МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
„Харківський авіаційний інститут”

О. К. Горлов, Є.П. Рогачов, С. М. Лашко

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ В АЕРОКОСМІЧНІЙ ТЕХНІЦІ

Частина 1

Навчальний посібник

Харків „ХАІ” 2007

УДК 621.791:629.7

Основи технології зварювання в аерокосмічній техніці. Ч. 1 / О. К. Горлов, Є. П. Рогачов, С. М. Лашко . – Навч. посібник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т „Харк. авіац. ін-т”, 2007. – 73 с.

Описано різні дугові способи зварювання, роботу і характеристики зварювального обладнання, різні зварні з'єднання матеріалів, а також електричні, теплові, металургійні процеси, що впливають на утворення з'єднань. Розглянуто специфіку дугового зварювання в авіаційній промисловості - ручного дугового зварювання покритими електродами, у середовищі інертних та активних газів, під флюсом і плазмове.

Для студентів механічних спеціальностей при проведенні практичних занять у лабораторії та самостійному вивченні відповідних розділів курсів „Зварювання в авіації”, „Фізико-хімічні основи технологічних процесів”.

Іл. 25. Табл.24. Бібліогр.: 9 назв

Рецензенти: канд.техн.наук, доц. В.Г. Чистяк, О.Ю. Шигимага

© Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського „Харківський авіаційний інститут”, 2007 р.

Вступ

Протягом останнього сторіччя зварювання стало одним із найпоширеніших технологічних процесів. Важко назвати який-небудь інший процес, що розвивався б з такою же інтенсивністю, а за різноманітністю і обсягом застосування був би порівнянний зі зварюванням. Вирішення безлічі найважливіших технічних проблем сучасності нерозривно пов'язане з необхідністю одержання з'єднань, здатних працювати в різних умовах, у тому числі й екстремальних. Без зварювання просто неможливо уявити сучасне виробництво.

Відповідно до термінології, запропонованої Європейською зварювальною федерацією, під терміном зварювання розуміють з'єднання, різання і обробку поверхні всіх типів матеріалів такими процесами, як зварювання, паяння (тверде і м'яке), термічне різання, газотермічне напилювання, адгезійне зчеплення, мікроз'єднання. Цей перелік містить у собі і такі суміжні області, як керування та забезпечення якості, неруйнівний контроль, гігієна праці й охорона здоров'я персоналу, проектування, виробництво і будівництво зварних конструкцій.

Зварними виготовляють різні конструкції зі сталі, кольорових металів і сплавів. Усе глибше проникає зварювання у виробництво різноманітних виробів із синтетичних матеріалів. Нова техніка потребувала створення технології зварювання різнорідних металів і сплавів. Освоєно зварювання різноманітних композиційних матеріалів.

Про масштаби застосування зварювання можна судити на основі того, що приблизно 70 % усього сталевого прокату, який випускається у світі, використовується у зварних конструкціях. Найбільш відповідальні цивільні та військові машини й інженерні споруди виготовляють у зварному виконанні.

У всіх винищувачах марки МіГ найважливіші й найбільш навантажені елементи конструкції виготовлені із застосуванням зварювання, як основного технологічного процесу виробництва. Це стосується й до ряду російських і закордонних літаків: Су-25, Су-27, Ту-160, F-14, F-111, B-1, F-22 та ін.

В абсолютних цифрах обсяг зварювальних робіт на МіГ-25 характеризується такими даними: точкове зварювання - 1 400 000 точок (~15 000 м швів); роликове зварювання - 1300 м; аргонодугове зварювання - 400 м; газове зварювання - 113 м і дугове зварювання - 32 м (штучними електродами). Досвід експлуатації зварних авіаційних конструкцій при правильному проектуванні й виробництві показав їхню високу надійність і працездатність.

Методи зварювання і паяння мають таки переваги:

- дозволяють одержувати герметичні монолітні деталі та вузли, у

яких відсутні конструктивні концентратори напруг у вигляді кріплення і отворів під кріплення;

- дають можливість створювати зварні конструкції з окремих елементів, виготовлених за оптимальною для кожного виробництва технологією, з оптимальною з погляду міцності й ресурсу конфігурацією;

- забезпечують одержання герметичних вузлів та агрегатів і зниження маси конструкції шляхом виключення герметиків, накладок і кріпильних елементів;

- дозволяють збільшити КВМ (коефіцієнт використання металу - відношення маси деталі до маси заготовки), знизити обсяг механічної обробки та здешевити виробництво;

- забезпечують герметичність уже на стадії створення з'єднання, що не потребує яких-небудь додаткових заходів, крім контрольних;

- ремонт являє собою нескладну технологічну операцію;

- один із різновидів зварювання (наплавлення) дозволяє надавати фрагментам деталей специфічних властивостей: жароміцності, жаростійкості, корозійної стійкості, антифрикційності та ін.;

- дають можливість з'єднувати між собою різнорідні метали як безпосередньо, так і через допоміжні елементи різних конструкцій, що одержують також методами зварювання;

- досвід виробництва зварних конструкцій показав, що при правильному проектуванні та необхідній підготовці процеси зварювання можуть бути практично повністю автоматизовані.

Безумовно, що зварювання і в подальшому буде інтенсивно розвиватися, оскільки воно є ключовим процесом для багатьох галузей виробництва, будівництва, транспорту, електронної техніки та зв’язку.

РІЗНОВИДИ ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ. ВИХІДНІ ПОЛОЖЕННЯ

ГОСТ 26-01-74. Зварювання - процес одержання нероз'ємних з'єднань за допомогою встановлення міжатомних зв'язків між зварюваними елементами при їхньому нагріванні або пластичному деформуванні або спільній дії того й іншого.

ГОСТ 19521-74 установлює класифікацію за ознаками:

- фізичними (форма енергії, яку використовують для утворення з'єднання, - визначає клас, вид джерела енергії, який безпосередньо застосовують для утворення зварного з'єднання, визначає вид зварювання);

- технічними (за способом захисту металу в зоні зварювання, безперервністю процесу, степенем механізації процесів зварювання);

- технологічними - для кожного виду зварювання ознаки встановлюють окремо.

За фізичними ознаками всі види зварювання відносяться до одного із трьох класів: термічного, термомеханічного й механічного.

У термічний клас включені всі види зварювання плавленням (з використанням теплової енергії) - дугова, електрошлакова, електронно-променева, лазерна, газова та ін.

Фізичні процеси в зварювальній дузі

Зварювальною дугою називається тривалий електричний розряд між двома електродами в іонізованій суміші газів і випарів, що характеризується високою щільністю струму і малою напругою.

Під електричним розрядом розуміють проходження зварювального струму через газове середовище, електропровідність якого обумовлена зарядженими частками - електронами та іонами.

Збудження дугового розряду має місце у таких випадках:

- при переході зі стійкого малопотужного розряду (тліючого);

- в процесі створення високоіонізованого потоку випару, що перекриває міжелектродний простір (за допомогою третього електрода); при переході зі нестійкого іскрового розряду за рахунок подачі імпульсу високої частоти або високої напруги;

- при замиканні та подальшому розмиканні струмонесучих електродів.

При зварюванні плавким електродом звичайно використовують дугу розмикання, а при зварюванні неплавким вольфрамовим електродом – високочастотний розряд від осцилятора. Імпульс високої напруги отримують за допомогою конденсатора. Вугільну дугу збуджують частіше всього за допомогою третього електрода.

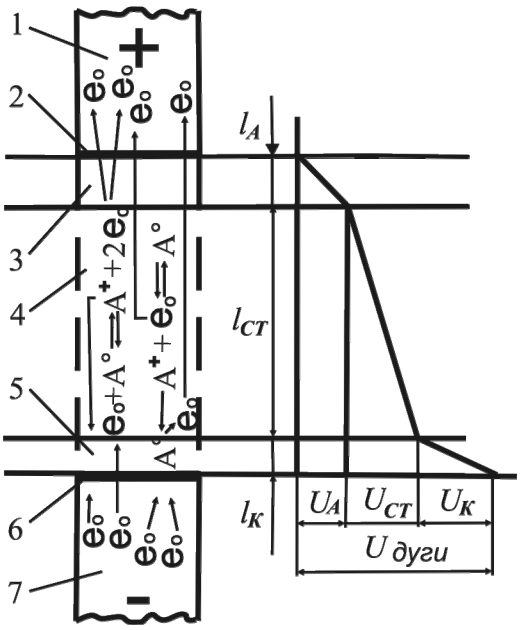


Рисунок 1 – Схема дугового розряду

У зварювальних дугах (рис. 1) є три характерні зони – катодна 5 (l_K≈10^{-6}…10^{-7}мм, $T_K \approx T_{вип}$), анодна 3 (l_A≈10^{-5}…10^{-6}мм, $T_A \approx T_{вип}$) та стовп дуги 4 ($T_{CT} \approx 6…15 \cdot 10^{30}$ С). Приелектродні області електричного розряду - це перехідні зони між твердими (або рідкими) поверхнями електродів (катод 7, анод 1) і плазмою розряду.

У процесі горіння дуги на електроді і основному металі створюються активні плями (катодна 2 та анодна 6), що являть собою більш нагріті ділянки, через які проходить весь струм дуги.

Катодна пляма є джерелом випромінювання вільних електронів, де в основному проходять емісійні процеси (переважають процеси термо- і автоелектронної емісії).

Термоелектронна емісія визначається тим, що при достатньому нагріванні кінця електрода від нього можуть “відірватися” електрони, що мають запас кінетичної енергії, достатньої для подолання сил електростатичного притягнення (робота виходу) твердого або рідкого електрода (табл. Д.1).

Автоелектронна емісія полягає в тому, що під впливом високої напруженості електричного поля з катода вириваються і летять до анода первинні електрони.

У катодній плямі виділяється близько 36% загальної кількості тепла дуги, а спадання напруги на ньому становить 10...16 В.

Стовп зварювальних дуг при атмосферному тиску являє собою плазму з локальною термічною рівновагою, квазінейтральну з властивостями ідеального газу. У ньому відбувається переміщення електронів та іонів, які виділяють близько 21% загального тепла дуги. Спадання напруги в стовпі залежить від довжини дуги $l_д$ і становить приблизно 2...12 В.

Іонізація газових молекул звичайно досягається “вибиванням” з них електронів. Для цього має бути витрачена робота (табл. Д.2), яка у числовому вигляді дорівнює потенціалу іонізації, вимірюваному у вольтах.

Анодна пляма являє собою місце входу і нейтралізації на поверхні анода вільних електронів. Анодна пляма має приблизно таку ж те-

мпературу, як і катодна, але в результаті ударів потоку електронів (табл. Д.3) на аноді виділяється орієнтовно 43% загального тепла дуги. Спадання напруги на аноді становить 6...8 В.

До основних параметрів, що характеризують властивості дуги, відносяться напруга, струм і довжина дуги. Залежність між напругою і довжиною дуги виражається формулою

$$U_д = a + bl_д,$$

де $U_д$ – напруга на дузі, В;

$l_д$ - довжина дуги, мм;

b – питоме спадання напруги в стовпі дуги, віднесене до 1 мм довжини дуги (залежить від газового складу стовпа дуги (табл.1);

$a = U_k + U_a$ – спадання напруги в приелектродних областях (залежить від роду матеріалу електродів).

Таблиця 1 - Енергетична структура деяких дуг

Матеріал покриття	$U_д$, В	$U_k + U_a$, В	$l_д$,мм	b, В/мм
Мармур	17,0	12,0	1,00	5,0
Плавиковий шпат	34,2	31,8	2,36	1,0
Без покриття	21,2	16,0	1,45	3,6

Залежність між напругою і струмом при сталому стаціонарному стані дуги виражається статичною вольт-амперною характеристикою (СВАХ). Як видно (рис. 2), вона може бути спадною 1 (характерна для малопотужних дуг I < 50 А, щільність струму 10... 12 А/мм^2), жорсткою 2 (відповідає I = 50…1000 А, щільність струму на електроді 12...80 А/мм^2) і зростаючою 3 (спостерігається при зварюванні із щільністю більше 80 А/мм^2). Найширше застосування має дуга із жорсткою характеристикою, при якій напруга на дузі не залежить від сили зварювального струму. Дугу зі зростаючою характеристикою застосовують при автоматичному зварюванні під флюсом на підвищеній щільності струму і при зварюванні в захисних газах плавким електродом. Дуга із спадною характеристикою малостійка і має обмежене застосування.

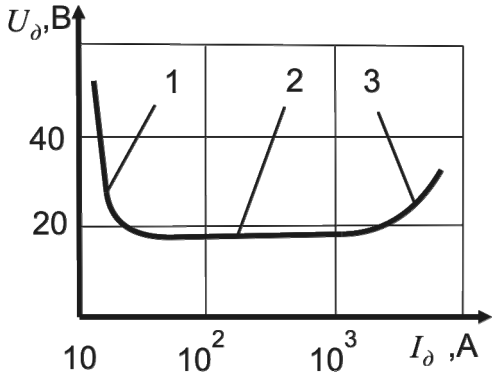


Рисунок 2 - Статична вольт-амперна характеристика (СВАХ) зварювальної дуги

Зварювальні матеріали

Зварювальними називають матеріали, що забезпечують можливість проходження зварювальних процесів і одержання якісних зварних з'єднань. До них відносять: присадні матеріали, електроди, флюси, захисні гази і т. ін.

Присадні матеріали. Переважна більшість швів при зварюванні виконують із застосуванням присадних матеріалів. Роль їх полягає не тільки в одержанні необхідної геометрії шва, але і у забезпеченні високих експлуатаційних характеристик при мінімальній схильності до утворення дефектів. У більшості випадків склад присаджувального металу мало відрізняється від хімічного складу металу, що зварюється. Присадні матеріали розробляють стосовно до конкретних груп металів і сплавів або навіть до їхніх окремих марок. При цьому враховують також методи зварювання, які визначають втрату окремих елементів. Присадний метал має бути більш чистим по домішках, містити менші кількості газів і шлакових включень. Присадні матеріали використовують у вигляді металевого дроту суцільного перерізу або порошкового дроту (з порошковим осердям). Застосовують також прутки, пластини, стрічки. До зварювального дроту висувають значні вимоги щодо стану поверхні, граничних відхилень за діаметром, овальністю й іншими показниками.

Електроди для дугового зварювання. Електродом для дугового зварювання називають металевий або неметалевий стрижень, призначений для підведення струму до зварювальних дуг. Електроди поділяють на плавкі і неплавкі.

Плавкі електроди виготовляють зі сталі, чавуну, алюмінію, міді та їхніх сплавів і т. ін. Плавкі електроди є одночасно і присадним матеріалом. Непокриті електроди застосовують при газовому захисті металу шва і являють собою присадний або порошковий дріт. Покритий електрод є певних розмірів стрижень (табл. Д.4 - Д.5), на поверхню якого обпресуванням або зануренням нанесене спеціальне покриття (табл. Д.6).

Неплавкі електроди потрібні для збудження і підтримки горіння дуги. Для дугового зварювання та різання використовують: вугільні (обміднені і необміднені), графітові, вольфрамові електроди (W).

Захисні середовища. Більшість металів і сплавів при термічних видах зварювання взаємодіють із навколишнім середовищем: відбувається окислення металу, а також розчинення в ньому азоту і водню. Особливо реагує розплавлений метал, менш піддані цьому метал шва, що закристалізувався, і метал у зоні термічного впливу. Ця взаємодія у більшості випадків призводить до погіршення властивостей металу шва і зварних з'єднань і викликає необхідність захисту зони

зварювання від контакту з повітрям.

Застосовують шлаковий, газовий і комбінований захист.

Шлаковий захист полягає в тому, що при зварюванні використовують електродні покриття і спеціальні зварювальні флюси, які створюють при розплавленні шлаки з певними фізико-хімічними властивостями.

Шлаки мають забезпечувати гарне формування шва, належний хімічний склад металу, відсутність пор і тріщин, сталість процесу зварювання, легке відокремлення шлакової корки від поверхні шва, бути екологічними.

Шлаки являють собою рідкі мінеральні фази, що відокремлюють дзеркало металу від безпосередньої дії газової атмосфери. Шлаки не ізолюють метал від навколишнього середовища, а тільки заміняють безпосередню взаємодію дифузійною. Через шлаки можуть дифундувати гази або метали (у вигляді нижчих оксидів) на границю поділу з газами, там окислятися і, повертаючись до металу, передавати захоплений кисень. Взаємодія шлакової фази з металом повністю залежить від її складу і температури.

Шлаки умовно можна розділити на пасивні й активні.

Пасивні шлаки здійснюють захисні функції.

Активні шлаки разом із захистом здійснюють і металургійну обробку (розкислення, зв'язування сірки і фосфору, легування) металу зварювальної ванни.

Компоненти електродних покриттів і зварювальних флюсів мають різний хімічний склад і призначення (табл. Д.7 – Д.9).

Компоненти, що іонізують або стабілізують дуговий розряд, - різні з'єднання, що мають атоми лужних металів, з малим потенціалом іонізації (додаток, табл. Д.2): крейда – $CaCO_3$, граніт, польовий шпат - ($K_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6SiO_2$) K_2CO_3 та ін.

Чим менше U_u, тим легше відбувається іонізація і стійкіша дуга.

Шлакоутворювальні компоненти, що становлять основу покриття, створюють при плавленні шлаки, що ізолюють метал від безпосередньої взаємодії з азотом і киснем повітря, і, крім того, вступають із металом в обмінні реакції, регулюючи склад зварювальної ванни: крейда, мармур (CaCOз), польовий шпат ($K_2O{\cdot}Al_2O_3{\cdot}6SiO_2$), кварцовий пісок ($SiO_2$), плавиковий шпат ($CaF_2$), магнезит ($MgCO_3$) і руди: гематит ($Fe_2O_3$), марганцева руда (МпО), титановий концентрат ($FeO{\cdot}\ TiO_2$), рутил (TiO_2).

Газоутворювальні компоненти виділяють при своєму розпаді або окислюванні значну кількість газів, витісняючи повітря: крохмаль, борошно, целюлоза, декстрин, $MgCO_3$, $CaCO_3$.

Легуючі і розкислювальні елементи - феросплави (феросиліцій,

феромарганець, фероалюміній, феротитан та ін.) і чисті метали, які при плавленні покриття розчиняються в електродному металі, відіграючи роль легуючих елементів, або відновлюють елементи з окислів, відіграючи роль розкислювачів.

Сполучні компоненти - водяні розчини силікатів натрію і калію, які при плавленні переходять у шлаки, або високополімерні речовини, що згоряють.

Захисні гази при зварюванні захищають дугу і зварювальну ванну від шкідливого впливу навколишнього повітряного середовища. Захисні гази подають у зварювальну дугу під тиском, більшим, ніж атмосферний, фізично відтискуючи повітря потоком газу від місця зварювання.

Особливості зварювання в захисних газах: висока концентрація дуги (мінімальна зона перетворення); висока продуктивність; високоефективний захист; можливість зварювання металів різних товщин у різних просторових положеннях, спостереження за ванною; відсутність необхідності застосування флюсів, обмазок; можливість механізації й автоматизації.

Для захисту застосовують як чисті гази: інертні (9% за обсягом зварювальних робіт) і активні гази (90%), так і їх суміш (1%) (табл. Д.10). З інертних газів при зварюванні використовують аргон і гелій.

Інертні гази забезпечують захист металу при зварюванні, не здійснюючи на нього металургійного впливу. З інертних газів при зварюванні використовують аргон і гелій. Це одноатомні гази, які не вступають у хімічні реакції із твердими та рідкими металами і практично нерозчинні в більшості з них (точно так же N не взаємодіє з деякими металами - міддю, кобальтом і т.ін.).

Для зварювання застосовують суміш з інертних газів, наприклад суміш, що складається з 70% аргону і 30% гелію (за обсягом).

Активні захисні гази захищають зону зварювання від азоту повітря, але разом з тим вступають у хімічну взаємодію з металом або можуть розчинятися в ньому. З активних газів для зварювання використовують в основному вуглекислий газ. Інші активні гази - кисень, водень, азот - застосовують для складання захисної газової суміші (суміш має кращі технологічні властивості, ніж окремі гази).

Вакуум можна розглядати як захисне середовище з обмеженим парціальним тиском O_2 і N_2 та інших домішок при загальному зниженому тиску над зварювальною ванною. Позитивний вплив вакууму на якість зварних з'єднань виражається в тому, що значно прискорюються і полегшуються процеси виходу газів і дисоціація оксидів не тільки з поверхневих, але і із внутрішніх шарів металу. Високий ступінь розрядження сприяє руйнуванню поверхневих забруднень і рідинних плівок.

Характерні зони зварних з’єднань

Зварні з'єднання, виконані плавленням, можна розділити на кілька зон, що відрізняються хімічним складом, макро- і мікроструктурою та іншими ознаками: зварний шов 2, зона термічного впливу 3 - 8 і основний метал 1 (рис. 3).

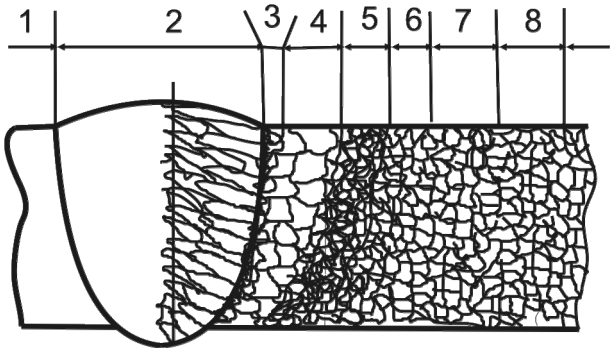


Рисунок 3 – Схема будови зони термічного впливу при зварюванні маловуглецевої сталі

Зварний шов 1 характеризується литою макроструктурою металу. Йому властива первинна мікроструктура кристалізації, тип якої залежить від умов кристалізації шва.

