - зварювального струму, А - робочої напруги, В	400-1200 36-44	600-1800 50-60
5 Напруга холостого ходу, В не більше	80	110
6 Первинна потужність, кВт	82	182
7 Напруга мережі, В	220, 380	380
8 ККД, %	87	88
9 Габаритні розміри, мм	830×1200×1200	830×1200×1200
10 Маса, кг не більше	720	1000

Таблиця А.3 - Технічні характеристики зварювальних випрямлячів із падаючими зовнішніми характеристиками

Найменування параметра	ВД – 306	ВД – 501
1 Кліматичне виконання, категорія розміщення	У3; Т3	У3
2 Тривалість циклу зварювання, хв	5	10
3 Номінальний зварювальний струм, А	315	500
4 Межі регулювання зварювального струму, А	45-315	50-500
5 Номінальна робоча напруга, В	32,6	40
6 Напруга холостого ходу, В, не більше	70	80
7 Первинна потужність кВт, не більше	21	42
8 КПД, % не більше	70	69
9 Габаритні розміри, мм	765×735×772	550×805×1062
10 Маса кг, не більше	170	370

Таблиця А.4 - Технічні характеристики зварювальних випрямлячів ВДГ із жорсткими зовнішніми характеристиками

Найменування параметра	ВДГ – 302	ВДГ – 601
1 Кліматичне виконання, категорія розміщення	У3; Т3	У3,Т4
2 Номінальний зварювальний струм, А	315	630
3 Межі регулювання: - зварювального струму, А - робочої напруги, В	50-315 16-38	100-700 18-66
4 Номінальна робоча напруга, В	38	66
5 Напруга холостого ходу, В	55	90
6 Первинна потужність, кВт	19	69
7 ККД, %	75	82
8 Габаритні розміри, мм	748×1045× 953	900×1250×1125
9 Маса, кг	275	570

Таблиця А.5 - Характеристики зварювальних випрямлячів серії ВДУ із жорсткою й падаючою зовнішньою характеристиками

Найменування параметра	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДУ-1201	ВДУ-1601
1 Кліматичне виконання, категорія розміщення	У3	У3; Т3	У3; Т3	3
2 Нижня температура навколишнього середовища для виконання У, °С	-40	-40	-30	-30
3 Режим роботи ПВ, %	60	60	тривалий	тривалий
4 Тривалість циклу зварювання, хв	10	10	–	–
5 Номінальний зварювальний струм, А	315	500	1250	1600
6 Межі регулювання: - зварювального струму, А жорсткі падаючі - робочої напруги, В жорсткі падаючі	50-315 20-315 16-38 21-33	100-500 70-500 18-50 23-46	300-1250 - 24-66 26-60	500-1600 600-1600 26-66 30-66
7 Напруга холостого ходу, В не більше	70	80	100	100
8 Первинна потужність, кВт	23	40	120	155
9 Напруга мережі, В	220/380	220/380	380	380
10 КПД, % ,не менш	70	82	83	84
11 Габаритні розміри, мм	634×975×760	1100×800×940	1400×850×1250	1150×900×1850
12 Маса, кг, не більше	240	380	850	950

Таблиця А.6 - Технічні характеристики апаратів для автоматичного зварювання й наплавлення відкритою дугою й під флюсом

