ІННОВАЦІЙНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ

Чернігів 2024

УДК 621.791.725
І-66

Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 3 від 26 лютого 2024 року).

Колектив авторів
Лебедєв В. О. (розділ 1, розділ 2, розділ 3, розділ 4, розділ 5, розділ 7, розділ 9, розділ 11); **Максимов С. Ю.** (розділ 2, розділ 9); **Бриков М. М.** (розділ 8, розділ 10, розділ 12); **Лой С. А.** (розділ 3, розділ 6, розділ 13); **Жук Г. В.** (розділ 4, розділ 5, розділ 11, розділ 13); **Макаренко Н. О.** (розділ 8, розділ 10, розділ 12).

Рецензенти:

Павленко Дмитро Вікторович, завідувач кафедри ТАД, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Запорізька політехніка»;

Шаломєєв Вадим Анатолійович, проректор з наукової роботи доктор технічних наук, професор, Національний університет «Запорізька політехніка».

І-66 **Інноваційна** техніка і технології для електродугового зварювання та наплавлення / В. О. Лебедєв, С. Ю. Максимов, М. М. Бриков, Н. О. Макаренко, Г. В. Жук, С. А. Лой. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 262 с.

ISBN 978-617-7932-49-8

У монографії розглянуто напрямки інноваційних розробок останнього часу які стосуються обладнання і технологій для електродугового механізованого та автоматичного зварювання та наплавлення з використанням електрода який плавиться. Проаналізовано основні напрямки створення нових техніко-технологічних систем та напрямки їх удосконалення. Приведений ряд методик розрахунку оригінальних механізмів які можуть бути застосовані в інженерній та конструкторській практиці. Показані результати досліджень використання нових способів зварювання та наплавлення з оцінкою їх ефективності у зварювальному виробництві та при відновлюваному та зміцніючому процесах.

Книга розрахована на інженерно-технічних працівників у галузі зварювального виробництва та студентів ЗВО.

УДК 621.791.725

ISBN 978-617-7932-49-8

© Лебедєв В. О., Максимов С. Ю., Бриков М. М. та ін., 2024

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....4

РОЗДІЛ 1. Класифікація і сфери застосування імпульсних, модульованих та коливально-вібраційних процесів та режимів роботи механізованого та автоматичного зварювального обладнання 6

РОЗДІЛ 2. Імпульсні алгоритми роботи джерел зварювального струму та їх використання при зварюванні та наплавленні. Поняття синергетики. Інверторні джерела живлення дуги.....20

РОЗДІЛ 3. Модуляція зварювального струму та способи її отримання в механізованому та автоматичному зварювальному обладнанні 35

РОЗДІЛ 4. Реалізація імпульсних алгоритмів подавання електродного дроту. Системи механічні та електромеханічні.....60

РОЗДІЛ 5. Деякі результати виконання унікальних ремонтів зварювання з використанням керованої імпульсної подачі електродного дроту.....81

РОЗДІЛ 6. Системи зварювального обладнання та обладнання для наплавлення з коливаннями зварювального інструменту.....100

РОЗДІЛ 7. Зварювальне та наплавляюче обладнання з коливаннями ванни.....120

РОЗДІЛ 8. Зварювальне обладнання західних фірм з використанням імпульсних та деяких інших різних алгоритмів функціонування систем.....139

РОЗДІЛ 9. Електродугове механізоване та автоматичне зварювання в водному середовищі мокрим способом. Використання способу зварювання з імпульсним подаванням електродного дроту.....159

РОЗДІЛ 10. Механізація та автоматизація зварювального виробництва та виробництв з відновлюваним і захисним наплавленням 180

РОЗДІЛ 11. Застосування електромагнітних та інших полів і захисного газу для створення умов керування переносом електродного металу та перемішування металу зварювальної ванни.....203

РОЗДІЛ 12. Зварювальне обладнання з комбінованими імпульсними та іншими впливами на дуговий процес.....220

РОЗДІЛ 13. Сертифікація. Проблеми освоєння нової зварювальної техніки та техніки для наплавлення.....238

ПЕРЕДМОВА

Зростання великими темпами промисловості із застосуванням різних металів, що іноді важко піддаються попередній обробці та з'єднанню, наплавленню для зміцнення та відновлення, а також подальшому процесу обробки, привело до потреби у створенні нових способів обробки та зварювання цих металів та сплавів. Доводиться зварювати метали завтовшки від часток до десятків міліметрів. Це також стосується наплавлення деталей дедалі більшої товщини. Список матеріалів теж великий – починаючи від високолегованих сталей та закінчуючи різними сплавами та їх поєднаннями. Традиційні способи зварювання не можуть забезпечити необхідні показники якості. Створюється велика кількість вузькоспеціалізованих способів на основі імпульсно-дугового зварювання та інших способів впливу на якість з'єднання елементів конструкції та шар наплавленого металу з метою покращення експлуатаційних характеристик взаємодіючих поверхонь та їх відновлення після експлуатації до робочого стану.

Вибір способу зварювання та наплавлення, комплекту відповідного обладнання та матеріалів (електродних дротів, захисних середовищ) становлять основу успішного проведення зварювально-наплавних робіт у різних сферах машинобудування, кораблебудування тощо з урахуванням конкретної специфіки механізованої або автоматизованої реалізації електродугового процесу. Для прикладу можна зазначити, що для зварювання тонколистового металу застосовуються способи зварювання «холодною дугою», для підвищення продуктивності застосовуються дводугові способи зварювання розщепленим електродом і таке інше.

Електродугове зварювання та наплавлення супроводжується великими потоками теплової енергії, що розподіляється на плавлення електродного дроту, нагрівання металу та зовнішнє випромінювання, при цьому теплота, що вводиться в метал, виконує кілька дій: плавить метал, утворюючи рідку ванну та навколошовну зону, де метал знаходиться у твердій фазі з експонентним розподілом теплоти. Крім цього, дуже важливим є розуміння того, що структура металу зварювальної ванни та навколошовної зони різна та по-різному впливає на характеристики швів або наплавлених валиків.