Зона термічного впливу (ЗТВ) - ділянка основного металу, що примикає до зварного шва, у межах якого внаслідок теплового впливу при зварюванні проходять фазові й структурні перетворення. У ЗТВ виділяють зону сплавлення (ЗС) і пришовну зону (ПШЗ).

Зона сплавлення - це ділянка зварного з'єднання, де відбувається сплавлення наплавленого і основного металу. У неї входять вузька ділянка зварного шва, розташована безпосередньо у лінії сплавлення, а також оплавлена ділянка ПШЗ.

ПШЗ розташована безпосередньо у зварного шва і складається з декількох зон.

Зона неповного розплавлення ($T_{пл}–T_{солід}$) - тонка перехідна смужка від металу шва до основного металу, де спостерігається безпосереднє зрощування кристалів металу шва із зерном основного металу. Визначає якість зварного з'єднання.

Зона перегріву ($T_{солід}$ - 1100^{0}С) характеризується крупним зерном і відрізняється погіршеними механічними властивостями (міцністю, пластичністю).

Зона нормалізації (1100^{0}С – Ac_3) - перекристалізація при охолодженні металу – приводить до одержання дрібної рівновісної структури. Метал цієї ділянки має найкращі механічні властивості.

Зона неповної перекристалізації ($Ac_3 – Ac_1$) — структура металу на цій ділянці - буде складатися із крупних зерен фериту, що не пройшли перекристалізацію, і дрібних зерен фериту і перліту, що утворилися в результаті перекристалізації. Механічні властивості цієї ділянки гірше, ніж ділянки нормалізації.

Зона рекристалізації (Ac_1 – 500^{0}С) спостерігається при зварюванні металу, підданого холодній механічній обробці тиском. В цій зоні рекристалізація повертає йому колишні механічні властивості.

Зона синьоламкості (500...200^{0}С) характеризується зниженням пластичних властивостей без суттєвих змін структури.

Джерела живлення для дугового зварювання

Джерелами живлення зварювальної дуги для дугового електричного зварювання плавленням називають апарати, які призначені для перетворення різних видів енергії (хімічної, механічної, електричної) в електричний струм з потужністю, необхідною для горіння зварювальної дуги, і відповідають таким вимогам:

1) напруга холостого ходу (напруга на затискачах джерела живлення при розімкненому зварювальному ланцюзі) має бути достатньою для запалювання дуги, але не перевищувати безпечну для зварника величину. ГОСТ 12.2.007.8-75 обмежує максимальну ефективну напругу холостого ходу джерел живлення зварювальної дуги:

- до 80 В – при ручному дуговому зварюванні;
- до 140 В – при автоматичному зварюванні;
- до 100 В – для дуги постійного струму;

2) потужність джерела струму має бути достатньою для живлення дуги необхідним по силі зварювальним струмом;

3) необхідно, щоб джерела живлення дуги мали пристрій для плавного регулювання струму в потрібних для зварювання межах;

4) необхідно, щоб джерела живлення дуги мали невелику вагу, розміри і вартість, а також бути зручними в експлуатації.

Технологічні можливості джерел живлення зварювальної дуги визначають такі параметри:

- зовнішні вольт - амперні характеристики;
- номінальний зварювальний струм (межі регулювання);
- рід зварювального струму;
- напруга холостого ходу;
- тривалість роботи;
- тривалість включення;
- динамічна характеристика;
- споживана потужність (коефіцієнт потужності);
- коефіцієнт корисної дії.

Однією з найважливіших характеристик джерела живлення зварювальної дуги є зовнішня вольт-амперна характеристика.

Зовнішньою вольт-амперною характеристикою (ЗВАХ) джерела живлення називається залежність між напругою на його вихідних зварювальних затискачах і силою зварювального струму (рис. 4).

ЗВАХ характеризується крутістю

$$K = \Delta U / \Delta I = (U_A - U_B)/(I_A - I_B),$$

де ΔI – діапазон робочих струмів, А; I_A, I_B - максимальне і мінімальне значення зварювального струму діапазону, А;

ΔU – діапазон робочих напруг, В, що відповідають ΔI; U_A, U_B – граничні значення діапазону, В, що відповідають значенням I_A і I_B відповідно.

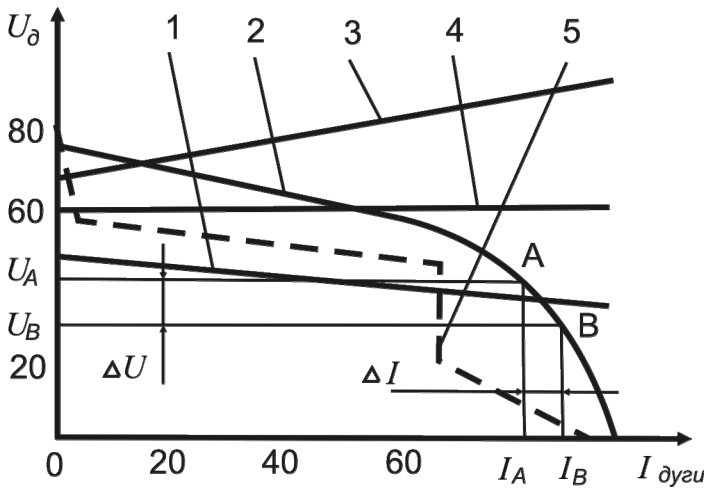


Рисунок 4 – Зовнішні вольт-амперні характеристики (ЗВАХ) джерел живлення електричної дуги

Джерела живлення залежно від призначення можуть мати найрізноманітніші зовнішні характеристики: 1 - пологоспадну (- 0,01 > K - 0,04), 2 - крутоспадну (-0,04> K), 3 - що зростає (K > 0), 4 - жорстку (0 > K - 0,01), 5 - штикову (- 0,04 >> K).

Вимоги до виду зовнішніх характеристик визначаються такими показниками зварювального процесу, як тип електрода (плавкі, неплавкі), характер середовища, у якому відбувається зварювання (відкрита дуга, дуга під флюсом, дуга у захисних газах), ступінь механізації процесу (ручне, напівавтоматичне, автоматичне зварювання), спосіб регулювання режиму горіння дуги (саморегулювання, автоматичне регулювання напруги дуги).

Для живлення зварювальної дуги змінним струмом служать *зварювальні трансформатори.* Вони прості за будовою, відрізняються малими розмірами і вагою, мають високий ККД і витрачають електроенергії майже у два рази менше в порівнянні із джерелами постійного струму.

Конструкції трансформаторів досить різноманітні.

Залежно від магнітоелектричної системи їх можна поділити на дві великі групи:

1) трансформатори з нормальним магнітним розсіюванням і додатковою реактивною котушкою, змонтованою окремо або в однокорпусному виконанні;

2) трансформатори зі збільшеним магнітним розсіюванням (без реактивної котушки): з рухомими котушками; з магнітними шунтами (рухомими, керованими), зі ступеневим (витковим) регулюванням, з тиристорним регулюванням.

Зварювальними випрямлячами називаються апарати, основу яких складають зварювальні трансформатори і випрямляючі блоки. Вони призначені для перетворення змінного струму живильної мережі у зварювальний струм постійної полярності з потужністю, необхідною для горіння зварювальної дуги.

До загальних недоліків зварювальних випрямлячів можна віднести: більш високу собівартість випрямлячів у порівнянні зі зварювальними трансформаторами (в 1,5 - 2 рази); більш високі вимоги до обслуговуючого персоналу; тепловий режим зварювання, обмежений тепловими режимами зварювальних вентилів; значний вплив магнітного дуття.

Переваги зварювальних випрямлячів - можливість виконання дугової обробки будь-яких конструкційних металів і сплавів різними електродами, у тому числі і неметалевими, простота механізації й автоматизації процесу зварювання, екологічна чистота.

Зварювальними інверторами називають апарати, які призначені для перетворення електричної енергії живильної мережі у зварювальний струм. Зварювальний струм інвертора може бути постійним або змінним високочастотним (1...50 кГц), однополярним імпульсним або комбінованим.

Високочастотний однополярний зварювальний струм легко збуджує зварювальну дугу і підтримує її стійке горіння при дуговому проміжку до декількох десятків міліметрів.

Переваги: комунікабельність; невеликі габаритні розміри (приблизно в 10 разів менші, ніж у випрямлячів); невелика маса (в 5 - 8 разів менша, ніж у випрямлячів); найвищий серед всіх існуючих джерел живлення зварювальної дуги ККД (82...99%); екологічна чистота; ергономічність; стабільність горіння і висока еластичність зварювальної дуги; висока експлуатаційна технологічність.

Зварювальним генератором для дугового електричного зварювання плавленням називається апарат, який призначений для перетворення механічної енергії обертового руху в електричний струм з потужністю, необхідною для горіння зварювальної дуги.

Зварювальними перетворювачами для дугового електричного зварювання плавленням називаються апарати, що складаються із трифазного електродвигуна, з'єднаного валом або муфтою зі зварювальним генератором. Призначені для електромашинного перетворення електричної енергії промислової трифазної напруги в електричний струм з потужністю необхідної для горіння зварювальної дуги.

1. РУЧНЕ ЕЛЕКТРОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ НА АПАРАТАХ ЗМІННОГО СТРУМУ

Мета роботи: вивчити технологічний процес ручного електродугового зварювання, характеристики покритих електродів, будову і характеристики джерел живлення.

1.1. Зміст роботи

Суть ручного дугового зварювання покритими електродами

За допомогою ручного дугового зварювання виконують великий обсяг зварювальних робіт при виробництві зварних конструкцій. Найбільше застосування знаходить ручне дугове зварювання покритими електродами.

Схема процесу ручного дугового зварювання металевим покритим електродом показана на рис. 5. Дуга 4 горить між електродом 8 і основним металом 10. Під дією теплоти дуги електрод і основний метал розплавляються, утворюючи зварювальну ванну 9.

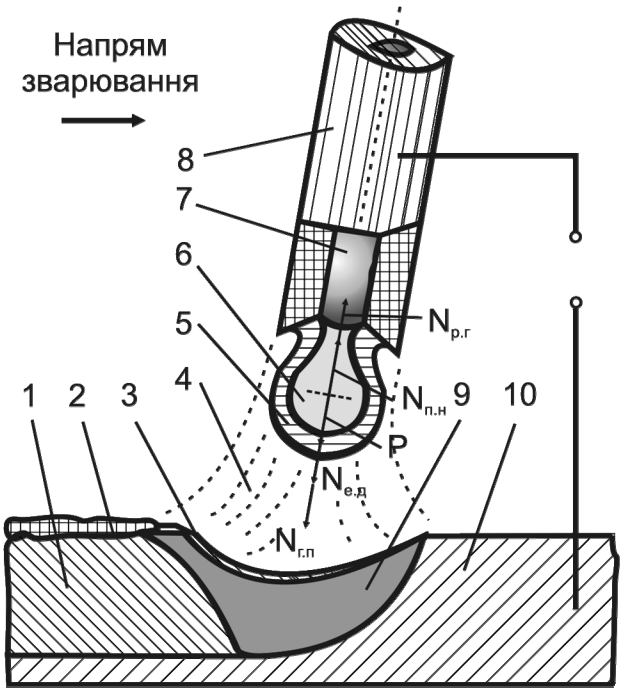


Рисунок 5 – Схема ручного дугового зварювання

У період формування краплі 6 на неї діють сили, що сприяють або перешкоджають її відриву від торця електрода : сила ваги P, електродинамічні сили $N_{ед}$, сила поверхневого натягу $N_{п.н}$. В умовах зварювання товстопокритими електродами до головних сил, що діють на краплю, додаються сила тиску газового потоку $N_{г.п}$ і сила реакції газів, виділених із краплі $N_{р.г}$.

Краплі рідкого металу з електродного стрижня 7 переносяться у ванну через дуговий проміжок. Разом із металевим стрижнем плавиться і електродне покриття 5, утворюючи газовий захист і рідку шлакову плівку 3 на поверхні розплавленого металу. У міру переміщення дуги зварювальна ванна прохолоджується і твердіє, утворюючи зварний шов 1. Рідкі шлаки також твердіють і утворюють на поверхні шва тверду шлакову кірку 2, що усувається після зварювання. При

цьому способі виконується газошлаковий захист розплавленого металу від взаємодії з повітрям. Крім того, шлаки дозволяють проводити необхідну металургійну обробку металу у ванні.

Для виконання функцій захисту і обробки розплавленого металу покриття електродів при розплавленні мають утворювати шлаки і гази з певними фізико-хімічними властивостями. Тому для забезпечення потрібного складу і властивостей шва при виконанні з'єднань на різних металах для зварювання застосовують електроди з певним типом покриттів (табл. Д.6).

Умовне позначення електродів для ручного дугового зварювання і наплавлення сталі ГОСТ 9466-75 містить марку, тип, діаметр електрода, вид і товщину покриття, тип сталі, що зварюють, положення шва в просторі, рід і полярність струму, характеристику наплавленого металу або металу шва (табл. Д.4 – Д.5).

Джерела живлення для ручного дугового зварювання

Електрична зварювальна дуга при зварюванні покритими електродами є видом навантаження, який відрізняється від інших споживачів електроенергії:

- для запалювання дуги потрібна напруга, значно вища, ніж для підтримки її горіння;
- дуга горить із перервами, під час яких електричний ланцюг або розривається, або відбувається коротке замикання;
- під час горіння дуги зі зміною її довжини $l_д$ (у межах 0...20 мм) змінюється опір, що приводить до зміни напруги $U_д$ (у межах 20...40 В) і сили зварювального струму $I_{зв}$;
- при короткому замиканні (у моменти запалювання дуги і переходу краплі розплавленого металу на виріб) напруга між електродом і виробом падає до нуля.

Ці особливості дуги обумовлюють такі вимоги до джерел живлення (для ручного дугового зварювання):

1. Напруга холостого ходу має бути в два-три рази вище напруги дуги. Це необхідно для легкого запалювання дуги; у той же час вона має бути безпечною для зварника за умови виконання ним необхідних правил. Напруга холостого ходу $U_{x.x}$ звичайно дорівнює 50...70 В, держстандарт установлює максимальну напругу холостого ходу не більше 80 В для джерел живлення змінного струму і 90 В - постійного струму.
2. Необхідно, щоб сила струму при короткому замиканні $I_{к.з}$ була обмеженою. Нормальний процес дугового зварювання забезпечуєть-

ся, якщо $I_{к.з}/I_{зв}$ = 1,1...1,5 (у деяких випадках - 2).

3. Зміни напруги дуги, що відбуваються внаслідок зміни її довжини, не повинні викликати істотної зміни сили зварювального струму, а отже, зміни теплового режиму зварювання (необхідно, щоб джерело живлення мало спеціальну форму зовнішньої характеристики).

4. Час відновлення напруги від 0 до 25 В після короткого замикання не повинний перевищувати 0,05 с, що забезпечує стійкість дуги.

5. Необхідно, щоб джерело живлення мало пристрій для регулювання сили зварювального струму. Межі регулювання струму мають бути 30...130% до номінального зварювального струму. Це необхідно для того, щоб від одного джерела живлення можна було зварювати електродами різних діаметрів.

Всім зазначеним вимогам відповідають джерела живлення із крутоспадною зовнішньою вольт-амперною характеристикою (ЗВАХ).

На рис. 6 зображено крутоспадну ЗВАХ джерела живлення і статичні вольт-амперні характеристики електричної дуги (СВАХ) різної довжини (l_1, l_2, l_3). Точка перетину ЗВАХ і СВАХ визначає робочий струм і напругу – I_p; U_p (для точки А – I_1 і U_1).

При крутоспадній ЗВАХ зміна робочого струму незначна, горіння дуги буде стабільним, стійким; струм короткого замикання $I_{к.з}$ не набагато перевищує робочий струм I_p і джерело живлення не перевантажується.

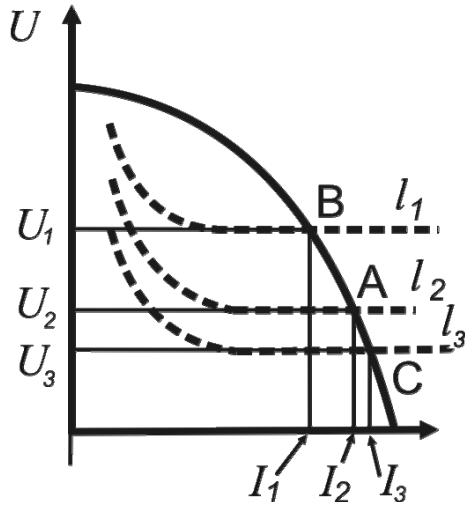


Рисунок 6 –Характеристики ЗВАХ, СВАХ

Як джерела змінного струму застосовують спеціальні знижувальні трансформатори типу ТД- 500 і ін.

Трансформатор ТД-500 (рис. 7) являє собою пересувну установку в однокорпусному виконанні із природною вентиляцією. Він відноситься до трансформаторів зі збільшеним (розвиненим) магнітним розсіюванням і рухомими обмотками. Для трансформатора з рухомими обмотками індуктивний опір залежно від відстані між обмотками змінюється за лінійним законом і, отже, зварювальний струм змінюється звичайно пропорційно відстані між обмотками. При великому розсуванні обмоток ефективність регулювання струму знижується при безперервному рості маси магнітопроводу. Тому великий діапазон плавного регулювання в трансформаторах з рухомими обмотками недоцільний.

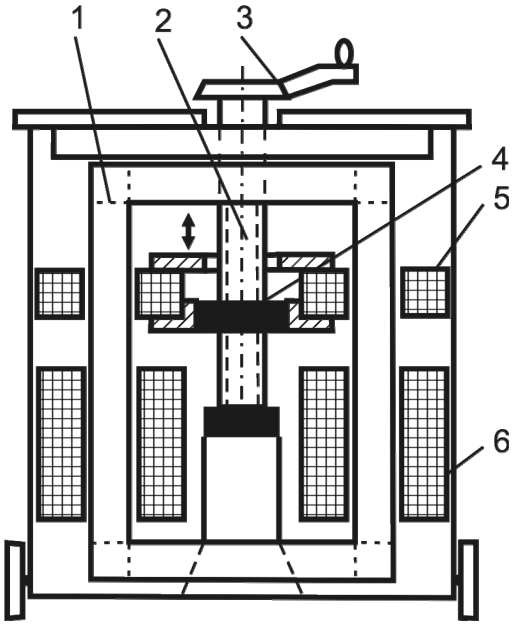


Рисунок 7 – Схема зварювального трансформатора ТД-500

Для розширення меж регулювання струму при обмеженні маси магнітопроводу застосовують плавноступеневе регулювання шляхом одночасного перемикання числа витків первинної та вторинної обмоток зі збереженням сталості коефіцієнта трансформації або з деяким його зниженням у діапазоні малих струмів.

Технічні дані:

1.Споживана потужність, кВт - 32.
2. Напруга живлення, В - 220 або 380.
3. Напруга холостого ходу:
   а) великий струм, В - 60;
   б) малий струм, В - 75.
4. Номінальний струм, А - 500.
5. Регулювання струму, А - 0...650.

Магнітопровід 1 трансформатора виконаний із пластин товщиною 0,5 мм електротехнічної сталі високої магнітної проникності у вигляді П-подібного осердя, що характеризується стрижньовим потоком розсіювання.

У нижній частині магнітопроводу розташовані чорири нерухомі первинні напівобмотки 6, з них дві основні з більшим числом витків, і дві додаткові - з меншим числом витків.

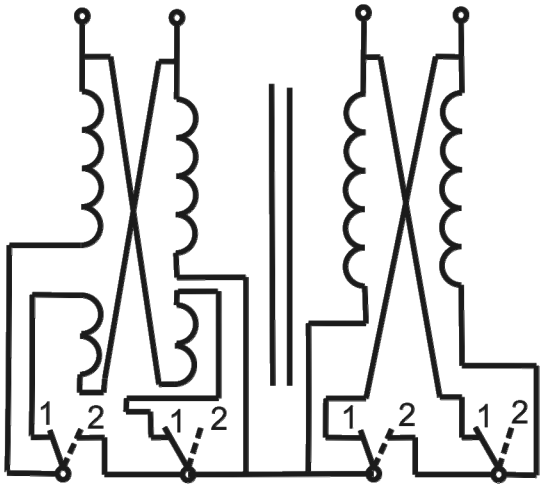


Рисунок 8 – Електрична схема ТД-500

Зварювальні (вторинні) напівобмотки 5 виконані рухомими і переміщуються за допомогою гвинтового механізму щодо котушки первинної обмотки, що дає плавне регулювання струму. При зближенні котушок (ручка 3, ходовий гвинт 2, ходова гайка 4) індуктивний опір X_m зменшується, а робочий струм збільшується. При видаленні обмоток X_m зростає, а струм зменшується. Діапазонне регулювання струму забезпечується перемиканням обмоток (рис. 8).

Паралельне з'єднання обмо-

ток котушок (положення 2) призводить до малого значення X_m і діапазону великих струмів, послідовне (положення 1) – велике значення X_m і діапазон малих струмів.

При послідовному з'єднанні секцій (діапазон малих струмів) додаткові секції первинної обмотки відключаються, при цьому підвищується напруга холостого ходу трансформатора до 75 В. Це сприятливо позначається на стійкості дуги при малих струмах.