Марка апарат	Виконання	Захист зони зварювання або наплавлення	Діаметр дроту (ширина стрічки), мм	Струм зварювання, $I_{зв}$ при ПВ=65%, А	Швидкість подачі електродного дроту $V_{др}$, м/год	Регулювання швидкості подачі дроту	Швидкість зварювання (наплавлення), $V_{зв}$, м/год	Джерело живлення
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Апарати загального застосування для автоматичного зварювання								
АБСК	самохідний	флюс	2,0-6,0	300-1200	28-220	ступеневе	14-110	ТДФ-1001
А1410	те ж	флюс	2,0-5,0	1000	53-532	плавне	12-120	ТДФ1001
А1410	те ж	флюс	2,0-5,0	2000	53-532	плавне	24-240	ТДФ1601
А1412	те ж	флюс	2,0-6,0	2×1600	53-532	плавне	24-240	ТДФ1601
А1416	те ж	флюс	2,0-5,0	1000	47-508	ступеневе	12-120	ВДУ-1001
А1419	те ж	флюс	2,0-6,0	2000	47-508	те ж	24-240	ТДФ-1601
УДФ10 01В4	те ж	флюс	2,5-3,0	400-1000	200-600	плавне	18-50	ТШС-1000-3
Апарати спеціалізовані для автоматичного зварювання								
А1423	підвісний	флюс	1,6-3,0	300	45-450	плавне	–	ВДУ-504, ВР-600
А1403	самохідний	флюс	2,0-5,0	2x1600	53-530	плавне	24-240	ТДФ-1601 (2 шт.)
А1425	те ж	флюс	4,0-5,0	1000	50-500	плавне	12-120	ТДФ-1601
А1208С	підвісний	без зовнішнього захисту або вуглекислий газ	1,6 (суцільний) 2,0-2,5 (порошковий)	200	102-196	ступеневе	10-25	ПСГ-500
Апарат загального застосування для автоматичного наплавлення								
А384МК	підвісний	флюс	3,0-5,0	1000	28,5-225	ступеневе	–	ПСО-500
А580М	підвісний	флюс	1,0-3,0	400	48-408	ступеневе	–	ПСО-500
А874Н	самохідний	флюс або без зовнішнього захисту	(2,0-7,0)	1000	5-90	плавне	5-116	ВДУ-1001
Апарати спеціалізовані для автоматичного наплавлення								
А1406	підвісний	без зовнішнього захисту, флюс або вуглекислий газ	2,0-7,0	1000	50-500	плавне	12-120	ВДУ-1001
А1408	підвісний	без зовнішнього захисту або вуглекислий газ	1,6-3,0	500	50-500	плавне	12-120	ВДУ-504

A1409	підвісний	без зовнішнього захисту або флюс	1,6-3,0	300	50-500	плавне	12-120	ВДУ-504
-------	-----------	----------------------------------	---------	-----	--------	--------	--------	---------

Продовження таблиці А.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Трактори загального застосування для автоматичного зварювання однодугові								
ТС-17М-1	–	флюс	1,6-5,0	200-1000	52-403	ступе- невє	16-126	ТДФ1001
ТС-42	–	флюс	2,0-5,0	До 1000	60-1000	ступе- невє	12-120	ТДФ-1001
АДС-1000-4	–	флюс	2,0-5,0	400-1200	60-360	плавне	12-120	ТДФ-1001
АДС-1000-5	–	флюс	2,0-5,0	400-1200	60-360	плавне	12-120	ВДУ-1001
АДФ-1001	–	флюс	3,0-5,0	400-1200	60-360	плавне	12-120	ТДФ-1001
АДФ-1004	–	флюс	3,0-5,0	1000-1200	60-360	плавне	12-120	ВДУ-1001
АДФ-1602	–	флюс	3,0-6,0	600-1800	60-360	плавне	12-120	ВДУ-1601
Трактори спеціалізовані для автоматичного зварювання								
ТС-32	–	флюс	2,0-5,0	до 900	137-284	ступе- невє	4-50	ТДФ-1001
ТС-44	–	флюс	3,0-6,0	1600	60-360	плавне	8-45	ВДУ-1601
ДТС-38	–	флюс	2,0-5,0	2x1600	58-580	ступе- невє	16-160	ТДФ-1601 (2 шт)

Таблиця А.7 - Технічні характеристики напівавтоматів для зварювання відкритою дугою в захисних газах