Характеристики металу зварних швів або наплавлених валиків і навколошовних зон визначають експлуатаційні властивості виробів: твердість, міцність, холодостійкість та ін. Дослідження показують, що тип кристалічної решітки багато в чому визначає міцнісні властивості металу, особливо в умовах низьких температур.

Зазначимо, що метал зварного шва (зварювальної ванни, що закристалізувалася), переважно має несприятливу будову у вигляді витягнутих стовпчастих кристалів, і завданням застосовуваної технології є забезпечити дрібнозернисту структуру, бажано з дрібних рівновісних зерен, що покращує структуру металу підвищенням експлуатаційних якостей зварного шва чи наплавленого валика.

Останнім часом в одному ряду з новими технічними рішеннями щодо конструкцій та можливостей обладнання для дугового механізованого та автоматичного зварювання та наплавлення ведеться постійний пошук алгоритмів

його функціонування, які б давали нові можливості та підвищували ефективність виконання зварювальних робіт та робіт із відновлення та зміцнення машин та механізмів. Модульовані та імпульсні режими роботи зварювального та наплавного обладнання дозволяють розширити сфери їх застосування, поліпшити як якість виконання відповідних робіт, так і покращити показники ресурсних витрат при використанні як суцільних, так порошкових дротів, у тому числі при процесах у захисному газі й по можливості без нього.

Поряд із цим активно розвиваються та застосовуються способи зварювання та наплавлення з використанням відповідного допоміжного обладнання, яке покращує результати вказаних процесів, зокрема магнітні поля, різні способи введення вібрацій в електродний дріт, зварювальну ванну та інше.

З вищезазначеного випливає, що пошук ефективних засобів і способів підвищення якості показників зварних швів і наплавлених валиків є актуальним і постійним і це зумовлено як розвитком і вдосконаленням зварювальних матеріалів, так і рівнем можливостей електромашинобудування та елементної бази силової та керуючої електроніки.

Не треба забувати, що нові технічно-технологічні рішення повинні також впливати на зниження матеріальних та енергетичних показників електродугових процесів.

Зміст матеріалу, який викладено в цьому виданні, допоможе читачеві систематизувати знання з використання наявних та нових технологій у галузі зварювання та наплавлення автоматичним і механізованим (напівавтомати) обладнанням та можливо застосувати ці матеріали у своїй діяльності.

Видання буде корисним студентам для вивчення дисциплін зі зварювання та споріднених технологій. При цьому видання практично відтворює матеріал «Інноваційні технології у зварювальному виробництві» і дає змогу набути студентам знань про можливості сучасної техніки та обладнання з можливостями впливу імпульсів, модуляції та коливань на вирішення завдань виробництва електродуговим зварювальним та наплавочним обладнання на високому техніко-технологічному рівні.

РОЗДІЛ 1
Класифікація і сфери застосування імпульсних, модульованих та коливально-вібраційних процесів та режимів роботи механізованого та автоматичного зварювального обладнання

У цій главі ми будемо розглядати основні способи впливу на електродугові процеси зварювання та наплавлення з імпульсними, модульованими та вібраційними режимами роботи, не деталізуючи їх, що буде зроблено в наступних главах.

Передусім зазначимо, що впливи, які розглядаються, можна поділити на ті, які цілеспрямовано організуються за рахунок систем самого обладнання, і ті, які додатково встановлюються для впливу на результати зварювання та наплавлення.

Нині зварювання – переважний спосіб отримання якісного нероз'ємного з'єднання матеріалів. Механізоване дугове зварювання і наплавлення є одним із найбільш поширених видів з'єднання, зміцнення та відновлення різних конструкцій. Отже, вдосконалення обладнання та технологій для їх більш ефективного застосування, зокрема для підвищення якісних результатів процесу, їхньої продуктивності, а також розширення сфер застосування, є актуальним, технологічно та економічно обґрунтованим завданням. При цьому ще одним завданням, що постійно потребує вирішення з вищою результативністю, є завдання підвищення показників енерго- та ресурсозбереження. Із застосуванням суцільних та порошкових електродних дротів різного складу та в деяких випадках порошкових стрічок.

Насамперед розглянемо ті можливості, які можна реалізувати, використовуючи ті системи зварювального обладнання, що безпосередньо є задіяним у виконанні дугового процесу. Для напівавтоматів це джерело зварювального струму, система подачі електродного дроту та в потрібному випадку система подачі захисного газу. Для автоматів додається система переміщення зварювальної дуги та система коректування напрямку руху (система стеження).

Цілеспрямоване використання різного роду імпульсних та вібраційних впливів з боку систем зварюваного обладнання і вібраційних явищ з боку допоміжних вузлів є одним з основних напрямів розвитку техніки та технології електродугового зварювання та наплавлення.

На сьогодні є досить велика кількість способів отримання та застосування імпульсних та вібраційних впливів при розробці систем механізованого дугового обладнання та їх реалізації в технологіях зварювання – наплавлення, які узагальнено представлені на рис. 1.1.

Зазначимо, що рис. 1.1 відображає тільки системи обладнання, які безпосередньо задіяні в забезпеченні зварювального процесу.

Рис. 1.1. Використання імпульсних та вібраційних впливів на процеси електродугового зварювання та наплавлення

Застосування джерела зварювального струму. Цілеспрямований імпульсний вплив на дуговий процес, що діє від джерела зварювального струму за певними алгоритмами, найбільше застосовується в наш час і надає два основні впливи:

- керує перенесенням електродного металу шляхом відриву його краплі та транспортування у зварювальну ванну як основний вплив;

- вібраційні коливання ванни розплавленого металу як супутній вплив унаслідок електродинамічних сил;

- забезпечує ефективний вплив на кристалізацію металу, обмежуючи збільшення кристалітів, або навіть їх руйнацію, що приводить до покращення механічних властивостей шва та наплавленого шару, зокрема характеристик міцності.

Використання сучасних конструкцій джерел зварювального струму (інвертори) з різними імпульсними алгоритмами, у тому числі синергетичними, уже набуло значного поширення та застосовується в багатьох видах механізованого та автоматичного обладнання для зварювання та наплавлення.