Струмовказівний механізм пов'язаний важільною передачею з рухомою обмоткою. Величину струму визначають за шкалою через оглядове вікно, розташоване на верхній частині кожуха. Показання по цій шкалі орієнтовні (з точністю 7,5%), тому що дійсне значення зварювального струму залежить від напруги дуги.

Струм короткого замикання можна змінювати, регулюючи напругу холостого ходу і X_m. У трансформаторі ТД-500 при зміні відстані між котушками змінюється тільки X_m, а напруга холостого ходу практично не змінюється. Однак при перемиканні діапазону струму змінюється і X_m, і напруга холостого ходу.

1.2. Методика роботи

1. Ознайомитися з суттю процесу ручного електродугового зварювання покритими електродами.

2. Ознайомитися із суттю шлакового захисту, пояснити маркування електродів для ручного дугового зварювання.

3. Ознайомитися із будовою трансформатора ТД-500.

4. Провести тренувальне зварювання.

5. Дослідити ЗВАХ трансформатора ТД–500 на режимах за вказівкою викладача (табл.2).

Таблиця 2 - Протокол досліджень ЗВАХ

№ п/п	Струм по шкалі струмовказника, А	Заміри				Примітки
		Напруга холостого ходу $U_{x.x}$, В	Струм короткого замикання $I_{к.з}$, А	Струм робочий I_p, А	Напруга робоча U_p, В	

6. Виконати аналіз отриманих результатів.

Вказівки щодо зняття ЗВАХ

Необхідно зняти по три характеристики на діапазоні малих струмів і на діапазоні великих струмів. Кожну характеристику будують

за такими трьома точками: холостим ходом ($U = U_{x.x},\ I = 0$), коротким замиканням ($I = I_{к.з},\ U = 0$) і робочим режимом ($U = U_p,\ I = I_p$).

1.3. Обладнання та матеріали

1. Пост для ручного дугового зварювання.
2. Зварювальний трансформатор ТД-500.
3. Інструменти для зварювання.
4. Прилади для вимірювання:
   амперметр, діапазон вимірювання 0…600 А;
   вольтметр, діапазон вимірювання 0…100 В.
5. Зварювальні матеріали:
   пластини з низьковуглецевої сталі товщиною 6…10 мм,
   штучні покриті електроди різних марок діаметром 4…5 мм.

1.4. Зміст звіту

1. Схема процесу ручного дугового зварювання.
2. Пояснення умовного позначення штучного електрода (за вказівкою викладача).
3. Вимоги щодо джерел живлення для ручного дугового зварювання.
4. Схема ТД–500 і його технічні дані.
5. Протокол досліджень ЗВАХ ТД–500 (табл. 2).
6. Графіки ЗВАХ ТД–500.
7. Аналіз отриманих результатів. Висновки.

1.5. Контрольні запитання

1. Розкажіть про вплив зварника на процес ручного дугового зварювання як суб'єктивного учасника.
2. Як забезпечується захист зварювальної ванни щодо ручного дугового зварювання штучними електродами?
3. В чому суть газошлакового захисту?
4. Розкажіть про основні компоненти покриттів штучних електродів.
5. Сформулюйте вимоги щодо джерел живлення.
6. Чим і як забезпечується отримання крутоспадних ЗВАХ?
7. Розкажіть про вплив магнітного розсіювання щодо трансформаторів з рухомими котушками.
8. Назвіть основні вузли трансформатора ТД–500 і укажіть їх призначення.
9. Як регулюється зварювальний струм на апараті ТД–500 (плавно, ступенево)?
10. Який вплив має індуктивний опір на зварювальний струм?

2. АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ

Мета роботи: вивчити технологічний процес зварювання під флюсом, визначити його відмінності, ознайомитися з будовою автомата А-1416, визначити режими процесу зварювання під флюсом та їх вплив на параметри зварного з'єднання виконати зварювання, вивчити будову зварного з'єднання.

2.1. Зміст роботи

Суть зварювання під флюсом

Зварювання під флюсом (рис. 9) виконують електродом 2, що плавиться, закритою дугою 1, яка горить під шаром гранульованого (зернистого) флюсу 3 у просторі флюсогазової порожнини 5, що утворюється в результаті виділення випарів і газів у зоні дуги. Зверху зварювальна дуга обмежена плівкою розплавлених шлаків 6, знизу - зварювальною ванною 7. В міру зварювання тиск газів і випарів у порожнині зростає. Наступає момент, коли плівка розплавлених шлаків проривається і надлишок газів виділяється в навколишню атмосферу (процес видалення газів періодично повторюється).

Дуга горить поблизу переднього краю ванни, трохи відхиляючись від вертикального положення у бік, зворотний напрямку зварювання. У період формування краплі 4 на неї діють сили, що сприяють або перешкоджають її відриву від торця електрода: сила ваги P, електродинамічні сили $N_{од}$, сила поверхневого натягу $N_{п.н}$. Сила тиску газового потоку $N_{г.п}$, підсумовуючись із силою реакції газів, що виділяються із краплі $N_{р.г}$, створює результуючу силу впливу газових потоків $N_г$, під тиском якої відбувається відхилення краплі у бік тиску газових потоків: більша частина краплі після відриву від електрода летить у потоці рідкого флюсу, що обмежує зону зварювання, до задньої частини ванни.

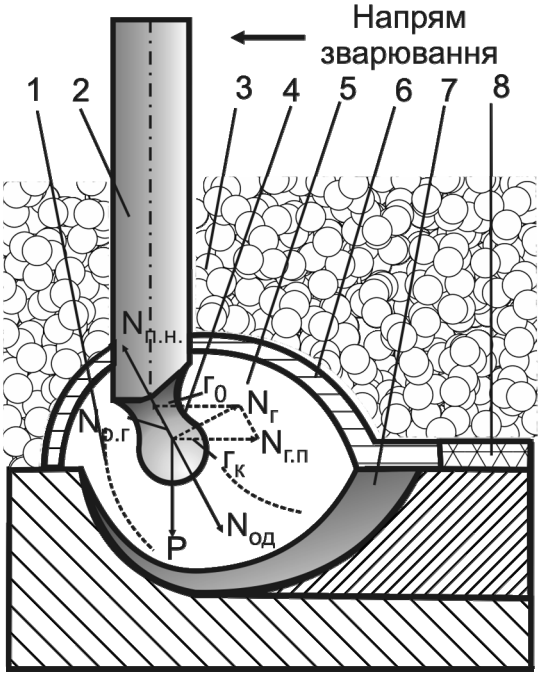


Рисунок 9 – Схема зварювання під флюсом

Під впливом тиску дуги рідкий метал також відтискується у бік, протилежний напрямку зварювання, утворюючи кратер зварювальної ванни. Під дугою перебуває то-

нкий шар рідкого металу, від товщини якого багато в чому залежить глибина проплавлення. Розплавлений флюс, що попадає у ванну, внаслідок значно меншої щільності спливає на поверхню розплавленого металу шва і покриває його щільним шаром застиглих шлаків 8.

Середовище у зварювальній зоні є найбільш сприятливим з погляду захисту металу від взаємодії з повітрям. Крім того, флюс перешкоджає розбризкуванню рідкого металу і сприяє створенню більш сприятливих умов при охолодженні і кристалізації металу шва.

Для виконання функцій захисту і обробки розплавленого металу флюси при розплавленні мають утворювати шлаки і гази з певними фізико-хімічними властивостями (табл. Д.6 – Д.9).

Умови проходження металургійних процесів:

- високоефективний захист зварювальної ванни (наявність ізольованого від зовнішнього середовища простору) від кисню і азоту повітря (у швах, виконаних під флюсом, зміст азоту не перевищує 0,008%);

- об'єм зварювальної ванни більше, ніж при ручному дуговому зварюванні, довше і час перебування її в розплавленому стані, що сприяє більш повному проходженню хімічних реакцій між рідким металом і шлаками;

- стійкіша залежність між режимом зварювання і хімічним складом розплавленого металу, яка дозволяє з достатньою точністю і стабільністю одержувати заданий склад металу швів;

- легування шва марганцем і кремнієм шляхом відновлення їх з оксидів МпО і SiO_2, що перебувають у флюсі.

Дугове зварювання під флюсом відрізняється високою продуктивністю (для електрода діаметром 3 мм при ручному зварюванні щільність струму становить 11...18 А/мм^2, при автоматичному під шаром флюсу вона дорівнює 50...85 А/мм^2) і якістю одержуваних з'єднань, а також можливістю автоматизації процесу.

Гарна та відносно дешева теплова ізоляція зварювальної дуги, підвищений тиск газового середовища над ванною і більша щільність струму (щільність енергії в плямі нагрівання досягає 10^3 Вт/см^2) сприяють більш глибокому проплавленню металу, що зварюють. Це, у свою чергу, дозволяє зменшити глибину обробки кромок виробу, що зварюють, і скоротити кількість металу, потрібного для утворення швів (з 70 до 30%).

До недоліків процесу варто віднести: більш високі вимоги до чистоти зварювальних кромок і складання деталей; труднощі зварювання деталей невеликої товщини; виконання коротких швів і швів у положеннях, що відрізняються від нижнього. Утруднено візуальне спостереження за місцем знаходження електрода відносно стику, що зварюють.

Вибір режиму зварювання

Режим автоматичного зварювання під флюсом включає в себе ряд параметрів:

основні - сила зварювального струму, напруга дуги, швидкість зварювання, діаметр електрода, рід і полярність струму;

додаткові — виліт електрода, нахил електрода, швидкість подачі електродного дроту, марка флюсу і його грануляція і т.ін.

Параметри режиму зварювання вибирають виходячи з товщини метала, що зварюють, і необхідної форми зварного шва (визначається глибиною проплавлення і шириною шва). Режим зварювання визначають за експериментальними (довідковими) таблицями (наприклад табл. 3) або наближеним розрахунком із наступною перевіркою на технологічних пробах.

Таблиця 3 – Параметри режиму зварювання під флюсом стикових з'єднань

Тип з'єднання	Товщина зварюваних деталей, мм	Зазор, мм	Діаметр дроту, мм	Зварювальний струм, А	Напруга, В	Швидкість зварювання, м/год.
Стикове без скосу кромок на флюсовій подушці (однопрохідне зварювання)	3	0...1,5	1,6	275...300	28...30	30...35
	3	0...1,5	2	300...325	28...30	40...45
	5	0...2,5	2	425...450	32...34	30...35
	5	0...2,5	4	575...625	32...36	40...45
	8	0...3,0	4	725...775	32...36	30...35
С7	4	2 ± 1	3	250...280	35...38	42...44
	6	$3 \pm 1{,}5$	4	400...450	32...34	40...42
	8	$3 \pm 1{,}5$	5	500...550	32...34	37...40

Звичайно режим зварювання вибирають з урахуванням багатьох факторів:

1. Залежно від товщини металу, що зварюють, вибирають діаметр електродного дроту. При збільшенні діаметра електродного дроту і незмінному зварювальному струмі зростає ширина шва і зменшується глибина провару, а при зменшенні діаметра – навпаки.

2. Залежно від діаметра встановлюють силу зварювального

струму. При збільшенні сили струму кількість теплоти, що виділяється, зростає і збільшується тиск дуги на ванну. Це приводить до збільшення глибини проплавлення основного металу і частки участі його у формуванні швів. Ширина шва при цьому практично мало змінюється.

3. Характер залежності форми і розмірів шва від основних параметрів режимів зварювання при змінному струмі приблизно такий же, як і при постійному. Однак полярність постійного струму впливає на глибину проплавлення, що пояснюється різною кількістю теплоти, яка виділяється на катоді й аноді.

4. З підвищенням напруги дуги збільшується ширина шва, зменшується глибина проплавлення і висота його опуклості. З підвищенням напруги дуги збільшення ширини шва залежить і від роду струму. При тих самих напругах дуги ширина шва при зварюванні на постійному струмі, а особливо при зворотній полярності, значно більше ширини шва, виконаного на змінному струмі.

5. Вплив швидкості зварювання на глибину проплавлення і ширину шва має складний характер. Спочатку при збільшенні швидкості зварювання стовп дуги все більше витісняє рідкий метал, товщина прошарку рідкого металу під дугою зменшується і глибина проплавлення зростає. При подальшому збільшенні швидкості зварювання (більше 40...50 м/г) помітно зменшується погонна енергія, внаслідок чого і глибина проплавлення починає зменшуватися.

6. Для стійкого процесу зварювання швидкість подачі електродного дроту має дорівнювати швидкості її плавлення.

7. Зі збільшенням вильоту електрода він плавиться швидше, а основний метал залишається порівняно холодним. Крім того, при цьому збільшується довжина дуги, що приводить до зменшення глибини проплавлення і деякого збільшення ширини шва - звичайно вильот становить 40...60 мм.

8. Звичайно зварювання виконують вертикально розташованим електродом, але в окремих випадках зварювання виконують з нахилом електрода кутом уперед або кутом назад.

9. В основному автоматичне і механізоване зварювання під флюсом виконують у нижньому положенні, можливе зварювання на підйом або на спускання.

10. Флюси мають різні стабілізуючі властивості, з підвищенням яких збільшуються довжина дуги та її напруга (зростає ширина шва і зменшується глибина проплавлення). Флюси з малою об'ємною масою (грубозернисті склоподібні і пемзоподібні) здійснюють менший тиск на газову порожнину зони зварювання, що сприяє одержанню ширшого шва з меншою глибиною проплавлення. Застосування дрібнозернистого флюсу з більшою об'ємною масою приводить до збільшення глибини проплавлення і зменшення ширини шва.

Вимоги до джерел живлення для автоматичного зварювання

Необхідною умовою стійкого горіння дуги при автоматичному зварюванні є сталість довжини дуги. Сталість довжини дуги забезпечується рівністю швидкості подавання електродного дроту в зону зварювання $V_{п.ел}$ і швидкості його плавлення $V_{пл}$.

Ця рівність може порушитися внаслідок: а) коливання напруги в мережі, до якої підключена зварювальна головка; б) зміни швидкості подачі електродного дроту в результаті пробуксовування роликів, що подають; в) нерівностей на поверхні листів і наявності прихваток; г) відхилень у діаметрі електродного дроту, у результаті чого буде змінюватися швидкість її плавлення; д) магнітного дуття й інших причин, що змінюють швидкість подачі електрода або швидкість його плавлення.

Використовують два принципи регулювання дуги за напругою: саморегулювання дуги при постійній швидкості подачі електрода (рис. 9); примусове регулювання, при якому швидкість подачі електрода автоматично змінюється залежно від напруги дуги.

Коли $V_{п.ел} = V_{пл}$, процес стійкого горіння відбувається в точці A_1 (I_1), яка є точкою перетину ЗВАХ (крутоспадна 1, пологоспадна 2) і СВАХ дуги 3. При зростанні довжини дуги статична характеристика дуги підніметься (СВАХ дуги 4) і процес горіння переміститься в точку A_3. При цьому напруга дуги зросте, а сила зварювального струму I_3 зменшиться. Електрод буде плавитися менше, довжина дуги зменшиться і рівновага $V_{п.ел} = V_{пл}$ знову відновиться; при зменшенні довжини дуги (СВАХ 5) - точка A_2 (I_2) – все навпаки. Чим більше полога характеристика, тим у більших межах зміна сили зварювального струму при відхиленнях довжини дуги ($\Delta I_{3п} > \Delta I_{3к}$; $\Delta I_{2п} > \Delta I_{2к}$) і тим інтенсивніше буде відбуватися процес саморегулювання

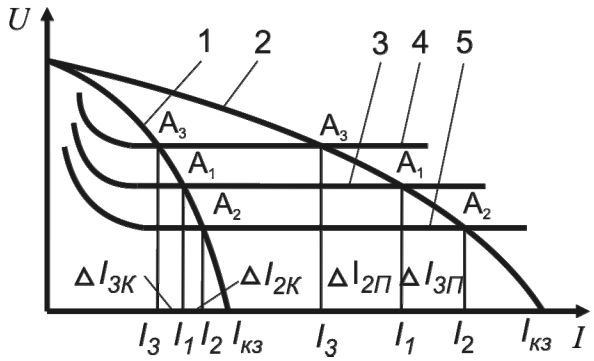


Рисунок 9 – Схема саморегулювання зварювальної дуги

У випадку застосування ДЖЗД із крутоспадними або штиковими ЗВАХ швидкість подачі електродного дроту має перебувати в прямій залежності від напруги на дузі: чим вище напруга на дузі, тим більше швидкість подачі електродного зварювального дроту; чим нижче напруга на дузі, тим менше швидкість її подачі.

Способи виконання стикових зварних з'єднань

Стикові зварні з'єднання є більш технологічними у виконанні і більш працездатними в експлуатації. За характером виконання вони бувають одно- та двобічними.

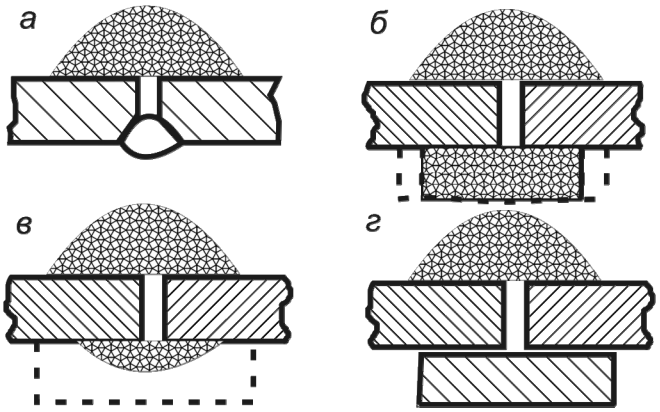


Рисунок 11 – Способи виконання зварних з`єднань при зварюванні під флюсом

З метою запобігання витіканню розплавленого металу в щілину і утворення пропалювань зварювання проводять (рис. 11): *а* - по підвареному вручну кореню шва, *б* - на флюсовій подушці , *в* - на мідних і флюсомідних підкладках, що знімаються, *г* - на підкладках, що залишаються.

Зварні з'єднання позначають відповідно до ДСТУ або ГОСТ (табл.Д.12 – Д.14).

Кутові шви виконують вертикальним електродом (найчастіше при виконанні шва «в човник») або з нахилом. З нахилом зварювання виконують у декілька проходів.

Зварювальний автомат типу А-1416

Зварювальний автомат призначений для електродугового зварювання під шаром флюсу.

Технічні характеристики

1.	Номінальний зварювальний струм при ПВ=100%, А	1000
2.	Кількість електродів	1
3.	Діаметр електродного дроту, мм	2…5
4.	Засіб захисту дуги	флюс
5.	Швидкість подачі електрода, м/год	від 47±7 до 509±16
6.	Швидкість зварювання, м/год	від 12_{-2} до 120^{+12}
7.	Регулювання швидкості подачи електрода	ступеневе
8.	Регулювання швидкості зварювання	ступеневе
9.	Маршова швидкість, м/год	950±50

Основні складові автомата – це зварювальна головка і джерело живлення. До складу самохідної підвісної головки автомата А-1416 (рис. 12) входять:

- платформа, що забезпечує переміщення автомата вздовж шва, який зварюють: з робочою швидкістю (швидкість зварювання) і з маршо-

вою швидкістю - настановні позиції (привід від асинхронного двигуна, швидкість переміщення регулюється ступенево за допомогою змінних шестерень);

- флюсосистема, що складається із флюсобункера 1, флюсоапарата (для відбору флюсу, що не розплавився, з місця зварювання) і флюсопроводів 3, 8;

- касети 1 для електродного дроту з гальмовим механізмом проти обертання касети по інерції;

- механізм підйому для регулювання положення мундштука по висоті (привід механічний з передачею гвинт-гайка, а також привід від асинхронного двигуна 4);

- механізм подачі електродного дроту (привід від асинхронного двигуна 7, швидкість подачі регулюється ступенево за допомогою змінних шестерень);

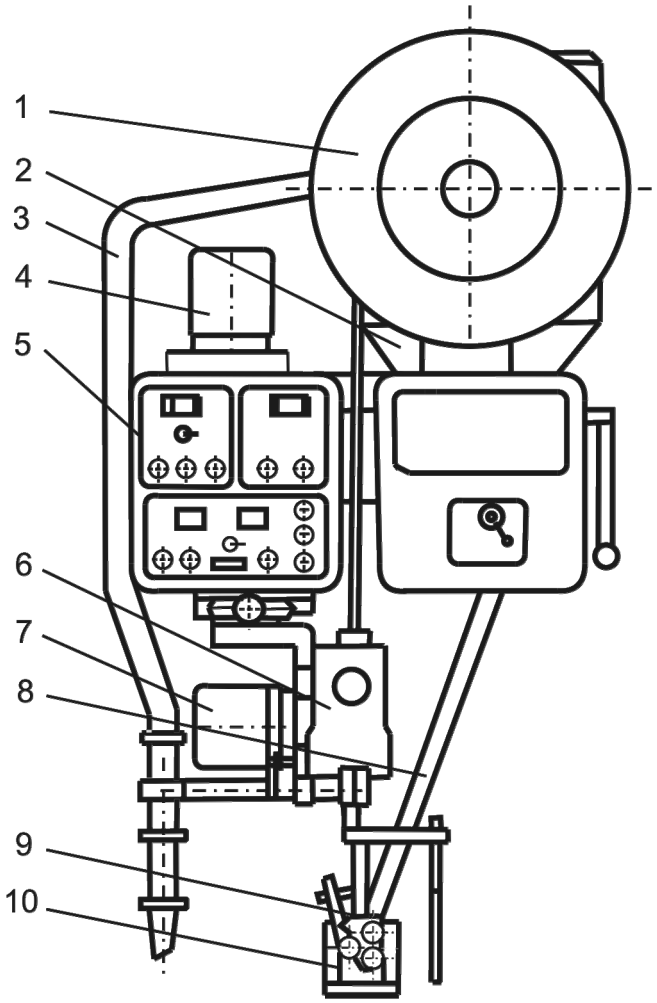


Рисунок 12 – Головка зварювального автомата А-1416

- правильно-притискний механізм 6 для виправлення електродного дроту і притиску його до ролика механізму подачі;

- мундштук 9, що має концентричну вирву для зсипання флюсу 10 і поверхню для з'єднання із притискним механізмом через ролик (установлений на підпруженому важелі), до якого підводиться струм до електрода;

- пульт керування 5, на передній панелі якого розташовані всі органи керування і прилади.