Тип напів-автомата	Напруга мережі, В	Номинальний зварювальний струм при ПР=60%, А	Діаметр суцільного електродного дроту, мм	Швидкість подачі електродного дроту, м/с	Марка джерела живлення
1	2	3	4	5	6
А537Р	380	150	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $9 \cdot 10^{-2}$	ВС-200
А537У	380	500	1,6-2	$2 \cdot 10^{-2}$ - $1,6 \cdot 10^{-1}$	ВС-600
А547Р	380	200	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $1,6 \cdot 10^{-1}$	ВС-200
А547У	380	300	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $9 \cdot 10^{-2}$	ВС-300
ПДГ-301	220/380	315	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $9 \cdot 10^{-2}$	ВДГ-301
ПДГ-302	220/380	300	0,8-2	$5 \cdot 10^{-2}$ - $2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-303	220/380	315	0,8-1,2	$5 \cdot 10^{-2}$ - $2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-304	220/380	315	0,8-2	$5 \cdot 10^{-2}$ - $2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-305	220/380	315	0,8-1,4	$5 \cdot 10^{-2}$ - $2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-302
ПДГ-306	220/380	315	0,8-1,4	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-500-1	220/380	500	0,8-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-501
ПДГ-502	220/380	500	1,2-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДУ-504-1
ПДГ-503	380	500	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДУ-504-1
ПДГ-504	380	500	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДУ-504-1
ПДГ-505	380	500	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500-1
ПДПГ-500	220/380	500	0,8-2	$4 \cdot 10^{-2}$ - $2 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500-1
ПДГИ-101	380	120	1,2-1,6	310^{-2} - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДГИ-102
ПДГИ-302	380	315	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДГИ-301
ПДГИ-303	380	315	1,2-2	$3 \cdot 10^{-2}$ - $3 \cdot 10^{-1}$	ВДГИ-301
ПШП-10	220	300	1-2,5	$2,5 \cdot 10^{-2}$ - $1,7 \cdot 10^{-1}$	постійного струму 350 А не комплектується
ПШП-16	220	350	1,2-2	$2,6 \cdot 10^{-2}$ - $1,6 \cdot 10^{-1}$	ВСП-315

Продовження таблиці А.7

1	2	3	4	5	6
ПШП-17	220	315	0,6-2	$2,5 \cdot 10^{-2} - 1,6 \cdot 10^{-1}$	ВСП-315
А-825М	220/380	300	0,8-1,2	$2 \cdot 10^{-2} - 1,6 \cdot 10^{-1}$	ВС-30, ВСЖ-303
А-929	220/380	350	1-2	$2 \cdot 10^{-2} - 1,6 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500
А-1035М	220/380	450	1,6-2	$2 \cdot 10^{-2} - 1,5 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500, ПСУ-500, ВС-500
А-1197П	220/380	500	1,6-2	$2,5 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500, ПСО-500
А-1230М	380	315	0,8-1,2	$4 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-302

Таблиця А.8 - Технічні характеристики найпоширеніших апаратів для електрошлакового зварювання

Марка апарата	Найбільша товщина матеріалу, що варюється, мм	Номинальний струм зварювання $I_{нз}$, А, при ПВ=100%	Діаметр дроту, мм	Швидкість подачі дроту V_d , м/год	Швидкість зварювання $V_{оп}$, м/год	Марки джерела живлення	Габаритні розміри (довжина, ширина, висота), мм	Маса, кг
Апарати для напівавтоматичного зварювання дровим електродом								
А671Р, безрейковий	160-300	300-700	2,5-3,0	250-400	-	ВДУ-1001	350×200×300	18,6
Апарати для автоматичного зварювання:								
- дровим електродом								
А820МК, рейковий	70	700	2,5-3,0	58-580	4,0-15,0	ВДУ-1001	350×250×650	20
А433Р, рейковий	150	1000	3,0	60-420	2,6-17,5	ВДУ-1001	392×440×800	75
А535, рейковий	450-800	3×1000	3,0	60-450	0,4-9,0	ТШС-1000-3	1600×820×1070	380
А1170, рейковий	до 300	2×1000 або 1×1500	3,0-5,0	14-140	0,4-2,1	ТШС-1000-3	780×510×820	350
А612, безрейковий	20-100	1000	3,0	129-444	0,4-4,0	ТШС-1000-1	750×370×870	70
А501М, безрейковий	до 90	750	2,5	100-300	1,0-9,0	ВДУ-1001	220×280×420	25
- мундштуком, що плавиться								
А645	200-600	2000-8000	3,0	62-154	-	ТШС-3000-1	370×400×360	35
А1304	до 400 (сталь) до 140 (Al)	3000 (сталь) 9000 (Al)	3,0 3,0-6,0	14-306 15-300	-	ТРМК-3000-1	400×542×790 -	55 -
- пластинчатим електродом								
А550В	до 200	3000 (сталь)	до 200	0,8-10,0	-	ТШС-3000-1	1200×575×до 3800	до 440