Однак треба нагадати, що імпульсний характер роботи джерела зварювального струму може бути отриманий за допомогою систем самого джерела при спеціальному його конструюванні, а також зовнішніми додатковими пристроями, що забезпечують організацію імпульсно-дугового процесу. Наприклад, на рис. 1.2 в ідеалізованому вигляді представлені сформовані варіанти імпульсів зварювального струму, які застосовуються при імпульсно-дуговому механізованому зварюванні електродом, який плавиться.

Варіантів формування імпульсів може бути значно більше. При цьому частота імпульсів, їхня форма по-різному впливають на перенесення крапель електродного металу.

Застосування системи подачі електродного дроту. Менш відомі й тому поки що недостатньо поширені різні способи механічних імпульсних та вібраційних впливів у техніці та технології дугового механізованого зварювання, хоча в цих напрямах створені дуже ефективні технічні засоби.

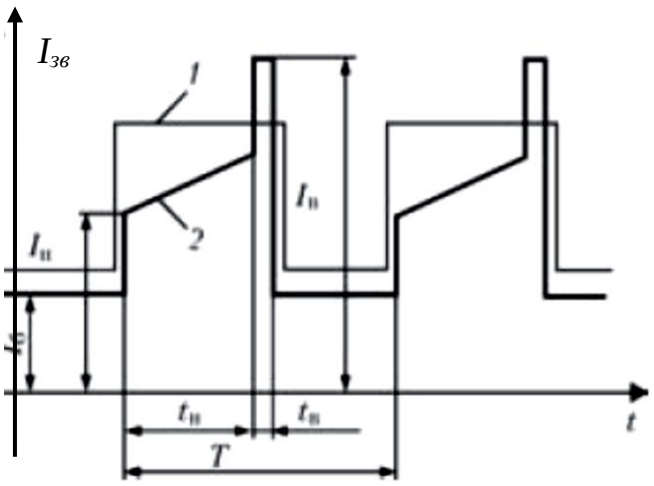


Рис. 1.2. Імпульси зварювального струму $I_{зв}$ (поточне значення):
1 – прямокутні; 2 – двоступінчасті; $t_п$, $t_и$ – часи дії паузи та імпульсу відповідно; $I_п$, $I_и$ – струм у паузі та імпульсі відповідно; $I_б$ – базовий струм; T – період дії імпульсу

Система подачі електродного дроту зварювального або наплавного напівавтомата й автомата – це той об'єкт, який, будучи оснащений системою подачі або коливань, дозволяє значною мірою покращити якість зварного шва або наплавленого валика, знизити енерго- і ресурсовитрати, забезпечити процес у різних просторових положеннях та ін.

Одним із найбільш ранніх процесів, що використовуються при дуговому зміцнюючому й відновлювальному наплавленні (переважно тіла обертання), є вібродуговий процес, при реалізації якого зварювальний пальник з електродним дротом коливається з частою порядку 50…100 Гц вздовж осі подачі дроту. Спосіб дуже ефективний, тому що забезпечує хороші механічні властивості виробу, але може бути застосований тільки в стаціонарних умовах – у складі верстатів і установок для наплавлення. Здебільшого це заважає поширенню цього способу наплавлення.

Нині розвиваються способи зварювання з імпульсною подачею електродного дроту, у яких дріт подається імпульсами, тобто прискорення руху спрямовано вздовж осі подачі. Є досить велика кількість способів і пристроїв, що забезпечують такий характер переміщення електродного дроту в зону горіння дуги – від жорстко заданих механічними перетворювачами параметрів імпульсів до керованих і, в останньому, із синергетичним управлінням, що використовують зворотні зв'язки з енергетичними характеристиками зварювального процесу – струм та напруга дуги.

На рис. 1.3 представлені в порівнянні осцилограми струму та напруги процесу зварювання з короткими замиканнями дугового проміжку при звичайній та імпульсній подачі електродного дроту. Можна зазначити, що при імпульсній подачі формуються чіткі імпульси струму та напруги з більшими значеннями параметра, що суттєво впливає на характер перенесення електродного металу, змушуючи кожну краплину при імпульсі подачі перейти у зварювальну ванну, а це, крім усього, сприяє регулярному формуванню шва.

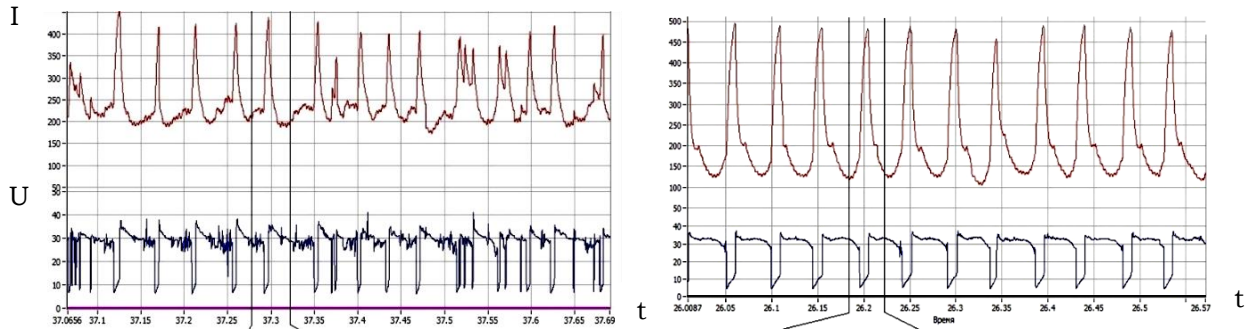


Рис. 1.3. Процеси електродугового механізованого зварювання в CO_2:
а – звичайний процес;
б – процес з імпульсною подачею електродного дроту

Слід зазначити, що імпульсна подача електродного дроту бере початок від систем, де керування параметрами імпульсного руху було або неможливо, або дуже обмежено в регулюванні. Однак і такі системи давали відчутний ефект, наприклад, при зварюванні алюмінію та його сплавів.