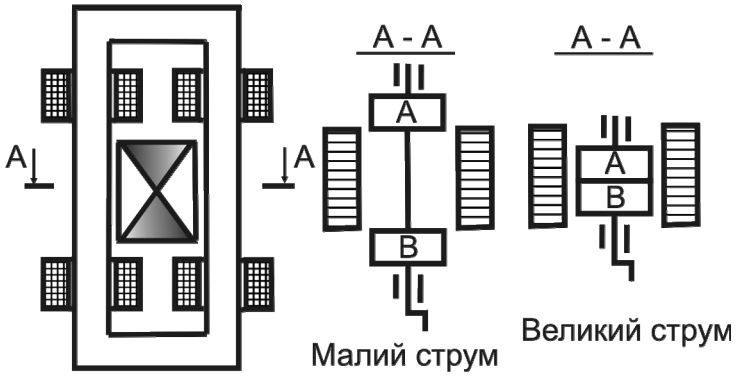


Рисунок 13 – Схема зварювального трансформатора з розсувним магнітним шунтом

Джерело живлення – зварювальний трансформатор СТ–500 з розсувним магнітним шунтом (рис. 13). У режимі малих струмів (частини А і В з'єднані і знаходяться між первинними та вторинними обмотками) основна частина магнітного потоку, який формується мережними обмотками трансформатора, проходить через шунт. В міру розсування магнітного шунта і виведення його за межі магнітопроводу трансформатора магнітний потік, що проходить крізь нього, буде зменшуватися, а зв'язок між первинними та вторинними обмотками - збільшуватися, внаслідок цього збільшиться зварювальний струм.

Струм орієнтовно визначається за покажчиком на трансформаторі, точніше - за амперметром при зварюванні.

Порядок роботи на автоматі

1. Заповнити флюсосистему флюсом необхідної марки, випробувати подачу флюсу в зону зварювання.
2. Заправити касету бухтою зварювального дроту, виставити ролики правильно-притискного механізму і механізму подачі електродного дроту.
3. Установити виріб, що буде зварюватися. Перевірити паралельність стику і руху головки, для чого вручну пересунути головку вперед - назад.
4. Установити режим зварювання: струм, швидкість подачі електродного дроту, швидкість зварювання
5. Підвести зварювальну головку в початок шва. Установити висоту мундштука над виробом так, щоб виліт електрода був відповідним його діаметру (висота шару флюсу має бути 40...60 мм). Кнопками "↑", "↓" уперти електродний дріт у виріб. Включити автоматичне переміщення головки.
6. Включити зварювання натисканням кнопки "Пуск" і відразу її відпустити.
7. Провариши шов, припинити зварювання. Для цього при наближенні головки до краю шва нажати спочатку кнопку «Стоп I», заварити кратер і через 1...2 с нажати кнопку «Стоп-2», не відпускаючи кнопки "Стоп-1".
8. Відвести зварювальну головку, зсипати залишки флюсу, після охолодження видалити шлакову корку.

2.2. Обладнання та матеріали

1. Автомат для дугового зварювання А-1416.
2. Зварювальні матеріали:

   флюс АН-348А: сталеві пластини 200×80×6 мм із Ст3; зварювальний дріт Св.-08А діаметром 3…5 мм.

3. Декілька різних макрошліфів зварних з'єднань під флюсом.
4. Прилад для вимірювання твердості ТК-2

2.3. Методика роботи

1. Ознайомитися із сутністю процесу та вибором режимів зварювання під флюсом.
2. Визначити особливості металургійних процесів у зварювальній ванні, структуру зварного шва, вимоги щодо джерел живлення.
3. Ознайомитися з будовою автомата А-1416.
4. Установити режими зварювання (табл.4), провести зварювання відповідно до «Порядку роботи на автоматі».

Таблиця 4 - Вихідні дані режимів і результати зварювання

Матеріал, товщина	Вид з'єднання	I, А	U, В	$V_{зв}$, м/год	$V_{п.ел}$, м/год	Найменування флюсу	Твердість		
							шва	ПШЗ	основного металу

5. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

2.4. Зміст звіту

1. Схема процесу ручного дугового зварювання.
2. Позначення зварного з'єднання відповідно до ДСТУ (ГОСТ) за вказівкою викладача.
3. Схема автомата А-1416 та його технічні характеристики.
4. Склад зварювального флюсу (за вказівкою викладача).
5. Будова зварного шва.
6. Таблиця вихідних даних і результатів зварювання.
7. Аналіз отриманих результатів, висновки.

2.5. Контрольні запитання

1. Розкажіть про суть процесу зварювання під флюсом.
2. У чому відмінність металургійних процесів?
3. Які компоненти входять до складу флюсу (за призначенням)?
4. Які параметри режиму автоматичного зварювання під флюсом?
5. Який вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання?
6. Розкажіть про основні вузли та механізми автомата А-1416.
7. В чому полягає саморегулювання електричної дуги?
8. Як забезпечується регулювання струму в джерелах живлення з магнітними шунтами розсувного типу?
9. Яку будову має зварне з'єднання?
10. Яка зона зварного з'єднання найбільш слабка і чому?

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ І ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ НЕПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ У СЕРЕДОВИЩІ АРГОНУ

Мета роботи: ознайомитися із суттю процесу аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом; установити особливості газового захисту металу шва; вивчити будову апарата інверторного типу ІСТ-125; зняти та побудувати ЗВАХ, СВАХ і залежність напруги на дузі від її довжини; провести тренувальне зварювання зразків.

3.1. Зміст роботи

Суть аргонодугового зварювання

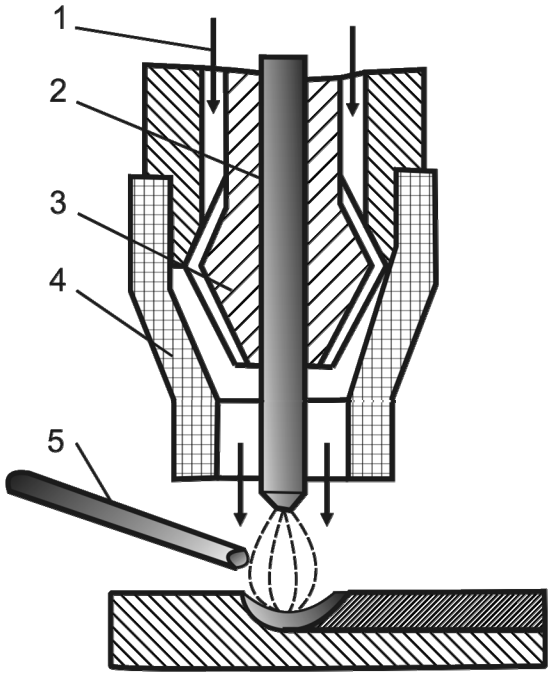


Рисунок 14 – Схема аргонодугового зварювання

Основним різновидом зварювання в інертному газовому середовищі є аргонодугове зварювання (як захист використовують аргон 1 , зварювання виконують вольфрамовим 2 (3 – тепловідвідний мундштук) або електродом, що плавиться, без подачі або з подачею присаджувального дроту 5 , на постійному або змінному струмі) (рис. 14).

Найпоширеніший спосіб захисту зони зварювання від впливу повітря – це струменистий захист, коли захисний газ подається в сопло 4 зварювального пальника.

Як захисний газ вибраний аргон. Аргон не вступає в хімічну реакцію з металами, не розчиняється в них, створює надійний захист, відтискуючи повітря від зони зварювання. У середовищі аргону спостерігається підвищена рухливість електронів, внаслідок чого дуга легше збуджується (табл. Д.2, Д.10).

Горіння дуги в гелії відбувається при більш високій напрузі (в 1,4-1,7 раза більшої, ніж в аргоні). Це вимагає застосування для живлення дуги джерел з підвищеною напругою холостого ходу.

При зварюванні з плавким електродом (MIG - Metal Inert Gas) електрод виготовляють з матеріалу приблизно того ж складу, що і метал, що зварюють. При зварюванні неплавким електродом як електрод звичайно використовують вольфрамові дроти (WIG - Wolfram Inert Gas), рідше - вугільні та графітові (табл. Д.1).

Вольфрам має високу температуру плавлення та кипіння (3380 і 5900^0С відповідно), високу термоелектронну емісію, високу корозійну і ерозійну стійкість, достатню механічну міцність. Для підвищення стійкості й електронної емісії у вольфрамові електроди додають присадки у вигляді оксиду торію, лантану, ітрію, цирконію.

Параметри зварювального режиму

Основні параметри зварювального режиму: рід, полярність і величина струму $I_д$; напруга дуги $U_д$; витрата захисного газу і швидкість його витікання із сопла пальника; швидкість зварювання $V_{зв}$; при зварюванні WIG - діаметр електрода $d_{ел}$, кут його заточення та діаметр притуплення торця, виліт електрода, нахил електрода вздовж осі шва, діаметр присаджувального матеріалу; при зварюванні MIG - діаметр і швидкість подачі електродного дроту.

Значення цих параметрів залежать від товщини та марки металу, що зварюють, виду та положення в просторі зварного з'єднання.

Для електрода із чистого вольфраму граничні величини струму дуги $I_д$: дуга прямої полярності - $I_д$ = 80$d_{ел}$; дуга зворотної полярності $-I_д$ = 20$d_{ел}$; дуга змінного струму - $I_д$ = 60$d_{ел}$. Для вольфрамових електродів з домішками окислів ітрію, лантану або торію припустимий струм збільшують на 30...50%.

Зі збільшенням кута заточення та зменшенням діаметра притуплення підвищується концентрація теплового потоку дуги, ростуть тиск дуги, щільність струму, глибина проплавлення.

Зі збільшенням довжини дуги ростуть її діаметр і пляма нагріву, збільшується ширина шва, трохи зменшується глибина проплавлення.

Витрата аргону вибирають залежно від струму дуги (дві крайності - не забезпечується якість захисту, відбувається переохолодження металу зварювальної ванни).

При підвищених швидкостях зварювання потік повітря, що набігає, зрушує захисний струмінь газу із зони плавлення.

Джерела живлення зварювальної дуги при ручному WIG

Для живлення зварювальної дуги застосовують спеціальні джерела струму, що відповідають певним вимогам.

Стійке горіння дуги при застосуванні W-електрода можливо лише при крутоспадній зовнішній вольт-амперній характеристиці . Джерелом живлення, що задовольняє такі вимоги, є апарат ІСТ-125.

Напівпровідниковий апарат ІСТ-125 призначений для ручного дугового зварювання плавким електродом і зварювання неплавким електродом у середовищі аргону.

Технічні дані

1. Номінальний зварювальний струм, А	125
2. Межі регулювання струму, А	25...125
3. Номінальна робоча напруга:	
- при зварюванні електродом, що плавиться, В	25
- при зварюванні електродом, що не плавиться, В	5
4. Напруга холостого ходу, В	36
5. Максимальна споживана потужність, кВт	6.0
6. Напруга живлення, В	220
7. Маса, кг, не більше	35

Принцип дії та побудова апарата ІСТ-125

Принцип роботи інвертора (рис. 15) полягає в перетворенні змінної напруги живильної мережі 220 В частотою 50 Гц у зварювальну напругу близько 36 В з допомогою високочастотного тиристорного перетворювача.

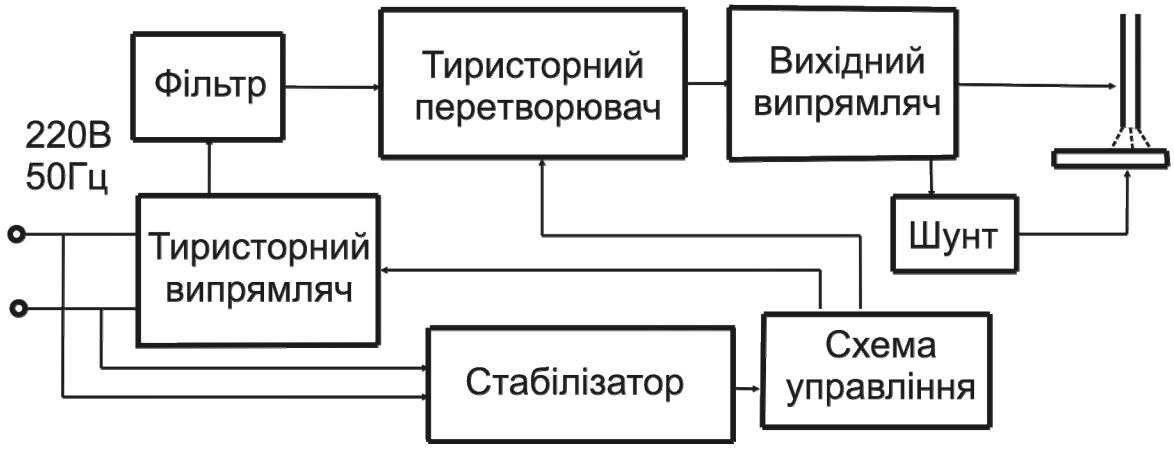


Рисунок 15 – Функціональна схема роботи інвертора ІСТ-125

Інвертор складається з тиристорного випрямляча, фільтра, тиристорного перетворювача, вихідного випрямляча і схеми керування. Змінна напруга з мережі, що поступає на вхід тиристорного випрямляча, перетворюється в постійну, потім в тиристорному перетворювачі у високочастотну, знову випрямляється у зварювальну у вихідному випрямлячі та надходить на вихід інвертора.

Схема керування обмежує напругу холостого ходу на виході інвертора, здійснює захист інвертора від надструмів і формує залежно від способу зварювання ЗВАХ.

Інвертор забезпечує такі види ЗВАХ (рис. 16):

- крутоспадну штикову із стабілізацією зварювального струму 1 при ММА зварюванні штучними електродами будь-якого типу;

- крутоспадну (штикову) із стабілізацією зварювального струму 2 при WIG зварюванні.

Завдяки тому, що в перетворювачі застосована висока частота (16 кГц), маса елементів і джерела в цілому істотно менше, ніж у традиційних джерелах живлення.

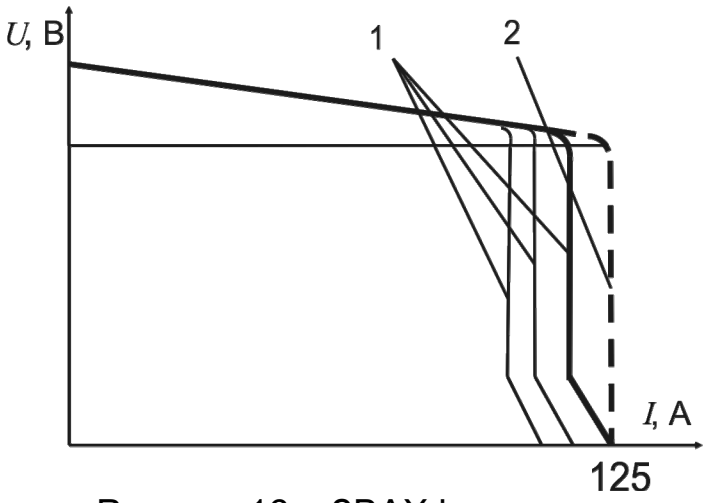


Рисунок 16 – ЗВАХ інвертора зварювального струму ІСТ-125

Інвертор виконаний як малогабаритний шаф на ніжках і являє собою переносну зварювальну установку в однокорпусному виконанні. Елементи силової частини схеми встановлені на двох горизонтальних шасі з ізоляційного матеріалу. Елементи ланцюгів керування розташовані в чотирьох платах друкованого монтажу, об'єднаних у блок.

На передній панелі інвертора (рис. 17) розташовані:

1 - клеми «+» і «-» для приєднання ІСТ-125 до мережі живлення;

2 - перемикач виду зварювання з положеннями «Аргонодугове» та «Ручне дугове»;

3 - лампа «Мережа» - для сигналізації про наявність напруги живлення;

4 – амперметр - для вимірювання величини зварювального струму;

5 - ручки «Повільно» - для плавного регулювання зварювального струму в межах діапазону;

6 - перемикач «Діапазони» («25...70» і «70...125») - для перемикання відповідних діапазонів зварювального струму.

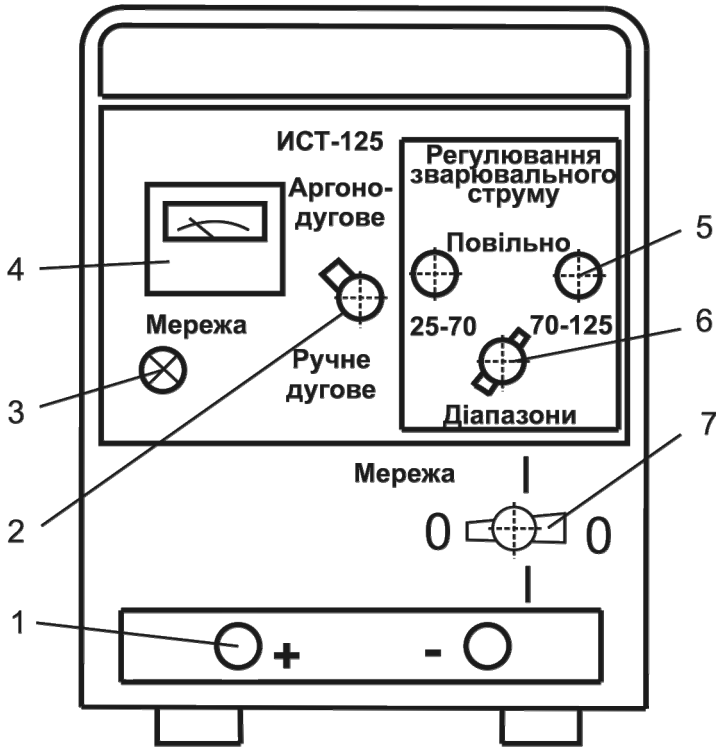


Рисунок 17 – Загальний вигляд інвертора ІСТ-125

Порядок роботи на апараті ІСТ-125

1. Включити вмикач, що живить установку.
2. Переключити тумблер 2 в положення «Аргонодугове».
3. Переключити перемикач «Діапазони» в положення залежно від величини зварювального струму.
4. Включити вмикач «Мережа» в положення «ВКЛ».
5. Виставити необхідну витрату захисного газу.
6. Виконати зварювання. Величину зварювального струму установлюють обертанням ручки «Плавно» відповідного діапазону.
7. Після закінчення роботи виключити інвертор, для чого встановити вимикач «Мережа» в положення «0».

3.2. Методика роботи

1. Ознайомитися зі суттю процесу аргонодугового зварювання неплавким електродом і властивостями електродів, що застосовуються.
2. Ознайомитися зі суттю газового захисту й властивостями газів, що використовуються.
3. Ознайомитися з будовою інвертора ІСТ-125.
4. Провести тренувальне зварювання.
5. Дослідити ЗВАХ ІСТ-125, СВАХ зварювальних дуг різної довжини, залежність напруги на дузі від її довжини на режимах за вказівкою викладача (табл. 5, 6).

Таблиця 5 -Протокол досліджень ЗВАХ і залежності $U_д = f(l_д)$

Довжина дуги $l_д$, мм					
Напруга $U_д$, В					
Струм $I_д$, А					

Таблиця 6 - Протокол досліджень СВАХ

Струм $I_д$, А						
Напруга $U_д$, В; $l_д$=___ мм						
Напруга $U_д$, В; $l_д$=___ мм						

6. Побудувати графіки: ЗВАХ - $U_д = f(I_д)$; $U_д = f(l_д)$;
СВАХ - $U_д = f(I_д)$ при $l_д$ = ___ мм, СВАХ $U_д = f(I_д)$ при

$l_д$ = ___ мм . Установити значення: падіння напруги в приелектродних зонах та падіння напруги на 1 мм довжини дуги.

7. Виконати аналіз отриманих результатів.

Вказівки щодо зняття ЗВАХ, СВАХ і залежності $U_д = f(l_д)$

При дослідженні ЗВАХ, СВАХ та *U = f(l)* закріпити пальник у пристосуванні, яке забезпечує йому необхідне (фіксоване) переміщення. Вихідні дані - за вказівкою викладача.

3.3. Обладнання та матеріали

1. Пост для аргонодугового зварювання; ІСТ-125.
2. Інструменти для зварювання.
3. Прилади для вимірювання:
   пристосування для фіксованої зміни довжини дуги;
   вольтметр, діапазон вимірювання 0…50 В.
4. Зварювальні матеріали: вольфрамовий електрод; аргон;
   підкладні пластини з міді та легованої сталі товщиною ≥20мм;
   пластини з вуглецевої і легованої сталі та алюмінію товщиною 0,8…1,2 мм.