Таблиця А.9 - Типи й марки електродів

Тип електрода	електрода Марка	Коефі- цієнт наплав- лення \leq г/А·год	Витрата електро- дів на 1кг наплав- леного металу, кг	Рекомендовані сталі	Рід зварювального струму	Технологічні особливості зварювання
1	2	3	4	5	6	7
Э42	АНО-5	11	1,6	низьковуглецеві	постійний або змінний	зварювання у всіх просторових положеннях середньої або короткою дугою
Э42	АНО-1	15	1,5	низьковуглецеві та низьколеговані	постійний або змінний	зварювання методом обпирання або короткою дугою (довжина 3-4 мм) в нижньому або похилому положенні під кутом 20°
Э42А	УОНИИ-13/45	8,5	1,6	низько- і середньовуглецеві й низьколеговані	постійний зворотної полярності	зварювання у всіх просторових положеннях гранично короткою дугою методом обпирання
Э46	АНО-3	8,5	1,6	низьковуглецеві	постійний або змінний	зварювання у всіх просторових положеннях дугою середньої довжини (5-6 мм)
Э46	МР-3	7,8	1,7	низьковуглецеві	постійний зворотної полярності або змінний	зварювання у всіх просторових положеннях дугою середньої довжини (5-6 мм)
Э46	ОЗС-6	10,5	1,6	низьковуглецеві	постійний або змінний	зварювання у всіх просторових положеннях дугою середньої довжини (5-6 мм)
Э46	АНО-13	9	1,7	низьковуглецеві	постійний або змінний	зварювання у всіх просторових положеннях короткою дугою або методом обпирання
Э50А	АНО-9	10	1,7	низько- і середньовуглецеві й низьколеговані	змінний і постійний зворотної полярності	зварювання у всіх просторових положеннях гранично короткою дугою або методом обпирання
Э50А	УОНИИ-13/55	9	1,7	низько- і середньовуглецеві й низьколеговані	постійний зворотної полярності	зварювання у всіх просторових положеннях гранично короткою дугою або методом обпирання
Э60А	УОНИИ-13/65	9	1,7	середньовуглецеві хромисті, хромонікелеві й хромомарганцевисті	постійний зворотної полярності	зварювання у всіх просторових положеннях гранично короткою дугою або методом обпирання

Продовження таблиці А.9

1	2	3	4	5	6	7
Э10Г2	ОЗН-250У	8,6	1,7	середньовуглецеві та низьколеговані	постійний зворотної полярності	наплавлення в нижньому положенні, твердість наплавленого металу 250 НВ
Э11М3	ОЗН-300В	8,6	1,7	середньовуглецеві та низьколеговані	постійний зворотної полярності	наплавлення в нижньому положенні, твердість наплавленого металу 300 НВ
Э12М4	ОЗН-350В	8,2	1,7	вуглецеві й низьколеговані	постійний зворотної полярності	наплавлення в нижньому положенні, твердість наплавленого металу 350 НВ
Э15ГГ5	ОЗН-400В	8,6	1,6	вуглецеві й низьколеговані	постійний зворотної полярності	наплавлення в нижньому положенні, твердість наплавленого металу 400 НВ