Імпульсна подача електродного дроту з керованими параметрами руху є на сьогодні одним із найбільш перспективних засобів підвищення ефективності при механізованому дуговому зварюванні й наплавленні в різних просторових положеннях і різних середовищах, наприклад, при підводному зварюванні мокрим способом. При зварюванні-наплавленні з імпульсної подачі електродного дроту з короткими замиканнями досягається суттєва економія електроенергії. Цей процес дозволяє керувати формою зварного з'єднання та наплавленим шаром, істотно підвищити механічні властивості звареної або наплавленої конструкції зі сталей та сплавів алюмінію, знизити товщини металу, що зварюється, забезпечивши якісне формування шва без пропалів. Отримані результати є наслідком керованого перенесення електродного металу із заданими характеристиками крапель, що переносяться, а також вібраційного впливу процесу перенесення на рідкий метал, що дає змогу дегазувати ванну, забезпечити видалення неметалевих з'єднань і в такий спосіб підвищити експлуатаційні властивості зварного шва або наплавленого шару.

На рис. 1.4 представлено порівняльні результати звичайного процесу та зварювання з синергетичною подачею електродного дроту – найбільш проблемного валика, що виконується в горизонтальному положенні на вертикальній площині порошковим самозахисним електродним дротом діаметром 1,6 мм на струмах 200…220 А.

Зазначимо, що з використанням способу з імпульсним подаванням електродного дроту при зварюванні – наплавленні досягаються гарні результати виконання робіт у стельовому положенні.

Слід зауважити, що при багатошаровому зварюванні конструкцій із товстолистового алюмінію (зварювання з декількома проходами), використання імпульсної подачі електродного дроту й вібраційні коливання рідкого металу, що викликаються нею, сприяють спливанню окисних плівок алюмінію, тим самим забезпечуючи отримання пор.

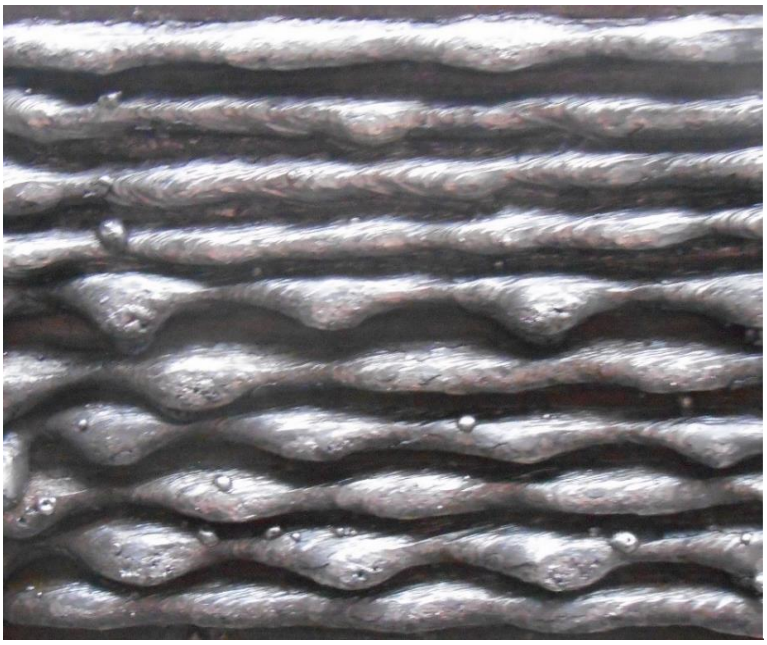


Рис. 1.4. Фрагменти валиків наплавлених у горизонтальному положенні на вертикальній площині:
1, 2, 3, 4, 10 використання дозованої подачі електродного дроту; 5, 6, 7, 8, 9 – традиційний спосіб подачі

Імпульсна подача зазвичай здійснюється з частотами в діапазоні 20…60 Гц з кроками 1,0…4,0 мм і в керованому варіанті зі змінною шпаруватістю слідування імпульсів, регулюванням форми та напрямки руху (імпульс з частковим реверсуванням напрямку руху).

Є досить велике розмаїття технічних рішень щодо конструкцій імпульсних механізмів подачі. Імпульсний рух може бути отримано із застосуванням електродвигунів і спеціальних механічних перетворювачів обертального руху вала в прямолінійну імпульсну подачу за допомогою однобічних затискачів на основі різних конструкцій механізмів і систем від найпростіших до досконалих із регулюванням деяких характеристик подачі.

Слід особливо відзначити клас механізмів імпульсної подачі, коли дріт вібрує в поперечному положенні, цей рух використовують для організації імпульсного прямолінійного руху [1]. Зазвичай більшість цих механізмів і систем мають відчутну вібрацію, що негативно позначається на термінах роботи обладнання. При розробці та застосуванні систем із механічним перетворенням енергії вирішується завдання їх балансування, що, зрештою, позначається на габаритах і масі механізму, а також на відповідному устаткуванні зі збільшенням його маневровість і розширенням зони обслуговування.

Новою розробкою останнього часу є механізм імпульсної подачі на основі безредукторного швидкодійного вентильного комп'ютеризованого електропривода спеціальної оптимізованої конструкції. Такий механізм є повністю керованим з усіх параметрів імпульсного переміщення електродного дроту. Вібрації такої системи мінімальні й не позначаються негативно на функціонуванні механізованого обладнання.

Організація імпульсного руху електродного дроту в усіх випадках потребує спеціальної розробки механізму подачі.

Модуляція режимів дугового процесу. Є ще один спосіб зварювання – наплавлення також із переривчастим або періодично змінюваним рухом електродного дроту. Це спосіб із модуляцією зварювального струму, величина якого пропорційна швидкості подачі. На рис. 1.5 представлений графік одного з варіантів процесу модуляції струму. Таких варіантів може бути досить багато. При цьому технологічному прийомі досягається керування теплопокладанням у ванну рідкого металу, а також дія на неї динамічною вібраційною складовою від варіювання швидкістю подачі. При зварюванні – наплавленні з модуляцією зазвичай використовують частоти діапазоні 0,2…5,0 Гц. Цей спосіб часто використовується для зварювання-наплавлення на вертикальній площині, зокрема горизонтальних валиків із рішенням проблеми запобігання стіканню ванни рідкого металу й покращенням форми наплавленого шару [2].