3.4. Зміст звіту

1. Схема процесу аргонодугового зварювання.
2. Пояснення щодо використання W-електрода та Ar.
3. Принципова схема ІСТ-125, його призначення й технічні дані.
4. Протоколи та графіки досліджень.
5. Аналіз отриманих результатів. Висновки.

3.5. Контрольні запитання

1. В чому полягає суть газового захисту при зварюванні?
2. Розкажіть про захисні властивості аргону.
3. Які переваги використання W як неплавкого електрода?
4. Як впливає довжина дуги на її напругу?
5. Як впливає полярність зварювального струму на процес зварювання?
6. Із якою формою ЗВАХ необхідні джерела живлення для ручного зварювання вольфрамовим електродом?
7. З яких блоків складається ІСТ-125, яке їх призначення?
8. Як регулюється зварювальний струм в апараті ІСТ-125?
9. Чому, якщо зварювати з використанням ІСТ-125, при зміні довжини дуги струм залишається практично постійним?

4. ПЛАЗМОВЕ ЗВАРЮВАННЯ МЕТАЛУ МАЛОЇ ТОВЩИНИ

Мета роботи: ознайомитися із суттю процесу плазмового зварювання; установити особливості плазмового струменя як джерела нагрівання; обчислити щільність теплового плазмового потоку та площу розігрівання; вивчити будову установки МПУ-4, провести тренувальне зварювання, установити оптимальні режими зварювання зразків.

4.1. Зміст роботи

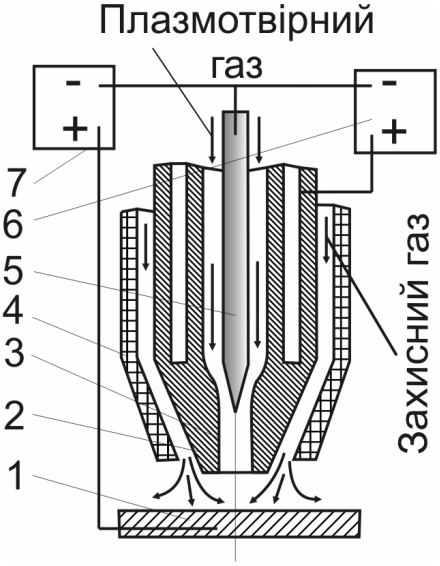


Рисунок 18 – Схема плазмотрона

Суть плазмового зварювання

Плазмоводуговим прийнято називати стиснений дуговий розряд з інтенсивним плазмоутворенням. Усяке стиснення дуги може стати причиною виникнення плазмового струму внаслідок появи градієнта тиску.

Для одержання дугового плазмового струменя використовують спеціальні плазмові пальники, або так звані плазмотрони (рис. 18), у яких звичайно є неплавкий вольфрамовий 5 або мідний катод, ізольований від каналу і сопла головки 2, а анодом може бути сопло або виріб 1.

На початку процесу для утворення достатньої кількості заряджених частинок збуджується чергова слабкоструминна дуга безпосередньо між катодом 5 і мідним охолоджуваним соплом 2, наприклад за допомогою осцилятора 6.

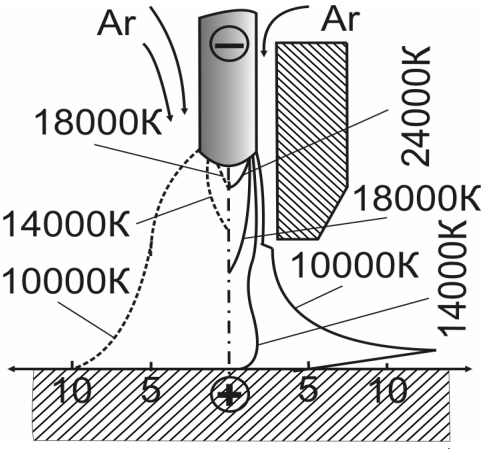


Рисунок 19 – Розподіл температур у дузі

Плазмовий струмінь утворюється в каналі сопла 3 і стабілізується його стінками та холодним газом, що відокремлює стовп дуги від цих стінок.

У наявності стабілізуючого каналу і полягає основна відмінність плазмотрона від звичайного пальника для зварювання в захисних газах. Завдяки обтисненню в каналі сопла плазмова дуга (——) на відміну від звичайної (----) характеризується високими температурами стовпа (рис.19). Порівняно малий діаметр і достатня довжина каналу забезпечують необхідну для стабілізації

плазмового стовпа швидкість газового потоку.

При різанні плазма виходить із сопла з надзвуковою швидкістю (3...4 М). Це досягається малим обсягом і високим тиском у камері (до 5 МПа), а також формою сопла, що розширюється.

Залежно від виду позитивного електрода (анода) плазмова дуга може бути прямої і непрямої дії. У першому випадку анодом є виріб 1, а катодом – стовп дуги, у цих випадках дугу часто називають «проникаючою», або дугою прямої дії (ефективний коефіцієнт корисної дії $\eta_e \approx 0,7…0,9$). Якщо анодом є сопло 2, що конструктивно може збігатися з каналом плазмового пальника, то джерело теплоти зі струменем плазми, виділеної зі стовпа дуги у вигляді факела, стає незалежним від виробу. Таку дугу називають дугою непрямої дії ($\eta_e \approx 0,3…0,5$), або просто плазмовим струменем.

Газове середовище в пальнику для плазмової обробки матеріалу має виконувати такі функції: захищати від окислювання та прохолоджувати вольфрамовий електрод і сопло (захисний газ); забезпечувати одержання стабілізованого плазмового струменя з необхідними температурою та швидкістю (плазмотвірний газ); забезпечувати найкращу теплопередачу до виробу.

Як плазмотвірний матеріал звичайно застосовують гази (аргон , гелій - $T_{плазми} = 15\,000…25\,000$ К; азот, водень - $T_{плазми} = 5000…7000$ К; повітря і т. ін.), а також воду (у плазмотронах з водяною стабілізацією $T_{плазми} = 50\,000$ К).

Для захисту катода і сопла від руйнування та перегрівання найкращим газом вважають аргон, тому що він хімічно інертний і має малу теплопровідність. Однак аргон є малоефективним для перетворення електричної енергії в теплову. По-перше, напруженість поля дугового стовпа в аргоні менше, ніж у водні, азоті, гелії: $E_{Ar} \approx 0,8$ В/мм; $E_{N2} \approx 2,0$ В/мм; $E_{H2} \approx 10,0$ В/мм (при **I** = *10 А*). По-друге, ентальпія (об'ємна тепломісткість) аргонової плазми при температурі цієї плазми значно менша, ніж плазми азоту або водню (для N_2 - 16; Ar - 3; H_2 - 12 кВт/м^3 при Т= 10 000 К). Більш сприятливим газом для стабілізації дуги може бути азот (або повітря, що містить до 78% азоту), тому що його ентальпія при Т = 10 000 К у п’ять разів більше ентальпії аргону, крім того, азот значно дешевше. Однак у повітрі й азоті вольфрамовий електрод руйнується інтенсивніше, у той час як у середовищі аргону та гелію вольфрам досить стійкий. Найкращий перетворювач енергії дуги в теплоту - воднева плазма (рис. 20).

Інколи як плазмотвірний газ використовують аргон, а захисного - гелій. Гелій захищає зварювальну ванну від взаємодії з атмосферою та утруднює розвиток фронту іонізації в радіальному напрямку, що додатково стискає дугу та робить її просторово стійкою.

Плазмову дугу застосовують для різання, зварювання, наплавлення та напилювання.

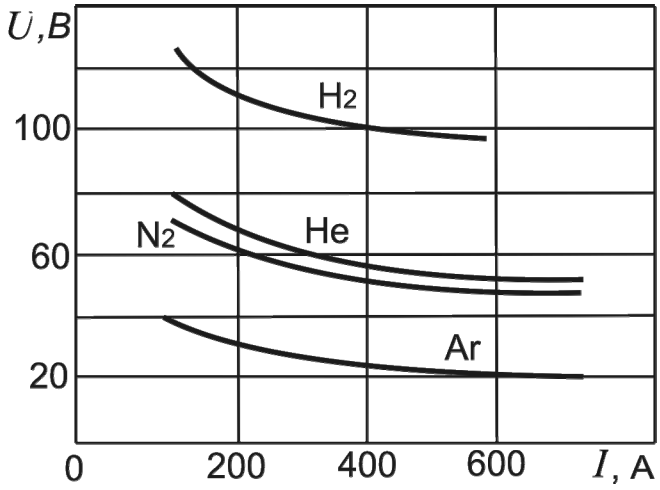


Рисунок 20 – Вольт-амперні характеристики плазмових дуг

Великий інтерес являє застосування так званої мікроплазми, наприклад для прецизійного різання і зварювання високотемпературним тонким струменем плазми. Мікроплазма відрізняється досить високою концентрацією енергії і малою плямою нагрівання (табл.7), що наближає її до променевих джерел енергії для зварювання (температура нагрівання поверхні основного металу залежить не тільки від кількості введеного тепла, але і від зосередженості цього тепла на поверхні виробу). Концентрація енергії при цьому процесі сприяє підвищенню швидкості зварювання, сприятливо впливає на метал ЗТВ, внаслідок чого зменшується деформація конструкцій у порівнянні з аргонодуговим зварюванням змінним струмом.

Таблиця 7 - Енергетичні показники термічних джерел енергії для зварювання та розподілу

Джерело тепла	Мінімальна площа плями нагрівання, $см^2$	Максимальна щільність енергії, $Вт/см^2$
Дуга в газах	10^{-3}	$1 \cdot 10^5$
Електронний луч	10^{-7}	10^9
Лазерний луч	10^{-7}	10^{10}
Мікроплазмова дуга	10^{-6}	10^8

Горіння дуги досить стійке, а мала чутливість процесу до коливань її довжини значно полегшує операцію зварювання.

Вольфрамовий електрод у плазмовому пальнику запресовують в охолоджувану мідну обойму, що подовжує строк його служби.

У порівнянні з аргонодуговим зварюванням мікроплазмове забезпечує більше стійке горіння дуги на малих струмах, меншу ширину швів, більшу глибину проплавлення та більш вузьку зону термічного впливу. Завдяки цьому підвищуються механічні властивості зварних з'єднань і зменшуються деформації виробів, що зварюють. Микроплазмовим зварюванням можна виконувати стикові, відбортовані та кутові з'єднання металу товщиною 0,2…2 мм. Обробка крайок для всіх типів з'єднань не потрібна. При товщині металу 0,2…0,5 мм більш ста-

більна якість стикових з'єднань досягається у випадку застосування присадкового дроту. Метал товщиною 0,6...2 мм можна зварювати в стик як з використанням присадкового дроту, так і без його. Стикові з'єднання зварюють на технологічній підкладці. Таврові з'єднання мікроплазмовим зварюванням виконувати не рекомендується.

Як джерела живлення для ручного і автоматичного мікроплазмового зварювання використовують апарати асиметричного змінного струму А1281В, а для автоматичного зварювання різнополярними прямокутними імпульсами - апарати МПУ-РІ, МПУ-4 і МПУ-5. При ручному і автоматичному зварюванні застосовують відповідно пальники ПР061160А і 061213.

Технічний опис МПУ-4

Установка МПУ-4 призначена для ручного зварювання за допомогою плазмової струмини, чорних, кольорових, легких і тугоплавких металів і сплавів товщиною 0,1...1,5 мм.

Живлення установки здійснюється від трифазної мережі змінного струму (380 В).

Установка забезпечує чотири режими роботи:

1) режим А - зварювання постійним струмом прямої полярності із плавним регулюванням струму 2,5…30 А;

2) режим В - зварювання імпульсним струмом прямої полярності із плавним регулюванням імпульсів струму 2,5…30 А і дискретним регулюванням тривалості імпульсів і пауз між ними в межах 0,02...0,5 с;

3) режим С - зварювання імпульсами струму різної полярності із плавним регулюванням струму прямої полярності 2,5…30 А і з дискретним регулюванням тривалості імпульсів струму прямої полярності в межах 0,02...0,5 с і струму зворотної полярності 4…12 А і тривалістю імпульсів струму зворотної полярності в межах 0,02…0,5 с (табл. 8);

Таблиця 8 - Орієнтовні режими мікроплазмового зварювання алюмінію та сплаву АМг6 різнополярними прямокутними імпульсами.

Марка сплаву	Товщина, мм	Середнє значення I, А		Тривалість імпульсу, с		$V_{зв}$, м/г	Діаметр $W_{ел}$, мм	Витрати газів, л/хв	
		$I_{пр}$	$I_{звор}$ I	$t_{пр}$	$t_{звор}$			аргону	гелію
АД0	1,0	40...50	18...20	0,04	0,04	20...25	1,0	0,25...0,30	3...4
АМг6		35...40	16...18						
АД0	1,5	70...80	25...30	0,06	0,06	20...25	1,5	0,30...0,35	3...4
АМг6		60...70	20...25						
АД0	2,0	110...130	30...40	0,08	0,08	15...20	1,5...2	0,35...040	4...5
АМг6		90...110	30...40						

4) режим Д - зварювання постійним струмом зворотної полярності із плавним регулюванням струму 4…12 А.

Технічні дані

1. Споживана потужність, кВт	1,5
2. Витрати води для охолодження, л/хв	0,5
3. Витрати захисного газу, л/хв	2...4
4. Витрати плазмотвірного газу, л/хв	0,2...0,5
5. Чергова дуга:	
- напруга джерела струму, В	60...80
- струм у режимі А/Д, А	3±0,5, 5/6±0,5
6. Основна дуга, пряма полярність:	
- напруга джерела струму (холостий хід), В	55...80
- струм при напрузі на дузі 20±2В, А	2, 5. ..30
7. Основна дуга, зворотна полярність:	
напруга джерела струму (холостий хід), В	70...100
струм при напрузі на дузі 25±3В , А	4...12
8. Амплітуда імпульсу збудження дуги, В	220... 260
9. Тривалість імпульсу збудження, мкс	2

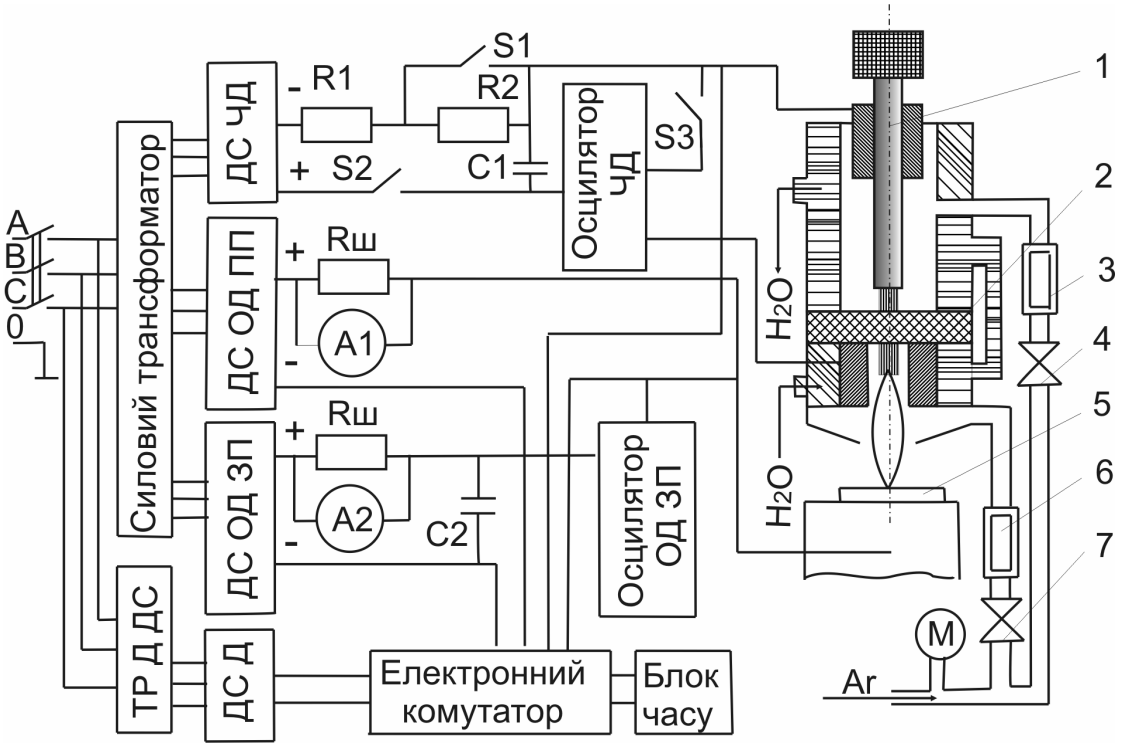


Рисунок 21 – Функціональна схема МПУ-4

Будова й робота установки

Конструктивно всі блоки установки виконані за функціональними ознаками, розміщені в кожусі і з'єднані між собою джгутами з розніманнями. На задній стінці розміщені органи підключення установки, на передню панель виведені органи керування та контролю.

Установка постачена реле витрати води, що призначено для відключення електроживлення при недостатній витраті води в системі охолодження.

Плазмотвірний і захисний гази подаються в пальник через два ротаметри 3,6, призначені для регулювання 4,7 і контролю витрати газу (рис. 21, де 1 - електрод, 2 - плазмотвірний канал, 5 – виріб).

Електрична схема МПУ-4 складається з таких функціональних вузлів:

а) блока трансформаторів;
б) джерела струму основної дуги прямої полярності (ДС ОД ПП);
в) джерела струму основної дуги зворотної полярності (ДС ОД ЗП);
г) джерела струму чергової дуги (ДС ЧД);
д) допоміжного джерела струму (ДС Д);
е) електронного комутатора;
ж) блока часу;
з) осцилятора збудження чергової дуги (ОД ЧД);
і) осцилятора збудження дуги зворотної полярності (ОД ЗП).

Блок трансформаторів складається із силового трансформатора і трансформатора допоміжного джерела струму і струму підсвічування ламп (ТР Д ДС). Каркасом блока трансформаторів є магнітопровід силового трансформатора, що складається із двох кільцевих пакетів, жорстко з’єднаних між собою трьома прямокутними пакетами.

У нижній частині силового трансформатора закріплені нерухомо котушки з первинними обмотками і обмотками живлення чергової дуги. Над ними на магнітопроводах розміщені рухомі котушки живлення основних дуг прямої та зворотної полярності.

Всі джерела живлення є трифазними діодними випрямлячами. Джерело струму основної дуги прямої полярності (ДС ОД ПП) зібрано із трьох вторинних рухомих котушок силового трансформатора і шести діодів. Струм дуги виміряється амперметром *А1* (СТРУМ ПРЯМОЇ), підключеним до шунта $R_ш$. У такий же спосіб зібране джерело струму, дуги зворотної полярності (ДС ОД ЗП), струм цієї дуги вимірюється амперметром *А2* (СТРУМ ЗВОРОТНИЙ).

Плавна зміна струму дуги прямої й зворотної полярності здійснюється переміщенням рухомих котушок вверх і вниз по магнітопроводах силового трансформатора за допомогою електродвигуна. Керування переміщенням здійснюється кнопками «БІЛЬШЕ» і «МЕН-

ШЕ».

Струм дуги прямої полярності можна змінювати ступенево тумблером «СТРУМ ДУГИ 10А-30А», яким включається магнітний пускач, контакти якого перемикають первинні обмотки силового трансформатора зіркою або трикутником.

Джерело струму чергової дуги (ДС ЧД) зібраний на трьох нерухомих вторинних котушках силового трансформатора і шести діодах. Для обмеження струму чергової дуги служать послідовно включені два резистори R1 , R2. Ступінь струму чергової дуги включається тумблером S2 («ЧЕРГОВА ДУГА»).

Допоміжне джерело струму (ДС Д) забезпечує роботу електронного комутатора, який забезпечує роботу установки в режимах А, Б, С і Д, підключаючи до пальника через два тиристори джерело живлення дуги прямої або зворотної полярності.

Блок часу (електронний блок) керує роботою комутатора, задаючи час імпульсів зварювального струму і пауз між ними в режимі «В» для дуги прямої полярності або тривалість імпульсів струму дуги прямої та зворотної полярності в режимі «С».

Осцилятор збудження чергової дуги (осцилятор ЧД) включений послідовно в ланцюг живлення чергової дуги, генерує високовольтні імпульси малої тривалості, які забезпечують іскровий пробій проміжку між електродом і соплом і збуджують чергову дугу за наявності в пальнику плазмотвірного газу. Осцилятор включається при натисканні кнопки «ЗБУДЖЕННЯ» (S3).

Осцилятор збудження дуги зворотної полярності (осцилятор ОД ЗП) забезпечує стійке збудження дуги зворотної полярності, включається в роботу в режимах С і Д.

Для захисту джерел живлення чергової дуги і джерела струму зворотної полярності від високовольтної напруги осциляторів установлені конденсатори С1 і С2.

Вимірювання напруги джерел струму прямої та зворотної полярності при холостому ході та в робочому режимі здійснюється за допомогою вольтметра «Напруга зварювання» при натисканні кнопки «Вимір напруги». Підключення вольтметра до відповідних джерел здійснюється тумблером "+" і "-".

Підготовка до роботи

1. Перевірити:

- надійність заземлення;
- справність системи охолодження та газової системи (після перевірки закрити вентиль редуктора, ротаметрів, газового балона);
- правильність установки W-електрода в соплі пальника (електрод має бути виставлений на глибину не менше 1 мм і не повинен дотикатися сопла).

2. Установити органи керування у вихідне положення:
- тумблер «ОСНОВНА ДУГА» - у положення «ВИМК.»;
- тумблер «ЧЕРГОВА ДУГА» - у положення «ВИМК.»;
- перемикач «РЕЖИМ» - у положення «А».

Порядок роботи

1. Подати:
- проточну воду в систему охолодження установки;
- напругу живлення від силового розподільного щита.

2. Установити тумблер «СТРУМ ДУГИ 10А-30А» в положення відповідно до вибраного режиму за технологічною картою.

3. Нажати кнопку «МЕРЕЖА ВМИК.», при цьому мають засвітитися лампи підсвічування шкали барабана, ротаметрів.

4. Подати в установку плазмотвірний та захисний гази, за допомогою вентилів ротаметра "Аргон" і "Зах. газ" установити задані витрати відповідно до технологічної карти.

5. Установити за шкалою барабана орієнтовний згідно з технологічною картою струм зварювання, натискаючи кнопку «Більше» або «Менше».

6. Включити тумблер "ЧЕРГОВА ДУГА", нажати кнопку «ЗБУДЖЕННЯ» (для режиму «С» перед цим тумблер 10А-30А переключити в положення «30»). При цьому має з’явитися чергова дуга між електродом і соплом.

7. Включити тумблер "ОСНОВНА ДУГА".

8. Піднести пальник до технологічного зразка на відстань 1...2 мм, збудити основну дугу, відрегулювати струм дуги кнопками "БІЛЬШЕ" і "МЕНШЕ", контролюючи його значення по амперметру "СТРУМ ПРЯМИЙ" або "СТРУМ ЗВОРОТНИЙ".

9. Відвести пальник від зразка до загасання основної дуги.

10. Відповідно до технологічної карти установити потрібний режим зварювання кнопковим перемикачем «РЕЖИМ», а також перемикачами тривалості зварювальних імпульсів і пауз (для режимів «В» і «С»).

11. Підвести пальник до виробу, що зварюють, після збудження основної дуги розтягнути її до потрібної довжини і виконати зварювання.

12. Після закінчення роботи виконати вимкнення установки:
- вимкнути тумблери «ОСНОВНА ДУГА», «ЧЕРГОВА ДУГА», установку кнопкою «МЕРЕЖА» «ВИКЛ.»;
- перекрити подачу плазмотвірного та захисного газу за допомогою вентилів на балонах, редукторах і вентилях на ротаметрах;
- перекрити подачу води для охолодження;
- вимкнути рубильник на розподільному щиті.

4.2. Обладнання та матеріали

1. Пост для дугового зварювання.
2. Установка для мікроплазмового зварювання МПУ-4.
3. Мікроскоп.
4. Руйнівна машина УМП - 5.
5. Зварювальні матеріали:
   вольфрамовий електрод; аргон;
   пристрій для фіксації зразків;
   зразки з легованої сталі та алюмінію товщиною 0,5…1,2 мм.

4.3. Методика роботи

1. Ознайомитися із суттю процесу плазмового зварювання.
2. Визначити особливості процесу плазмового зварювання.
3. Ознайомитися з будовою установки МПУ-4.

Таблиця 9 – Протокол досліджень

Вихідні дані, параметри режиму, результати	Номер зразка			
Марка матеріалу	1	2	3	4
Товщина зразка, мм				
Вид з'єднання				
Діаметр вольфрамового електрода				
Швидкість зварювання, м/год				
Витрати плазмотвірного газу, л/хв				
Витрати захисного газу, л/хв				
Режим «А»: напруга холостого ходу, В				
напруга при зварюванні, В				
струм, А				
Режим «Д»: напруга холостого ходу, В				
напруга при зварюванні, В				
струм, А				
Режим «В»: тривалість імпульсу струму, с				
Режим «С»: тривалість імпульсу струму, с				
«В», «С» :тривалість паузи між імпульсами,с				
Руйнівне зусилля зварного зразка, Н				
Руйнівне зусилля матеріалу зразка, Н				
Коефіцієнт міцності зварного зразка				
Щільність теплового потоку, Вт/мм^2				

4. Установити режими зварювання (табл.9), провести зварювання зразків відповідно до «Порядку роботи …», перевірити на міцність

зварні з'єднання, знайти коефіцієнт міцності.

5. Установити значення мінімальної площі нагрівання та максимальної щільності теплового нагрівання.

Площа введення тепла F визначається за площею ерозійної зони, яку одержують у вигляді точкових плям при швидкому переміщенні основної дуги по поверхні зразка. Площа плями приблизно дорівнює площі введення тепла у виріб:

$$q_F = \frac{0,24 U_д I_д \eta_e}{F},$$

де $U_д$, $I_д$ - напруга та струм відповідно при плазмовому зварюванні на оптимальному режимі, η_e – ефективний ККД ≈ 0,4.

6. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів

4.4. Зміст звіту

1. Сутність плазмового зварювання.
2. Особливості плазмового струменя як джерела нагрівання.
3. Схеми плазмотрона, основні параметри режиму плазмового зварювання.
4. Блок-схема установки МПУ-4, технічні дані, специфікація основних вузлів схеми.
5. Протоколи досліджень (табл.9).
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки.

4.5. Контрольні запитання

1. Чим відрізняється плазмовий струмінь від стовпа звичайної електричної дуги?
2. Що являють собою плазмові дуги прямої?
3. Що являють собою плазмові дуги непрямої дії?
4. Яким вимогам має відповідати плазмотвірний газ?
5. Яким вимогам має відповідати захисний газ?
6. Що таке ефективна потужність і щільність теплового потоку стосовно до плазмового пальника?
7. Які основні параметри режиму плазмового зварювання?
8. Які основні вузли електричної схеми апарата?
9. Яка будова і робота плазмового пальника установки МПУ-4?
10. Укажіть режими роботи МПУ-4.
11. Який порядок включення установки та виконання зварювання?

5. НАПІВАВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВКИМ ЕЛЕКТРОДОМ У СЕРЕДОВИЩІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ

Мета роботи: ознайомитися із суттю процесу зварювання в середовищі вуглекислого газу; установити особливості металургійних процесів, що проходять при зварюванні, установити причини розбризкування електродного металу; вивчити режими і техніку зварювання; ознайомитися з будовою напівавтомата А-547.У, провести тренувальне зварювання, установити оптимальні режими зварювання зразків.

5.1. Зміст роботи

У процесі зварювання плавленням функцію захисту металу від шкідливого впливу повітря можуть виконувати вакуум, пари, гази, флюси, обмазки та спеціальні легуючі елементи.

Здатність захисних компонентів відтискувати або нейтралізувати шкідливу дію повітря є приблизно постійною. Взаємодія ж цих компонентів з металом, що переплавляють дугою, залежить від багатьох факторів (складу основного металу, електродного дроту, режиму зварювання і т. ін.) і може змінюватися в широких межах.

Всі способи захисту металу, що переплавляється дугою, від шкідливої дії повітря можна розділити на дві основні групи: фізичні - відтискування повітря від металу, що переплавляється дугою, шлаками, газами і парами або видалення повітря із зони зварювання шляхом створення в ній вакууму; фізико-хімічні - зниження розчинності кисню, азоту й водню повітря в рідкому металі, збільшення їхнього виділення з рідкого металу перед кристалізацією зварювальної ванни, зв'язування у твердому металі в сполуки, що не погіршують властивостей металу шва, і т. ін.

Напівавтоматичне зварювання електродом, що плавиться, в атмосфері вуглекислого газу (CO_2) одержала широке практичне застосування завдяки сполученню ряду позитивних якісних та економічних показників і використовується для зварювання низьковуглецевих, середньовуглецевих, низьколегованих і деяких нержавіючих сталей.

Стале горіння дуги та гарне формування шва можливі тільки при зварюванні на постійному струмі великої щільності (не менш 80...100 А/мм^2) і зворотної полярності (плюс на електроді).

У напівавтоматах для зварювання в CO_2 застосовують електродний дріт діаметром 0,5...2,5 мм із постійною швидкістю її подачі. Як джерело живлення використовують спеціальні випрямлячі або генератори, що мають жорстку або зростаючу зовнішню характеристику. Така характеристика забезпечує інтенсивне саморегулювання режиму горіння дуги при відхиленні довжини дуги від її оптимального значен-

ня і усуває коротке замикання.

Переваги зварювання в CO_2

1. Висока продуктивність.
2. Можливість зварювання в різних просторових положеннях металу малих і великих товщин.
3. Можливість спостереження за горінням дуги та формуванням шва, що зварюють.
4. Дешевизна і недефіцитність захисного газу.
5. Невисока вартість наплавлення 1 кг металу шва.

Недоліки зварювання в CO_2

1. Підвищене розбризкування електродного металу.
2. Більш грубе формування шва.

Металургійні особливості зварювання в CO_2 електродом, що плавиться

Склад активного захисного газу, що вводиться в зону зварювання, змінюється внаслідок його дисоціації, взаємодії з металом, змішування з газами і парами, що виділяються з металу, який переплавляється дугою, і змішування з парами та газами, що утворяться в результаті нагрівання речовин, що забруднюють поверхню електродного дроту та основного металу.

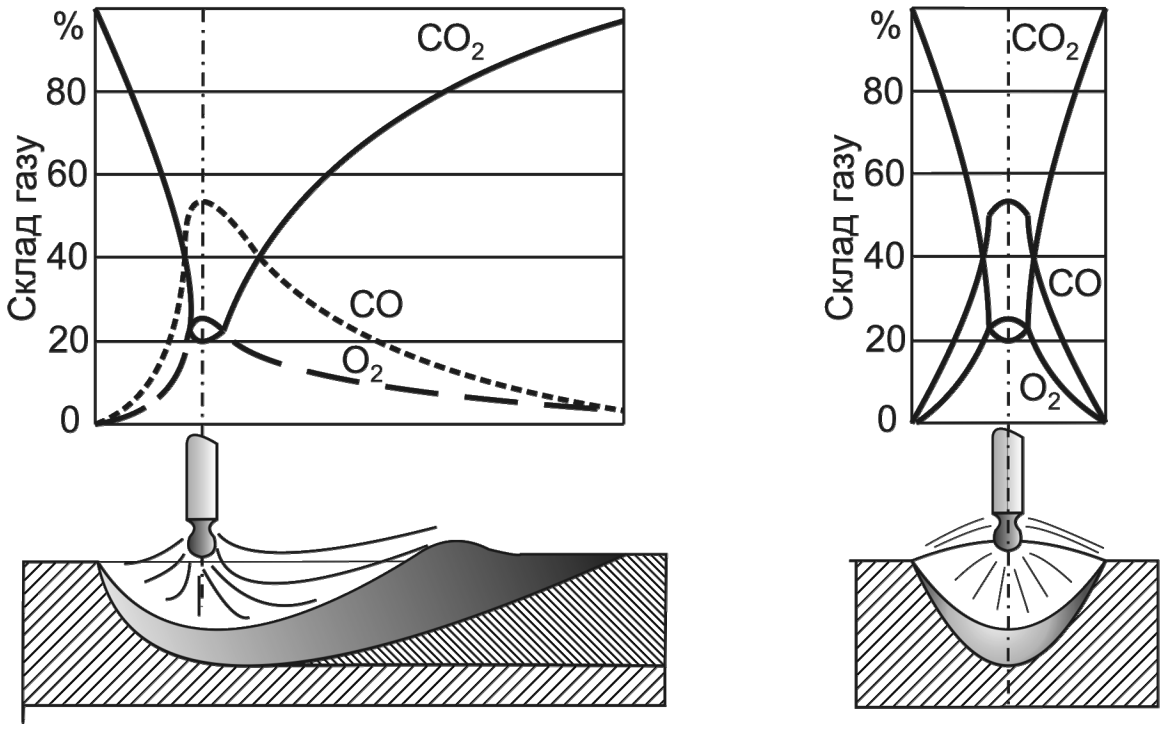


Рисунок 22 – Орієнтовна схема зміни складу газу, що контактує з металом зварювальної ванни при зварюванні в CO_2

Зміна сполуки газу у високотемпературній області зварювання визначає дисоціація CO_2, тому що при сталому режимі зварювання вплив всіх інших факторів стабільний. CO_2, що вводиться в зону зварювання, дисоціює при високих температурах з утворенням CO і O_2 (розрахункова схема зміни захисного газу, що контактує з металом зварювальної ванни в інтервалі температур вище 1800 К, показана на рис. 22).

Окислювання заліза і більшості легуючих компонентів сталі вуглекислим газом може проходити двома шляхами:

$$CO_2+Me=CO + MeO,$$

$$CO_2=CO + 1/2\ O_2.$$

З окислів, що утворяться в результаті окислювання рідкого металу (*FeO*, SiO_2, *MnO*, CrO_3, Al_2O_3, …), у металі практично розчинний тільки закис заліза (*FeO*).

Кисень, що розчиняється в сталі, може при певних температурах і концентраціях реагувати з домішками металу з утворенням шлаків і газів. У загальному вигляді ці реакції можуть бути виражені рівнянням

$$\left[FeO\right]+\left[C,Si,Mn,Al...\right]=\left(SiO_2,MnO...\right)+\left\{CO_2,SO_2,H_2O...\right\}+Fe.$$

При зварюванні у вуглекислому газі не виключена можливість, що в зону зварювання потрапить повітря, іржа, окалина, волога, масло або антикорозійне покриття електродних дротів і т.п. Ці речовини мають у своїй сполуці кисень, водень і азот.

За наявності вуглекислого газу і кисню утворюється нерозчинний у металі окисел азоту, який, у свою чергу, підсилює поглинання азоту металом.

Потенційна можливість проходження реакцій окислювання вуглецю, водню і сірки залежить від того, наскільки фактичні значення добутків [C]·[O], [H]·[O] і [S]·[O] більше відповідних рівноважних значень добутків цих елементів.

Взаємодія розчиненого в металі зварювальної ванни кисню з вуглецем, сіркою і атомарним воднем супроводжується утворенням газоподібних продуктів реакції і, отже, при певних температурних і концентраційних умовах може служити причиною появи пор у металі шва.

Сукупність основних фізико-хімічних процесів, що впливають на утворення пор у металі швів при зварюванні в CO_2, може бути показана у вигляді схеми на рис. 23.

Шкідливий вплив кисню, азоту та водню на метал шва має бути повністю або частково усунений вибором відповідних умов зварювання, які б сприяли: а) зменшенню розчинення газів у рідкому металі в

процесі його нагрівання; б) посиленню виділення газів з рідкого металу до початку його кристалізації; в) зменшенню шкідливого впливу газів, що залишилися у твердому металі.

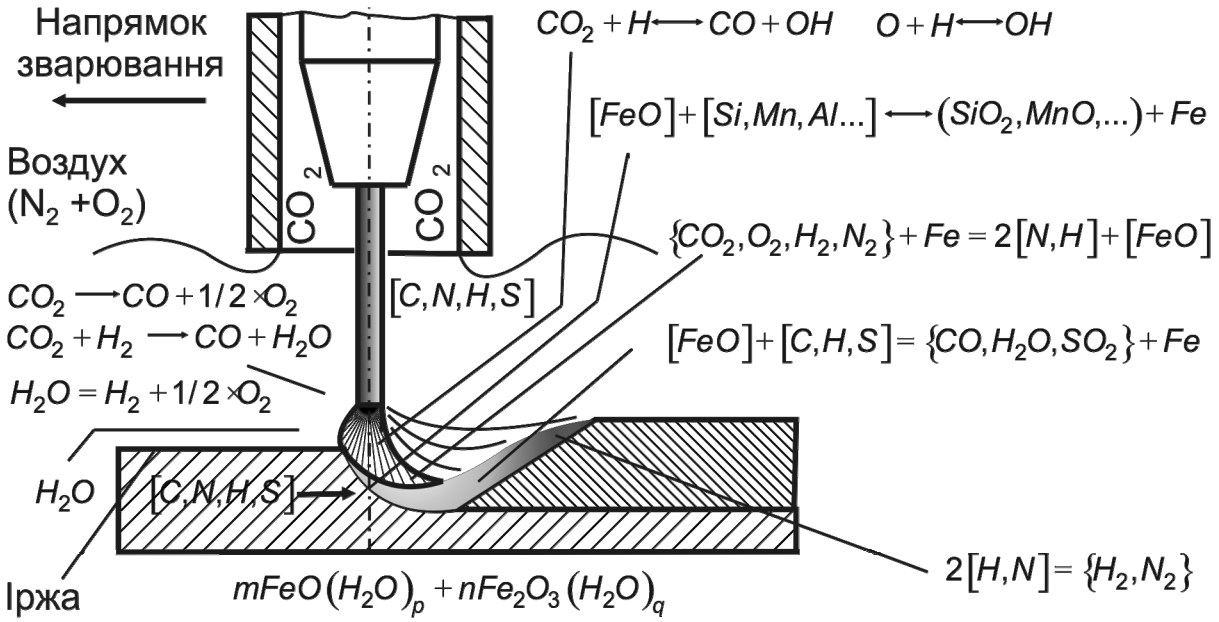


Рисунок 23 – Схема можливих фізико-хімічних процесів, що впливають на утворення пор при зварюванні в CO_2

В умовах дугового зварювання зменшити розчинність газів у рідкому металі можна введенням у метал деяких легуючих елементів, зниженням температури газу та металу, а також зменшенням площі та часу їхнього зіткнення. Найбільш ефективним є зниження їхньої температури. Із цього погляду особливий інтерес становлять способи зварювання з подовженим вильотом електродного дроту або з підігріванням електродного або присадкового дроту від спеціального джерела струму. Ці способи характеризуються підвищеними швидкостями плавлення дротів і більш низькою температурою краплі електродного металу.

Для посилення виділення газів з рідкого металу до початку його кристалізації звичайно викликають його штучне кипіння при високій температурі. При зварюванні в CO_2 «кипіння» металу зварювальної ванни може викликатися шляхом введення в неї через електродний дріт або основний метал підвищеного змісту вуглецю. Реакція вуглецю з киснем, що відбувається у високотемпературній зоні зварювальної ванни, знижує зміст у металі не тільки кисню, але і азоту й водню, які дифундують у бульбашці окису вуглецю, що утворюються в металі, а далі виділяються з нього.

Шкідливий вплив газів у металі шва можна зменшити легуванням металу елементами, що мають більшу хімічну спорідненість до газів.

Розбризкування електродного металу

Дугове зварювання сталей звичайно супроводжується викиданням із зони дуги великої кількості краплин рідкого металу різного розміру. При зварюванні покритими електродами і під флюсом більшість краплин або майже всі краплини уловлюються шлаками, а при зварюванні в CO_2 вони приварюються або прилипають до основного металу, сопла та наконечника пальника.

Інтенсивність розбризкування металу залежить від великої кількості факторів (складу та стану поверхні електродного дроту і основного металу, характеристики джерела живлення, величини і співвідношення параметрів режиму зварювання і т. ін.), у тому числі і від складу захисного газу.

Забризкування деталей, що зварюють, часто вимагає введення в технологічний процес зачищення поверхонь після зварювання, збільшує можливість появи непроварів та й невеликих шлакових та окисних включень у металі шва.

Сильне засмічення сопла пальника бризками металу порушує рівномірну подачу електродного дроту, а іноді викликає її приварювання до мундштука, погіршує газовий захист зони зварювання.

Утворення бризків може викликатися багатьма причинами: електродинамічними силами, що виникають на початку та при кінці короткого замикання дугового проміжку краплями електродного металу, вибуховим випаром рідких перемичок металу на початку та при кінці коротких замикань, бурхливим виділенням бульбашок газу (окису вуглецю, азоту, водню і т.ін.) з металу, що переплавляється дугою, активною та реактивною дією на електродні краплі потоків випару і газів, що виникають у зоні дуги, і т.п.

Найбільш радикальним засобом істотного загального зменшення розбризкування є застосування активованих дротів. Для зменшення розбризкування при зварюванні в CO_2 необхідно використовувати джерела живлення дуги з оптимальними динамічними характеристиками, уникати зварювання на середніх струмах, при яких різко підсилюється розбризкування, і вести зварювання з можливо меншою напругою дуги.

Налипання бризків до сопла та мундштука пальника значною мірою залежить від їхньої температури і матеріалу, з якого вони виготовлені. У більшості випадків деталі пальників, призначених для зварювання електродом, що плавиться, у захисних газах, виготовляють із міді та її сплавів, а температура деталей у процесі зварювання залежить від їхньої відстані до дуги та інтенсивності охолодження.

Режими зварювання

Вибір режиму зварювання залежить від складу та товщини металу, що зварюють, типу (виду) зварного з'єднання, положення шва в просторі та інших факторів.

До основних параметрів режиму зварювання відносяться полярність струму (як правило, зворотна), діаметр електродного дроту, сила струму, напруга дуги, швидкість зварювання, виліт електрода та витрати захисного газу.

Всі параметри режиму взаємозалежні, їх вибирають із таблиць (наприклад табл.10). Уточнення режиму відбувається шляхом пробного зварювання на зразках.