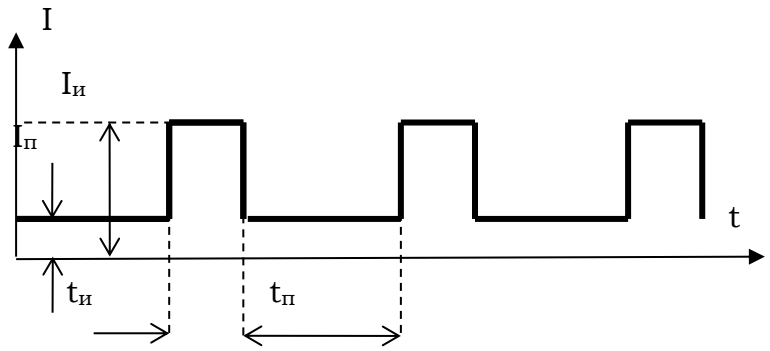


Рис. 1.5. Ідеалізований графік току дугового процесу з модуляцією режимів:
$t_п$, $t_и$ – часи дії паузи та імпульсу відповідно;
$I_п$, $I_и$ – струм у паузі та імпульсі відповідно

На рис. 1.6 як приклад наведено перерізи валиків, які наплавлено різними способами на різних режимах. Аналіз перерізів надає підстави робити висновки щодо зміни їхніх геометричних розмірів залежно від параметрів дугового процесу.

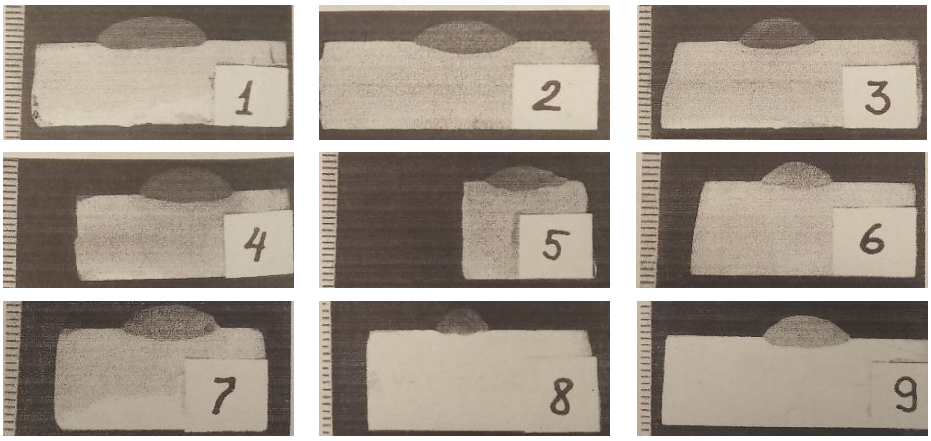


Рис. 1.6. Вплив частоти модульованого струму на форму наплавленого валика: 1 стаціонарна дуга; модульований процес:
2 - s – 5 Гц, $t_и$ - 0,1 с, $t_п$ – 0,1 с; 3 - s – 0,5 Гц, $t_и$ – 1,0 с, $t_п$ – 1 с; 4 - s – 1,1 Гц, $t_и$ – 0,8 с, $t_п$ – 0,1 с; 5 - s – 0,55 Гц, $t_и$ – 0,8 с, $t_п$ – 1,0 с; 6 - s – 1,1 Гц, $t_и$ – 0,1 с, $t_п$ – 0,8 с; 7 - s – 0,55 Гц, $t_и$ – 1,0 с, $t_п$ – 0,8 с; 8 - s – 1,0 Гц, $t_и$ – 0,1 с, $t_п$ – 0,9 с; 9 - s – 0,7 Гц, $t_и$ – 0,5 с, $t_п$ – 0,9 с

Можна зазначити, що спосіб зварювання та наплавлення є одним із найперших, які активно та дієво використовують періодичну зміну параметрів дугового процесу. Відомі розробки, у яких здійснюється модуляція струму та напруги процесу окремо, а також модуляція із синхронною зміною струму й напруги одночасно, що дає більш значущий ефект особливо, коли можливість регулювання частоти та шпаруватості характеристик модуляції, а також амплітуди імпульсів.

Можливості застосування модуляції напруги та струму вивчались системно та комплексно з документуванням параметрів процесу та аналізом отриманих результатів із застосуванням металографічних, хімічних та інших методів дослідження. Це є основою для широкого використання процесів модуляції при зварюванні та наплавленні з елементами впливу на хімічний склад шва з покращенням його механічних характеристик, регулювання форми наплавленого валика та інше. Періодичність горіння дуги при використанні керованої за параметрами модуляції суттєво впливає на тепловкладення в розплавлений метал, що впливає, крім вищезгаданого, на процеси кристалізації металу.

Дуже важливими є те, що реалізувати процес модуляції в разі наявності будь-якого джерела живлення, а також електропривода механізму подачі з регулюванням вихідних параметрів не є складним завданням і не потребує спеціальних розробок.

Використання системи подачі захисного газу. Цікавою технологією є подавання захисного газу з визначеними параметрами модуляції для впливу на процес зварювання, яке описано в технічній літературі. Особливостями цього способу є можливість змінювати характер перенесення електродного металу, кристалізацію зварювальної ванни та інше. З-поміж недоліків слід також вказати на слабку керованість процесом подавання газу та відсутність на цей момент систем для здійснення такого способу зварювання та наплавлення. Цей спосіб потребує подальшого вивчення та пошуку ефективних засобів керування. Спосіб має перспективи розвитку, але в достатньо обмеженій сфері – у зварювальному обладнанні, яке використовує процес із застосуванням захисного газу. Тут треба згадати, що є розробки способу зварювання з модуляцією захисного газу, при якому використовують два типи газу, що подаються поперемінно. Це впливає на характеристики перенесення електродного металу, з одного боку, а з іншого – зменшує вимоги до частотних властивостей системи керування рухом газу.

Коливання зварювального інструменту. Під час зварювання та наплавлення застосовують транспортні та корегувальні системи автоматичного обладнання для отримання процесів із коливальними режимами роботи як елементу модуляції. Це насамперед коливальні рухи поперек направлення зварювання, яке здійснюється за рахунок механізму зварювального переміщення, або з залученням пристроїв коректування руху зварювального інструменту. Такий варіант способу зварювання або наплавлення забезпечує ширшу зону дії процесу й це сприяє за певних обставин можливості ведення процесу з розширення зазору та підвищення продуктивності виконання робіт із наплавлення особливо великих поверхонь.