Таблиця 10 – Орієнтовні режими зварювання сталі марки Ст. 3 дротом СВ-08Г2С у середовищі CO_2

Діаметр електрода, мм	Товщина металу, мм	$I_{зв}$, А	$U_{дуги}$, В	$V_{звар}$, м/год	Виліт електрода, мм	Витрати CO_2, л/хв	Примітки
0,7	1,0	70	17	30...40	8...10	6...7	На підкладці
	1,5	95...110	18...19	30...40	8...10	6...7	У висячому положенні
	2,0	110...150	19...21	25...30	8...10	6...8	
	2,5	150	21,5	20...25	8...10	7...8	
1,0	1,0	100...110	18...19	30...40	10...11	6...7	
	2,0	125...185	19...22	30...40	10...11	6...7	
	3,0	150...180	20...22	25...30	10...11	6...8	
	4,0 і більш	180...210	22...24	25...30	10...11	7...9	
1,2	2,0	140...180	20...22	35...45	10...14	7...9	
	3,0	170...250	21...23	30...40	10...14	7...9	
	4.0 і більш	200...270	21...24	25...30	10...14	7...9	

Більша глибина проплавлення при зварюванні в CO_2 забезпечується: концентрованим розподілом теплоти дуги; кращим витисненням рідкого металу з-під дуги внаслідок підвищеного тиску та відсутності факторів, що перешкоджають цьому.

Сприятлива форма швів, зварених у CO_2, забезпечується особливостями переносу електродного металу через дугу, а також дисоціацією CO_2 у дузі та його асоціацією на поверхні металу, що обумовлюють більш рівномірний розподіл теплоти дуги по плямі нагрівання металу.

За всіх інших однакових умов збільшення діаметра електрода

супроводжується істотним зменшенням продуктивності процесу (головним чином зменшенням коефіцієнта наплавлення), деяким збільшенням ширини шва та зменшенням глибини проплавлення основного металу.

Підвищення сили струму викликає збільшення глибини проплавлення, а також кількості наплавленого (електродного) і проплавленого металів. Зі збільшенням сили струму кількість наплавленого металу зростає повільніше, ніж проплавленого. Ширина шва з підвищенням сили струму спочатку збільшується, а потім зменшується. Оптимальні режими зварювання відповідають максимальній ширині шва.

Зі збільшенням напруги дуги глибина проплавлення основного металу зменшується, а ширина шва та кількість наплавленого і проплавленого металу злегка збільшуються. Підвищення напруги дуги супроводжується посиленням розбризкування рідкого металу та погіршенням газового захисту зони зварювання, що призводить до шпар і підвищення змісту газів у металі швів.

Зі збільшенням швидкості зварювання зменшуються розміри швів і кількість наплавленого та проплавленого металів. Швидкість зварювання вибирають із умов одержання гарного формування металу шва.

Збільшення вильоту електрода в межах, що забезпечують задовільнене збудження та горіння дуги, злегка збільшує ширину шва й зменшує глибину проплавлення основного металу. Площа поперечного перерізу шва збільшується шляхом підвищення кількості наплавленого металу.

Застосовуване в практиці підвищення параметрів (форсування) режиму, що полягає в одночасній зміні в оптимальних співвідношеннях значень струму, напруги дуги та швидкості зварювання, супроводжується збільшенням всіх розмірів шва.

Збільшення витрат вуглекислого газу спочатку супроводжується зменшенням коефіцієнта наплавлення і розплавлення, що, мабуть, пов'язане зі зменшенням кількості повітря, і збільшенням кількості вуглекислого газу в зоні дуги та підвищенням витрат енергії на нагрівання й дисоціацію останнього. Подальше збільшення витрат газу (після повного витиснення повітря із зони зварювання) дуже мало зменшує коефіцієнти наплавлення та проплавлення, але помітно збільшує окислювання кремнію і марганцю.

Будова напівавтомата А-547.У

Напівавтомат А-547.У призначений для електродугового зварювання вуглецевих, низьколегованих і нержавіючих сталей тонким електродним дротом у вуглекислому газі.

Основні технічні дані

1. Товщина металу, що зварюють, мм	1...4
2. Діаметр електродного дроту, мм	0,7...1,2
3. Швидкість подачі дроту, м/год	150...450
4. Швидкість зварювання, м/год	25...40
5. Робоча напруга дуги, В	17...23
6. Межі робочого струму, А	40...250

Робоче місце для зварювання у атмосфері вуглекислого газу складається з таких основних елементів (рис. 24):

1. Джерело постійного струму із жорсткою зовнішньою характеристикою (випрямляч ВР-300).
2. Балон з рідким вуглекислим газом.
3. Підігрівник, призначений для підігрівання газу, що надходить із балона з метою запобігання замерзанню редуктора.

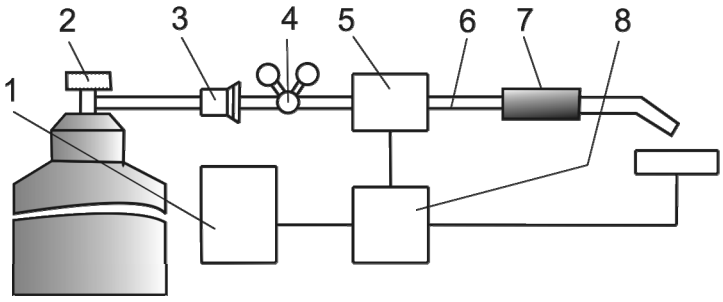


Рисунок 24 – Схема поста для зварювання в середовищі CO_2

4. Редуктор, призначений для регулювання витрати газу (зниження тиску газу до 1...6 кгс/см^2).
5. Механізм, що подає електродний дріт у зону дуги. Швидкість подачі дроту змінюється плавно зміною числа обертів електродвигуна реостатом. У корпусі механізму розміщений також відсікач газу.
6, 7. Сполучний шланг і тримач, які забезпечують підведення зварювального струму до електрода, напрямок руху електродного дроту, подачу вуглекислого газу в зону зварювання. На тримачі розташована також кнопка включення струму, подачі дроту й газу.
8. Пульт керування, на якому розташовані: загальний вимикач, реостат регулювання подачі швидкості дроту, силовий контактор, вольтметр, амперметр та інші допоміжні елементи,

Робота електричної схеми напівавтомата

Вимикачем ВМК забезпечується підключення всієї апаратури напівавтомата (рис. 25).

При натисканні й утриманні розташованої на тримачі кнопки «ВМК1»:

- спрацьовує контактор «К» і на тримач через шунт «Ш» подається напруга джерела струму;
- включається двигун «Д» механізму, що подає дріт;
- включається відсікач газу «ВГ». Замикання дроту на виріб приводить

до швидкого розплавлення вильоту дроту та збудження дуги.

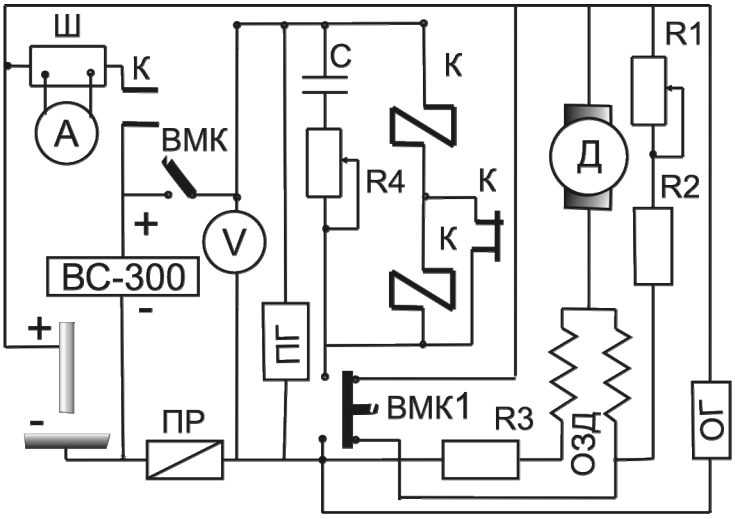


Рисунок 25 – Принципова електрична схема напівавтомата А-547.У

При відпусканні кнопки «ВМК1»:

- розривається коло живлення силового контактора «К», але завдяки ємності «С» котушка контактора продовжує перебувати під напругою ще 0,4...1,1 с (корегується за допомогою потенціометра «R4»);
- шунтується якір електродвигуна (через нормально закриті контакти «ВКМ1»), припиняється подача електродного дроту, кінець її оплавляється і дуга обривається;
- через 0,4...1,1 с контактор знеструмлюється та розмикає зварювальне коло, коло живлення двигуна і відсікача газу.

Контроль за режимом зварювання здійснюється за амперметром «А» і вольтметром «V» на пульті керування.

У схемі є підігрівник газу «ПГ», плавкий запобіжник «ПЗ», опори «R3» і «R2», що обмежують струм в обмотках збудження електродвигуна «ОЗД», а також реостат «R1» для регулювання швидкості подачі дроту.

Порядок роботи напівавтомата

1. Включити:

- тумблер «ВМК», розташований на панелі керування;
- пакетний вимикач, що перебуває на передній панелі випрямляча ВС-300 у нижній її частині з лівої сторони;
- вилку підігрівника у штепсельне гніздо на панелі керування.

2. Відкрити вентиль на балоні із CO_2.

3. Установити відповідно до вибраного режиму (табл. 10):

- напругу (за допомогою двох перемикачів на передній стінці випрямляча ВС-300);
- у потрібне положення рукоятку реостата електродвигуна подачі електродного дроту, розташовану на панелі керування;
- робочий тиск газу в межах 1,1...1,4 кгс/см^2, що відповідає витраті 6...7 л/хв.

4. Перевірити систему подачі дроту (не замикаючи зварювальне коло, включати на 2...3 с кнопку «ВКМ1» на тримачі, дріт має подава-

тися плавно без ривків.

5. Виконати пробне зварювання на зразках, попередньо обрізавши надлишок дроту (довжина виліту 20...25 мм, довжина дуги 10...12 мм). Зняти показання амперметра та вольтметра. Для закінчення зварювання відпустити кнопку «ВКМ», не відводячи тримача від зразка до затвердіння ванни розплавленого металу.

6. Оцінити візуально якість зварного шва, порівнюючи його з еталоном і за необхідності скорегувати режим, змінюючи напругу та швидкість подачі дроту.

7. Очистити деталі від можливих забруднень, установити в пристосування, зробити зварювання, виміряти I_p і U_p.

8. Перевірити зовнішнім оглядом якість виконаного зварювання, порівнюючи з еталонними зразками.

9. Виключити:
- тумблер ВКМ;
- вилку підігрівника газу;
- пакетний вимикач випрямляча ВС-300.

10. Закрити вентиль балона.

5.2. Обладнання та матеріали

1. Пост для дугового зварювання.
2. Напівавтомат А-547.У для зварювання в середовищі CO_2.
3. Розривна машина УМП-5.
4. Зварювальні матеріали:
- електродний дріт товшиною 0,7...1,2 мм ;
- балон з CO_2;
- пристрій для фіксації зразків;
- листові зразки з вуглецевої та низьколегованої сталі товшиною 0,5...1,2 мм.

5.3. Методика роботи

1. Ознайомитися зі суттю процесу зварювання плавким електродом у середовищі CO_2.

2. Установити особливості металургійних процесів, що проходять при зварюванні.

3. Установити причини розбризкування електродного металу.

4. Установити вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання

5. Ознайомитися з будовою напівавтомата А-547.У.

6. Провести тренувальне зварювання

7. Установити режими зварювання (табл.11, матеріал та його тов-

щина - за вказівкою викладача), провести зварювання зразків, перевірити на міцність зварні з'єднання, знайти коефіцієнт міцності.

Таблиця 11 - Протокол режиму зварювання та випробування зразків

Марка основного металу _____. Товщина _____ Вид з'єднання _____											
№ п/п	Електродний дріт: марка, діаметр	Режим зварювання					Результати механічних випробувань			Примітки
		I_p, А	U_p, В	Витрата CO_2, л/хв	V_e, м/год	$V_{зв}$, м/год	Основного металу P_0, Н	Зварного зразка $P_{зв}$, Н	$P_{зв}/P_0$, %	

8. Скласти звіт, виконати аналіз отриманих результатів.

5.4. Зміст звіту

1. Схема зварювання в CO_2; особливості металургійних процесів при зварюванні в CO_2; основні параметри режиму та їх вплив на параметри зварного з'єднання.
2. Технічні дані напівавтомата А-547.У; специфікація основних вузлів схеми.
3. Принципова електрична схема напівавтомата.
4. Блок-схема поста для зварювання в CO_2,
5. Результати досліджень (табл.10).
6. Аналіз отриманих результатів. Висновки.

5.5. Контрольні запитання

1. Розкажіть про суть зварювання в середовищі CO_2, переваги, недоліки.
2. Як змінюється склад газу, що контактує з металом зварювальної ванни?
3. Як взаємодіє вуглекислий газ із розплавленим металом?
4. Укажіть причини виникнення пор при зварюванні в CO_2.
5. Що є причиною розбризкування електродного металу?
6. Як можна зменшити розчинність газів у рідкому металі?
7. Які параметри режиму зварювання в CO_2?
8. Який вплив параметрів режиму на параметри зварного з'єднання?
9. Розкажіть про основні вузли і механізми автомата А-1416.
10. В чому є саморегулювання електричної дуги?
11. Як працює електрична схема напівавтомата?

6. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ПРИ ДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ

Основні небезпеки, що призводять до виробничих травм при зварюванні:

- ураження електричним струмом при електорозварювальних роботах;
- ураження зору та відкритої поверхні шкіри випромінюванням електричної дуги;
- отруєння організму шкідливими газами, пилом і випарами, що виділяються при зварюванні;
- травми від вибухів балонів стиснутого газу, ацетиленових генераторів і посудин з-під горючих речовин;
- пожежна небезпека і опіки;
- механічні травми при заготівельних і складально-зварювальних операціях;
- можливість радіаційного враження при контролі зварних з'єднань радіаційними методами.

Електробезпека. Враження електричним струмом відбувається при дотику до струмоведучих частин електропроводки та зварювальної апаратури, що застосовують для дугового контактного та променевого видів зварювання. Струми, що проходять через тіло людини, більші ніж 0,05 А (при частоті 50 Гц), можуть викликати важкі наслідки й навіть смерть (>0,1 А). Опір людського організму залежно від його стану (втомленість, вологість шкіри, стан здоров'я) змінюється в широких межах від 1000 до 20 000 Ом. Напруга холостого ходу джерел живлення нормальної дуги досягає 90 В, а обтиснутої дуги - 200 В. Тому при поганому самопочутті зварника через нього може пройти струм, близький до граничного, - 0,09 А.

Електробезпека забезпечується:

- виконанням вимог електробезпеки електрозварювального обладнання, надійною ізоляцією, застосуванням захисних огорож, автоблокуванням, заземленням електрообладнання та його елементів, обмеженням напруги холостого ходу джерел живлення (генератори постійного струму - до 90 В, трансформатори - до 75 В). Довжина проводів між мережею живлення і пересувним зварювальним агрегатом не має перевищувати 15 м. Корпуси зварювальних апаратів, каркаси розподільних щитів і шаф необхідно заземлювати мідним проводом перерізом не менше 6 мм^2 чи сталевим проводом перерізом не менше 12 мм^2. Температура нагрівання окремих частин зварювального агрегата не має перевищувати 75° С;
- індивідуальними засобами захисту (робота в сухому та міцному спецодязі та рукавицях, у черевиках без металевих шпильок і гвіздків);

- додержанням умов роботи (користуватися гумовим килимком; ремонт електрозварювального обладнання і апаратури виконувати спеціалістами-електриками).

Захист зору та відкритої поверхні шкіри. Електрична зварювальна дуга створює три види випромінювання: світлове, ультрафіолетове, інфрачервоне.

Світлові промені засліплюють, бо їх яскравість значно перевищує допустимі норми. Ультрафіолетове випромінювання навіть при короткочасній дії протягом кількох секунд спричиняє захворювання очей, що називається електроофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різзю в очах, сльозотечею, спазмами повік. Тривала дія ультрафіолетового випромінювання призводить до опіків шкіри, інфрачервоного - помутніння кристалика ока (катаракта), що може призвести до послаблення та втрати зору.

Захист зору та шкіри обличчя при дуговому зварюванні забезпечується використанням щитків, масок або шоломів із жаростійких діелектриків (фібри, просоченої спеціальним розчином, фанери і т. ін.) із захисними стеклами - світлофільтрами (розмір 52х102 мм), що відбивають і поглинають випромінювання дуги. Залежно від потужності дуги застосовують різні світлофільтри. Для захисту від випромінювання дуги в стаціонарних умовах встановлюють захисні кабіни, а при будівельних і монтажних роботах використовують переносні щити й ширми. Для захисту тіла застосовують спецодяг із цупкого брезенту чи сукна, іноді з азбестової тканини.

Захист від отруєння шкідливими газами, пилом і випарами. Склад і кількість шкідливих газів, пилу та випарів залежать від виду зварювання, складу захисних засобів (покриття, флюсів, газів), зварювального та електродного матеріалів. Кількість зварювального пилу (аерозолі) та легких сполук при зварюванні становить від 10 до 150 мг на 1 кг розплавленого електродного металу. Основними їх складовими є оксиди заліза (до 70 %), марганцю, кремнію, хрому, фтористі й інші сполуки. Найшкідливішими є хром, марганець і фтористі сполуки. Крім аерозолю повітря в робочих приміщеннях при зварюванні забруднюється різними шкідливими газами: оксидами азоту, вуглецю, фтористим воднем і т. ін.

Разом із короткочасним отруєнням, що виявляється як запаморочення, головний біль, нудота, блювання, слабкість та ін., отруйні речовини можуть відкладатися в тканинах організму людини і викликати хронічні захворювання. Особливу увагу слід звертати на концентрацію марганцю, бо його наявність у повітрі більше 0,3 мг/м^3 може викликати важкі захворювання нервової системи.

Найшкідливішим є зварювання покритими електродами, а при автоматичних методах зварювання кількість шкідливих виділень зна-

чно менша.

Основними заходами, спрямованими на захист від отруєння шкідливими виділеннями при зварюванні та поліпшення умов праці, є застосування місцевої та загальнообмінної вентиляції; механізація та автоматизація зварювальних процесів; заміна шкідливих процесів і матеріалів менш шкідливими (наприклад, заміна електродів із кислим покриттям з великим вмістом оксиду марганцю на рутилові); застосування ізолюючих і захисних пристроїв; в особливо небезпечних випадках - використання індивідуальних засобів захисту (респіратори з хімічним шоломом, протигази).

Пожежна безпека. Причинами пожежі при зварювальних роботах можуть бути іскри та краплі розплавленого металу та шлаку, необережна поведінка з полум'ям пальника за наявності горючих матеріалів поблизу робочого місця зварника. Небезпеку пожежі особливо слід ураховувати на будівельно-монтажних майданчиках і при ремонтних роботах у непристосованих для зварювання приміщеннях.

Основні вимоги пожежної безпеки викладено в "Правилах пожежної безпеки при проведенні зварювальних та інших вогневих робіт на об'єктах народного господарства". Місця, де виконується зварювання, мають бути оснащені вогнегасниками, ящиками з піском, лопатами та совками, бочками чи відрами з водою. Дерев'яні конструкції, розташовані ближче 5 м від зварювальних постів, обштукатурюють або оббивають листовим азбестом чи листовою сталлю по повсті, змоченій в глинистому розчині. В зоні попадання бризок металу та іскор не має бути займистих предметів. Необхідно, щоб легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали розташовувалися на відстані не менше як 30 м від місця зварювання. Дерев'яні підлоги, настили, помости у разі потреби захищають від іскор і крапель розплавленого металу та шлаку листами азбесту чи заліза. Зварників забезпечують спецодягом, взуттям, рукавицями та головним убором.

Для забезпечення вибухобезпеки зварювальні роботи в місткостях з-під горючих продуктів виконують лише після їх ретельного очищення від залишків і дво-, трикратного промивання гарячим 10 %-ним розчином лугу з наступним продуванням парою чи повітрям. Газопроводи можна ремонтувати тільки після їх ретельного продування.

Травми (удари, порізи) бувають при заготівельних і складально-зварювальних операціях. Такі травми спричинюються недотриманням правил техніки безпеки під час роботи на металорізальному обладнанні при заготівельних операціях, відсутністю пристроїв для транспортування і складання важких деталей; несправністю транспортних засобів - візків, ланцюгів, тросів, захоплювачів, недотриманням персоналом основних правил з такелажних робіт; несправністю інструменту - кувалд, молотків, зубил, ключів і т. ін.

Основними заходами зі зниження травматизму є продумані з точки зору безпеки робіт технологія заготівлі, складання та зварювання, правильне оснащення робочих місць і дотримання персоналом основних правил техніки безпеки.

Подавання першої допомоги при нещасних випадках

У всіх нещасних випадках перш за все треба викликати швидку допомогу, після чого негайно приступити до подавання допомоги власноручно. Допомога неспеціалістів у галузі медицини обмежується зупинкою кровотечі, перев'язкою рани чи опіку, штучним диханням, накладанням нерухомої пов'язки при переломі, переносом і перевезенням потерпілого. В аптечці першої допомоги на ділянці чи в бригаді мають бути: розчин йоду спиртовий, бинти, вата, розчин борної кислоти, цинкові краплі, піпетки для очей, нашатирний спирт, сода, марганцевокислий калій, ефірно-валеріанові краплі, складні фанерні шини, подушка з киснем або карбогеном.

При враженні електричним струмом треба звільнити потерпілого від електропроводів (з дотриманням техніки безпеки), забезпечити доступ свіжого повітря, при втраті свідомості негайно викликати швидку медичну допомогу, а до прибуття лікаря робити штучне дихання.

При електроофтальмії на очі необхідно покласти вату, змочену в холодній воді, а краще - у слабкому розчині питної соди чи в 2 %-ному розчині борної кислоти, а потерпілого бажано перевести в темне приміщення.

При загорянні на людині одягу треба накинути на неї будь-яку річ - брезент, мішок, ковдру і притиснути до тіла, а за наявності води - облити потерпілого водою. Якщо людина знепритомніла, треба винести її на свіже повітря. При тяжких опіках обережно зняти одяг і взуття (краще розрізати їх), обпалене місце змазати, покрити стерильним матеріалом, накласти вату і перев'язати. Опіки хімічними речовинами змочують водою протягом 10...15 хв. При опіках кислотою роблять примочки із содового розчину, лугом - з розчину борної кислоти чи слабкого розчину оцту.

При отруєнні газами треба перш за все винести потерпілого на свіже повітря, розстібнути одяг. Дати понюхати нашатирний спирт, розтерти шкіру, зігріти, коли холодно, зробити штучне дихання, дати подихати киснем (особливо при отруєнні CO).

У разі перегріву при роботі влітку на відкритому повітрі (тепловий удар) потерпілого слід перенести в прохолодне місце, зняти одяг, змочити голову і ділянку серця холодною водою, дати понюхати нашатирний спирт. При зупинці дихання робити штучне дихання; коли потерпілий опритомніє, дати йому випити води із сіллю.

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1 - Фізичні властивості деяких металів і сплавів

Матеріали	Fe	Низько-легована	Корозійно-стійка	Алюміній	АМг6	АМц	Д16	Титан	Си	Л63	Mg
Температура, К											
T_S	1810	1723	1673	1933	858	916	775	1941	1356	1173	924
T_L	1810	1773	1732	933	903	927	911	1941	1356	1183	924
Щільність, г/см^3											
γ_{298}	7,87	7,8	7,9	2,7	2,64	2,73	2,77	4,5	8,93	-	1,73
γ_s	7,1	7,2	7,24	2,55	-	-	-	-	-	8,63	-
γ_L	7,0	6,9	6,95	2,38	-	-	-	4,1	8,3	8,0	1,58
Теплоємність, Дж/(г·К)											
C_{298}	0,44	0,47	0,45	0,9	1.1	0,91	0.91	0,53	0,38	-	1,15
C_s	0,7	0,6	0,65	-	-	-	-	-	-	0,38	-
C_L	0,69	0,7	0,72	1.08	1,3	-	-	0,74	0,47	0,42	1,32
Теплопровідність, Вт/(см·К)											
λ_{298}	0,79	0,4	0,15	2,4	1,0	1,6	1,6	0,22	4,0		1,7
λ_s	0,33	0,35	0,35	2.2	1,35	-	-	0,26	3,5		1,6
λ_L	0,34	0,35	0,35	1,03	1,0	0,88	-	0,23	3,5		0,8
ρ_{298}	9,0	15,0	80	2,5	6,7	4,1	0,3	45	3		3
ρ_s	13,0	12,0	12,5	11	-	-	-	15,0	9		15
ρ_L	13,5	12,5	13,0	25	-	-	-	17,0	21		27
Теплота плавлення, Дж/г											
L	270	271	284	393	384	388	388	376	200	168	364
Поверхневий натяг, мН/см											
σ_L	18	17,5	17,1	8,6	7,0	7,65	8,1	14	13	-	5,2

Примітка. Індекси 298, S, L ідентифікують температуру 298 К, солідусу, ліквідусу відповідно.

Таблиця Д.2 - Робота виходу електрона різних речовин

Метал	K	Na	Ba	Li	Ca	Th	Fe	W	W - Th	W-La	W-Ba	W-Cs
Чистий, В	2,02	2,29	2,39	2,39	3,34	3,53	4,74	5,52				
Окисел. В	0,46	1,8	1,59		1,7		3,53					
Комбіно-ваний, В									2,7	2,7	1,6	1,5

Таблиця Д.3 - Перші потенціали іонізації

Елемент	U, В	Елемент	U, В	Елемент	U, В
Цезій	3,88	Марганець	7,40	Вуглець	11,22
Калій	4,82	Магній	7,61	Хлор	12,96
Натрій	5,12	Мідь	7,62	Водень	13,53
Барій	5,19	Залізо	7,84	Кисень	13,56
Літій	5,37	Кремній	7,94	Азот	14,5
Алюміній	5,96	Бор	8,34	Аргон	15,7
Кальцій	6,08	Цинк	9,35	Фтор	18,6
Хром	6,74	Сірка	10,31	Неон	21,5
Титан	6,81	Фосфор	10,30	Гелій	24,5

Таблиця Д.4 - Значення середніх квадратичних швидкостей у плазмі при Т≈6000 К

Частинки	H	He	C	O	Ar	Hg	Електрони
v, м/с	$12\cdot 10^3$	$6\cdot 10^3$	$4\cdot 10^3$	$3\cdot 10^3$	$2\cdot 10^3$	$1\cdot 10^3$	$5\cdot 10^5$

Таблиця Д.5 - Індекси металу шва, виконаного електродами для зварювання конструкційних сталей з $\sigma_в \leq 600$МПа

Показник механічних властивостей	Перші дві цифри індексу*1	Третя цифра індексу*2							
		0	1	2	3	4	5	6	7
δ, %	37 41 або 43 51	Кожна 20 18	- 20 18	- 22 18	- 24 20	- 24 20	- 24 20	- 24 20	- 24 20
T_X*3, ^{0}C	Кожні	Нерегла-ментовані	+20	0	-20	-30	-40	-50	-60

*1 Перші дві цифри індексу – тимчасовий опір в 10^{-1}МПа.

*2 Цифра характеризує одночасно δ і T_X, якщо ці показники відповідають різним індексам у таблиці, то третій індекс установлюють за δ, а потім у лапках наводять четвертий додатковий індекс, який характеризує T_X.

*3 Мінімальна температура, при якій ударна в'язкість на зразках із V-подібним надрізом - не менше 0,35 МДж/м^2.

Таблиця Д.6 -Умовне позначення штучних електродів для зварювання та наплавлення сталей (ГОСТ 9466-75)



Живлення дуги			
Змінний струм, напруга холостого ходу	Постійний струм, полярність		
	Будь-яка	Пряма	Зворотна
Змінний струм невикористаний			0
50В	1	2	3
70В	4	5	6
90В	7	8	9

Таблиця Д.7 - Компоненти електродних покриттів і приклади їх застосування

Компоненти покриття				Застосовується в покритті електродів марок	Вид покриття				
					Кисле (А)	Рутилове (Р)		Основне (О)	
					Марка електрода				
Найменування	Основні складові	Хімічний склад, % (мас)	Основне призначення		СММ-5	ЦМ-5	РБУ-4	АНО-4	УОНІ 13/45
Марганцева руда	Мінерал піролюзит	Mn - 85; SiO_2 - 10	Утворення шлаку, стабілізація дуги	ОММ-5; СМ-5; ЦМ-8;М33-04	21				
Залізна руда	Мінерал гематит	FeO_2 - 94; SiO_2 - 6	Утворення шлаку,стабілізація дуги, зменшення в'язкості шлаку	ЦМ-7; ЦМ-7С; ЦМ-8; ЦЛ-6		33			
Титановий концентрат	Мінерали магнетит і ільменит	TiO_2 - 38; FeO_2 - 52; SiO_2 - 5	Утворення коротких шлаків, стабілізація горіння дуги	М33-04; ОММ-5; СМ-5	37				
Польовий шпат	Ортоклаз або мікроклин	Al_2O_3 - 20; SiO_2-6;K_2O-5; Na_2O-10	Утворення шлаку, стабілізація горіння дуги	ЦММ-5 і подібні	13				
Граніт	Кварц, польовий шпат і слюда	Fe_2O_3- 5; SiO_2-67;Na_2O-8; Al_2O_3 - 20	Утворення шлаку, стабілізація горіння дуги	ЦМ-7; ЦМ-7С; ЦМ-8; ЦЛ-6 і подібні		32			
Мармур (крейда)	Кальцит	$CaCO_3$	Утворення шлаку, стабілізація дуги, газовий захист	УОНІ-13; У-340; УП-2; і подібні			16,7		53
Плавиковий шпат	Флюорит	Na_2O-10	Зменшення в'язкості,збільшення активності газу	Електродів всіх марок, де є мармур					18
Кварцовий пісок	Кварц	SiO_2 - 97	Утворення шлаку	УОНІ-13 У-340 і подібні					9

Закінчення табл. Д.7

Компоненти покриття				Застосовується в покритті електродів марок	Вид покриття				
					Кисле (А)		Рутилове (Р)	Основне (О)	
					Марка електрода				
Найменування	Основні складові	Хімічний склад, % (мас)	Основне призначення		СММ-5	ЦМ-5	РБУ-4	АНО-4	УОНІ 13/45
Рутиловий концентрат		FeO_2-4; SiO_2-3; Al_2O_3-3; TiO_2-90	Утворення шлаку, стабілізація дуги				50	44	
Магнезит		$MgCO_3$-98	Утворення шлаку, газовий захист	НІАТ-1				15	
Слюда	Мусковіт	Al_2O_3 - 38; SiO_2-45; K_2O-12; Na_2O-5	Збільшення пластичності обмазувальної маси,утворення шлаку, стабілізація горіння дуги	СМ-5; УОНІ-13/55А і подібні				24	
Крохмаль		$C_6H_{10}O_5$			9	5	20,9	2	
Феромарганець		Mn-80	Розкислення і легування шва марганцем	Електродів всіх марок	20	30		15	2
Феротитан		Ti-18	Розкислення металу шва, рідко - його лігування	УОНІ-13; УП-2 і подібні			2		15
Ферросиліцій		Si-45	Розкислення металу шва і його легування (зменшує стабільність горіння дуги)	УОНІ-13; СМ-11			10,4		3
Фероалюміній		Al не менше 50%	Розкислення металу шва, збільшення стабільності горіння дуги	УП-2 та ін.					

Таблиця Д.8 - Хімічний склад флюсів для автоматичного дугового і електрошлакового зварювання

Марка флюсу	Складові, % (мас.)							
	SiO2	MnO	Al_2O3	CaO	MgO	Fe_2O_3	CaF_2	S / P
ФЦ - 7	46...48	24...26	до 3	до 3	16...18	до 1,5	5...6	до 0,15/0,15
ФЦ - 9	39,5	40,0	11,0	3,5	до 1,0	до 0,5	26	
АН – 348А	41...44	34...38	до 4,5	до 6,5	5,0...7,5	до 2,0	4,0...4,5	до 0,15/0,12
ОСЦ - 45	38...44	38...47	до 4,5	до 6,5	до 2,5	до 2,0	6...9	до 0,15/0,15
48 -ОФ - 6	до 4,0	до 0,3	23,5	19,5	до 3,0	до 1,5	52,0	0,05 / 0,04
АН - 20	22,0	до 0,5	30,0	5,05	11,0	до 1,0	29,0	0,08 / 0,05
АН - 26	32,0	3,0	20,0	3,0	17,0	до 1,0	24,0	

Таблиця Д.9 - Рекомендації щодо застосування зварювальних флюсів

Марки флюсів	Призначення
АН-348А, АН-348АМ, ОСЦ-45, В, ФЦ-9, ОСЦ-45М, АН-60	Механізоване зварювання та наплавлення вуглецевих і низьколегованих сталей вуглецевим низьколегованим зварювальним дротом
АН -22	ЕШЗ і дугове автоматичне зварювання і наплавлення низьколегованих і середньовуглецевих сталей.
АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-15М,	Автоматичне зварювання та наплавлення високолегованих і середньовуглецевих сталей
АН-26С, АН-26П АН-26СП,	Автоматичне та механізоване зварювання нержавіючих і корозійностійких сталей
АН-17М, АН-43, АН-47	Автоматичне дугове зварювання та наплавлення вуглецевих низьколегованих і середньолегованих сталей
АНТ-17А.	Зварювання WIG технічно чистого Ті та його маломіцних сплавів без присадкового дроту
АНТ-23А	Те ж саме з присадковим дротом
ФАН-1	Зварювання WIG середньо- та високоміцних Ті- сплавів із присадковим дротом
АНТ-1, АНТ-3, АНТ-7	Зварювання MIG технічно чистого Ті та його мало- та середньоміцних сплавів
АНТ-2	ЕШЗ чистого Ті та його мало- і середньоміцних сплавів
АНТ-4, АНТ-6	ЕШЗ високоміцних сплавів

Таблиця Д.10 – Флюси для аргонодугового зварювання Al- сплавів

Марка	Середній склад, %										
	LiF	NaF	CAF_2	MgF_2	SrF_2	Ti	LiF	BeF_2	K_2ZrF_6	BaF_2	CaCl
IEC	35	40	25								
ФА-1	25		25	25	25						
ФА-1Т			24	24	24	4	24				
ТФА-1			25	20	25		30				
ТФА-3			20	10	15		20	5	30		
ТФА-5			14	21			29			23	13

Таблиця Д.11 – Захисні гази та суміші

Найменування, ДСТУ чи ТУ	Марка та сорт	Об'ємна частка основного продукту, не менше, %	Призначення
Азот газоподібний і рідкий (ГОСТ 9293-74)	Особливої чистоти, газоподібний і рідкий	99,996	Плазмове різання
	Технічний газоподібний, вищого сорту	99,994	
	Технічний, газоподібний і рідкий: Сорт 1	99,5	
	Сорт 2	99,0	
	Сорт 3	97,0	
Азот газоподібний і рідкий технічний, підвищеної чистоти (ТУ 6-2 1-27-77)	Сорт 1	99,9	
	Сорт 2	99,95	
Аргон газоподібний і рідкий (ГОСТ 101 57-79)	Вищий сорт	99.992	Те саме. Зварювання плавким і неплавким електродом високоактивних металів і сплавів в інертному середовищі
	Сорт 1	99,987	
Аргон високої чистоти (ТУ 6-21 -12-79)	Рідкий: Сорт 1	99,998	
	Сорт 2	99,995	
	Газоподібний	99,995	
Водень технічний (ГОСТ 3022-80)	Марка А	99,99	Створення відновлюваної атмосфери при відпалі
	Марка Б: Сорт вищий	99,95	
	Сорт 1	99,8	
	Марка В: Сорт вищий	98,5	
	Сорт 1	97,5	
	Сорт 2	95,0	
Гелій газоподібний (ГОСТ 20461-75)	Особливої чистоти	99,995	Зварювання WIG і MIG високоактивних металів в інертному середовищі
	Високої чистоті	99,985	
	Технічний	99,8	
Вуглекислий газ газоподібний і рідкий (ГОСТ 805085)	Зварювальна	99,5	Зварювання плавким електродом сплавів у сильно-окислювальному середовищі
	Зварювальна підвищеної якості	99,8	
	Технічна	98,5	
Суміш аргонокисню-ва (ТУ 6-21 -10-74)	Кисень	21…23	
	Аргон	79…77	
Суміш аргоноазотна (аргон технічний) (ТУ 6-2 1-20-76)	Вищий сорт: Аргон	88…66	Плазмове різання
	Азот	12…14	
	Сорт 1: Аргон	88…66	
	Азот	12…14	

Д.12 - Умовні зображення і позначення швів зварних з'єднань ГОСТ 2.312-72.

Шов зварного з'єднання незалежно від засобу зварювання умовно позначають: видимий - суцільною основною лінією, невидимий - штриховою. Невидимі одиничні точки не зображують.

Від зображення шва або одиничної точки проводять лінію-виноску з односторонньою стрілкою.



Таблиця Д.13 - Допоміжні знаки. ГОСТ 2.312-72

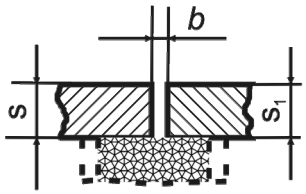
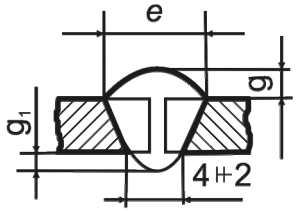
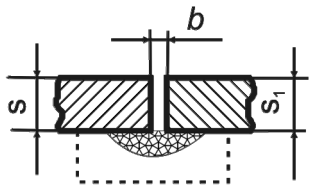
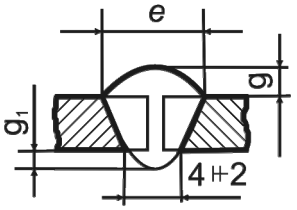
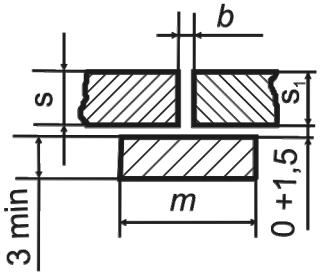
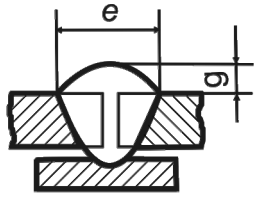
Допоміжні знаки	Значення допоміжного знака	Розміщення знака	
		з лицьового боку	із зворотного боку
	Підсилення знято		
	Напливи та нерівності шва обробити з плавним переходом до основного металу		
	Шов виконати при монтажу виробу		
	Шов переривистий або точковий з ланцюговим розміщенням		
	Шов переривистий або точковий з шахматним		
	Шов по замкненій лінії		
	Шов по незамкненій лінії, якщо розташування ясне з креслення		

Таблиця Д.14 - Шви зварних з'єднань

Автоматичне і полуавтоматичне зварювання під флюсом. Основні типи і конструктивні елементи. ГОСТ 8713-79

Вид з'єднання	Форма підготовленої кромки	Характер виконаного шва	Форма поперечного перерізу		Позначення способу зварювання	Граничні товщини зварюваних деталей, мм	Умовне позначення зварного шва
			підготовленої кромки	виконаного шва			
Стикове	Без скосу кромок	Односторонній на флюсовій подушці			Аф	2,0-10,0	С5
		Односторонній на флюсово-мідній підкладці			Ам	4,0-10,0	С6
		Односторонній на сталевій підкладці			Ас Пс	2,0-12,0	С7

Таблиця Д.15 - Типи зварних швів і зварних з'єднань, конструктивні елементи і розміри. Зварювання під флюсом. ГОСТ 8713 -79

Умовне позначення зварного шва	Конструктивний елемент: підготовленої кромки зварюваних деталей	Конструктивний елемент: шва зварного з'єднання	Позначення засобу зварювання	s=s₁	b: Номінал	b: Граничне відхилення	e: Номінал	e: Граничне відхилення	g: Номінал	g: Граничне відхилення	g₁ Граничне +1,0 відхилення -1,0
С5			Аф	2	0,0	+1,0	10	+2 -2	1,5	+1 -1	1,0
				3	1,0	+1,0 -1,0					
				4			14		2,0	+1,0 -1,5	1,5
				5	1,5						
				6			18	+3 -3			
				7	2,0	+1,5 -1,5					2,0
				8, 9, 10			22	+4 -4			
С6			Ам	4	1,0	+0,5	14	+2 -2			1,5
				5	1,5	+1,0 -1,0					
				6			18	+3 -3			
				7	2,0						2,0
				8, 9			22	+4 -4			
				10							
С7			Ас	2	1,5	+1,0 -1,0	10	+2-2	1,5	+1,0 -1,0	*m min* 15
				3			14	+3 -3			20
				4	2,0				2,0	+1,0 -1,5	25
				5							
			Пс	6	3,0	+1,5 -1,5	18				
				7							
				8			22	+4 -4			30
				9, 10	4,0						
				12	5,0		24				

Бібліографічний список

1. Сварка в самолетостроении /Под ред. Б.Е. Патона. - К.:МИИВЦ, 1998. - 698 с.
2. Фетисов Г.П. Сварка и пайка в авиационной промышленности: Учеб. пособие для авиационных вузов. - М.: Машиностроение, 1983. – 216 с.
3. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов по спец. «Оборуд. и технология свароч. пр-ва» / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др. – М.: Высш. шк., 1988. - 559 с.
4. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. – М.: Высш. шк.; Изд. центр «Академия», 1997.- 319 с.
5. Биковський О.Г., Пінковський І.В. Довідник зварника. - К.: Техніка, 2002. - 336 с.
6. Сварка в машиностроении: Справочник: В 4 т. /Под ред. Г.А. Николаева. – М.: Машиностроение, 1975.
7. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. Специальные методы сварки: Учеб. пособие для студентов вузов. - 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 1975. - 232 с.
8. Фролов В.В. Дуговая сварка алюминия: Справочно–учеб. пособие. - Х.: Инф. центр «Технология», 2003. - 93 с.
9. Новожилов Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах. – М: Машиностроение, 1979. - 231 с.

Зміст

Вступ 3
Різновиди дугового зварювання. Вихідні положення…… 5
1.1. Ручне електродугове зварювання на апаратах змінного струму…… 15
1.2. Автоматичне зварювання під флюсом…… 21
1.3. Характеристики електричної дуги і оснащення для зварювання неплавким електродом у середовищі аргону..... 30
1.4. Плазмове зварювання металу малої товщини..... 36
1.5. Напівавтоматичне зварювання плавким електродом в середовищі вуглекислого газа..... 46
1.6. Безпека праці при дуговому зварюванні..... 57
Додатки 61
Бібліографічний список …… 71

Горлов Олександр Кузьмич
Рогачов Євген Петрович
Лашко Сергій Миколайович

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ В АЕРОКОСМІЧНІЙ ТЕХНІЦІ

Частина 1

Редактор Т.Г. Кардаш

Зв.план, 2007
Підписано до друку 05.06.2007
Формат 60x84 1/16. Папір офс. №2. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 4.05. Обл.-вид. арк. 4.56. Наклад 200 прим.
Замовлення 273. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
„Харківський авіаційний інститут”
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
http://www.khai.edu
Видавничий центр „ХАІ”
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
izdat@khai.edu