Дослідження показують, що зазначене коливання зварювального інструменту сприяє покращенню структури наплавленого металу за рахунок додаткового впливу на рух металу у зварювальній ванні, а також поширює зону дії дуги в напрямку, перпендикулярному направленню ведення процесу.

У цьому напрямку є достатня кількість технічних та технологічних розробок, які застосовуються в обладнанні для автоматичного зварювання та наплавлення. Слід згадати системи коливання зварювального інструменту, основне завдання яких – забезпечення сканування шва для реалізації процесу стеження за напрямком ведення зварювання.

Розроблено багато конструкцій для коливання зварювального інструмента на базі електродвигунів, електромагнітних пристроїв із забезпеченням регулювання амплітуди, частоти, у більш складних випадках із програмуванням виконання коливань.

Вище розглянуто основні системи складу обладнання для зварювання та наплавлення, які можуть при певних конструкторських рішеннях забезпечити нові техніко-технологічні переваги використання імпульсних, модульованих, вібраційно-коливальних впливів на результати дугового процесу.

Комбіноване використання систем зварювального обладнання. Є технічні рішення, у яких поєднуються особливості різних впливів імпульсних модульованих та коливальних режимів роботи систем при їх сумісному використанні. Рішення в цьому напрямку, які більш відомі на цей час:

- імпульсне подавання електродного дроту та імпульсні алгоритми роботи джерела зварювального струму;
- імпульсні вихідні характеристики джерела зварювального струму та імпульсне подавання захисного газу;
- модуляція параметрів джерела зварювального струму та імпульсної подачі електродного дроту;
- коливання зварювальної дуги з модульованим впливом від джерела зварювального струму чи системи подавання електродного дроту.

Сумісна робота різних систем зварювального обладнання повинна організовуватись за певними алгоритмами з урахування інерційних властивостей задіяних систем.

Вплив на дуговий процес комбінованих рішень може бути достатньо суттєвим, особливо коли береться до уваги переваги одного та другого впливу, причому зменшується дія їхніх недоліків. Наприклад, вібрація механізму імпульсної подачі електродного дроту може буди суттєво знижена при роботі з імпульсним джерелом струму, тому що можна зменшити амплітуду імпульсів руху дроту і при цьому забезпечити кероване перенесення електродного металу, використовуючи певні переваги джерела живлення дуги.

Є й інші технічні рішення в цьому напрямку. Це один з основних напрямків удосконалення техніки та технології електродугового зварювання та наплавлення електродом, який плавиться, і який потребує розширення та пошуку раціональних розробок та їх ефективного застосування у зварювальному виробництві.

Треба підкреслити, що більшість вищезгаданих технічних та технологічних рішень з організації імпульсних та модульованих процесів з успіхом використовуються при зварюванні мокрим способом під водою.

Є технологічні рішення та обладнання для їх реалізації, які застосовують додаткові пристрої та зовнішній вплив, які покращують певні характеристики зварювання та наплавлення (формування швів та його геометричні характеристики, структуру метала шва й навколошовної зони та інше). Ці основні й достатньо відомі зовнішні впливи узагальнено представлені на рис. 1.7.

Рис. 1.7. Імпульсні, модульовані та інші технічні рішення, які застосовуються в електродугових процесах за рахунок зовнішніх впливів

Застосування магнітних полів. Із зовнішніх впливів імпульсного характеру, які використовуються для поліпшення результатів зварювання та наплавлення, насамперед треба виділити використання магнітних полів, які переважно можуть впливати на перенесення крапель електродного металу та перемішування ванни рідкого металу. Це досить потужний вплив на результати процесу зварювання та наплавлення і використовується здебільшого при роботі автоматів, станків, установок тощо.

Основними труднощами при застосуванні магнітних полів під час зварювання є їх введення в зону горіння дуги та можлива взаємодія цих полі з полями, які виникають при проходженні зварювального струму через електродний дріт та саму дугу.

У процесі зварювання та наплавленні електродними дротами застосовують певну орієнтацію керуючих магнітних полів – поздовжню або поперечну щодо осі впливу з різними параметрами індукції та при імпульсному режимі роботи частоти.

Повздовжнє або аксіальне імпульсне керуюче магнітне поле при певному виборі силових та частотних характеристик впливає на параметри перенесення електродного металу й може забезпечити суттєве зниження його втрат на розбризкування, а також поліпшити формування шва. Вважається, що використання електромагнітних впливів є одним з ефективних способів управління перенесенням крапель. Для прикладу можна зазначити, що застосування низькочастотних аксіальних магнітних полів з успіхом застосовується при зварюванні під флюсом. Відзначається вплив такого поля на параметри наплавленого валика. При дії керуючого імпульсного аксіального поперечного магнітних полів суттєво (до 30 %) підвищується коефіцієнт розплавлення електродного дроту.

На рис. 1.8 для прикладу показана структурно схема введення поперечного магнітного поля в зону дії луги.

Процес дугового зварювання та наплавлення на зворотній полярності при дії як аксіального, так і поперечного магнітних полів дозволяє суттєво зменшити витрати електроенергії (до 20…30 %) і тому, враховуючи зменшення витрат активних матеріалів, можна стверджувати що він є енерго- та ресурсозберігаючим.

Відзначається, що аксіальне магнітне поле з імпульсним характером дії завжди забезпечує зменшення глибини проплавлення основного металу.

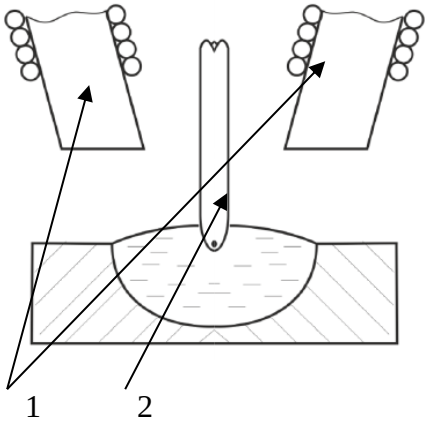
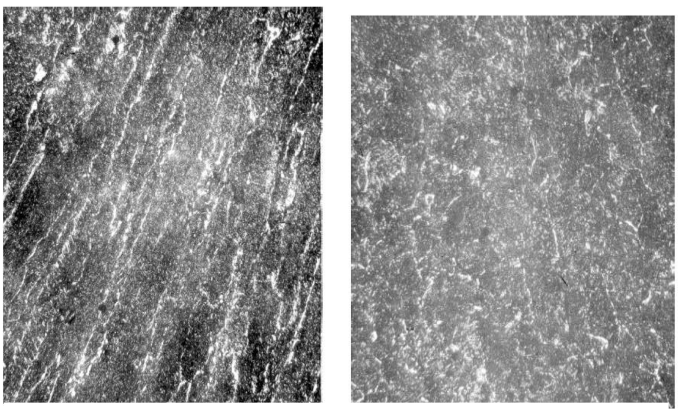


Рис. 1.8. Принцип введення поперечного магнітного полі в дуговий процес:
1 –обмотки електромагніту;
2 – електрод

Експериментальні порівняльні дослідження механічних властивостей швів та валиків з дією керуючих магнітних полів та без них вказують, наприклад, що твердість та ударна в'язкість наплавленого металу підвищується на 5-8 % за наявності при дуговому процесі магнітного поля. Це додатково свідчить про вплив магнітних полів на структуру металу шва чи валика і це підтверджують мікроструктури наплавлених валиків на рис. 1.9, на яких видно суттєве зменшення довжини стовпчастих кристалів під впливом магнітного поля. Це також впливає на поліпшення ударної в’язкості та інших механічних характеристик наплавленого металу.



а *б*

Рис. 1.9. Мікроструктура наплавленого металу 30ХГСА:
а – без дії магнітного поля;
б –з дією магнітного поля

Можна зауважити, що керуючі магнітні поля, які застосовуються для зварювання та наплавлення під флюсом, – це дієві техніка та технологія значного підвищення ефективності цих процесів.

Дуже важливим є напрям використання магнітних полів, зокрема з імпульсними алгоритмами роботи для забезпечення перемішування ванни рідкого металу. Цей спосіб впливу на результати процесів зварювання та наплавлення ефективно з погляду поліпшення структури металу шва або валика.

Що стосується зварювання в захисному газі, то проведені дослідження показують, що дія аксіального імпульсного магнітного поля частотою декілька десятків Гц при зварюванні суцільним електродним дротом сталей у CO_2 досягається зменшення втрат електродного металу до 32 %. При зварюванні з використанням порошкового електродного дроту також досягаються результати зі зменшенням втрат електродного металу.

Є дані щодо зварювання алюмінію та його сплавів із застосуванням магнітних полів імпульсного характеру. Експериментально виявлено, що при дії оптимально вибраних із частотою 215 Гц керуючих магнітних полів забезпечується подрібнення кристалітів по всьому перерізу швів, які виконуються в середовищі інертних газів електродом, який плавиться.

Коливання зварювальної ванни. Серед сучасних видів підвищення технологічної міцності зварних конструкцій, застосування періодичного впливу механічним способом на рідкий метал зварювальної ванни є досить ефективним та поширеним технологічним методом. У сучасних розробках обладнання для коливання (вібрації) виробу з метою впливу на структуроутворення звичайно застосовують режими, у яких амплітудно-частотні параметри мають діапазон вібрацій або коливань у межах від десятків мікрон до 2 мм для амплітуди та від десятків герц до сотень кілогерц для частот.

Відомо, що при відновленні наплавленням деталей типу вал та деяких інших досить серйозними недоліками є тепловий вплив зварювальної дуги на поверхню ванни, високі витрати на електроенергію та зварювальний електродний дріт. Відповідно, з метою зниження цих недоліків була створена установка для наплавлення тіл обертання, яка дозволяє здійснювати наплавлення як із повздовжніми, так і з поперечними коливаннями деталі. Крім зниження витрат електроенергії та зварювального дроту, суттєвою перевагою процесу наплавлення є збільшення міцності та пластичності на 10…15 % у порівнянні з аналогами.

Спосіб наплавлення на цій установці застосовується для відновлювального наплавлення колінчастих і шліцьових валів автомобільних двигунів та ходової частини транспортних засобів, гребних валів малотоннажних суден, приводних валів суднових лебідок, поверхонь котіння кранових коліс, коліс вантажних залізничних вагонів тощо.

Дослідження та використання його результатів при низькочастотних коливаннях металевої ванни плаского виробу, який наплавляється, а також результатів щодо зони термічного впливу коливань з амплітудою і діапазоні 2…7 мм та частотою 2,5…4,5 Гц.

Для наплавлення пласких поверхонь із коливаннями зазначеного амплітудно-частотного діапазону була створена установка, що дає можливість здійснювати коливання по дузі коливального руху вала, на якому закріплений коливальний стіл (рис. 1.10) з деталлю, що наплавляється. Вал переміщується за дугою окружності з центром *О* на певний кут *α*, граничне значення якого визначає величину амплітуди коливання *А*.

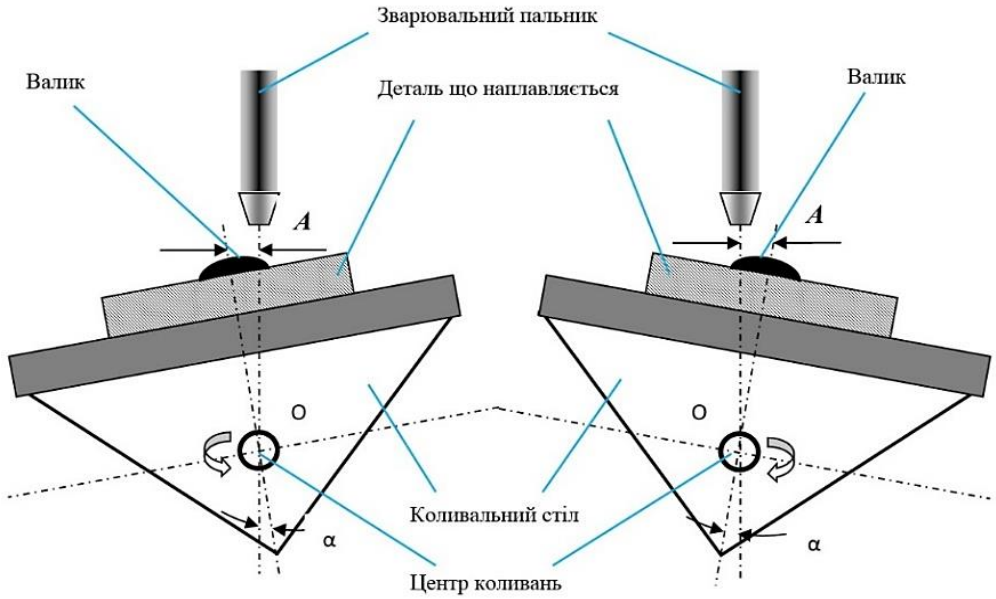


Рис. 1.10. Схема поперечних коливань рухомого столу:
А – амплітуда коливань, α – кут відхилення від осі наплавлення, О – центр коливань

Установка створена із застосуванням сучасних електроприводів із кроковими електродвигунами, які за допомогою спеціальних систем керування, що програмуються, дозволяють досить чітко відтворювати заданий (необхідний) алгоритм коливального руху з максимальною ефективністю.

Застосування такого способу наплавлення дозволяє збільшити твердість наплавленого металу на 7…53 %, металу ЗТВ приблизно на 27…144 %.

Дуже суттєвим є збільшення ширини наплавленого валика за один прохід, за рахунок збільшення діапазону впливу дуги, що впливає на продуктивність виконання робіт в автоматичному режимі для зміцнення та відновлення.

Такий спосіб наплавлення застосовується насамперед для відновлювального наплавлення ріжучих кромок ножів кормоподрібнювальних та зернозбиральних вузлів сільгосптехніки та паперорізальних пласких ножів у виробництві паперу, поверхонь плит пакетних штампів.

Коливання електродного дроту. Електродугове автоматичне зварювання та наплавлення з використанням коливань електродного дроту щодо напрямку зварювання є відомим способом реалізації цього процесу [3].

Для більш ефективного вирішення комплексу задач поліпшення результатів зварювання та наплавлення під флюсом направлена цілеспрямована розробка високочастотного безпосереднього (без додаткових перетворювачів)

коливача електродного дроту з застосуванням нових технічних засобів та оригінального застосування певних фізичних ефектів, використання яких у зварювальному обладнанні та процесах раніше було невідома.

Розробка ґрунтується на використанні високочастотних коливань електрода для отримання комбінованого керуючого впливу, при якому реалізуються умови одночасного керування перенесенням металу через дугу та геометрією наплавленого шару при автоматичному наплавленні під шаром флюсу.

Механічний генератор високочастотних коливань повинен мати здатність створення високочастотних коливань електрода, що складаються з двох гармонік із необхідними значеннями частоти й амплітуди. Гармоніка з більшою частотою забезпечить підвищення продуктивності плавлення електрода, а гармоніка з більшою амплітудою сприятиме збільшенню ширини валика та зменшенню глибини проплавлення.

Розробка в схематичному вигляді нової конструкції генератора коливань представлена на рис. 1.11 і дозволяє, на відміну від попередніх конструкцій, створювати коливання електрода як вздовж, так і поперек валика, що наплавляється, і регулювати їхню амплітуду незалежно від технологічно обумовленої величини вильоту. Додатковий привод для коливання електродного дроту здійснюється за допомогою електромагнітів із пристроєм для керування частотою їхньої роботи.

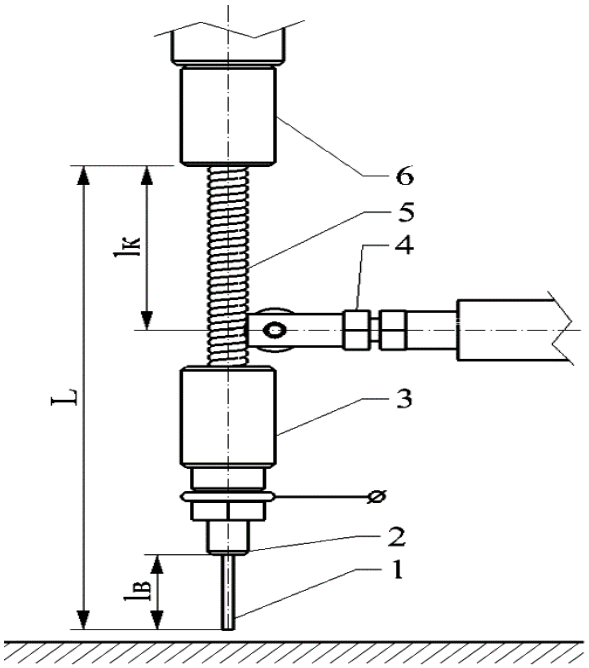


Рис. 1.11. Схема створення високочастотних коливань електродного дроту при наплавленні під флюсом сталі:
1 – електродний дріт; 2 - струмопідведення; 3, 6 - вузли кріплення струмопідведення; 4 - вібраційний вузол механічного генератора коливань; 5 – гнучка спіраль; L - Довжина рухомий (еластично закріпленої) частини струмопідведення з електродом; lк – плече застосування зусилля від механічного генератора; lв – виліт електрода

Встановлено та експериментально підтверджено, що для певного діаметра електродного дроту d_e залежно від частоти коливань f та їхньої амплітуди можна отримати такі виражені ефекти:

- забезпечити керування товщиною рідкометалевого шару на торці електрода;

- реалізувати мікрокрапельне перенесення металу в результаті гравітаційно-капілярного розпилення (використання фізичного ефекту);

- можливість управління перенесенням металу та продуктивністю плавлення електрода;

- впливати на управління геометрією проплавлення.

Високочастотні коливання електрода сприяють розосередженню теплового потоку та зміні геометрії наплавлення. Розрахунки показали, що при наплавленні на низьковуглецеву сталь дугою потужністю 7 кВт збільшення амплітуди поперечних коливань до 20 мм призводить до зниження глибини проплавлення на 50 % порівняно з наплавленням без коливань. Експериментально встановлено, що при наплавленні з коливаннями частотою 250 Гц максимальна температура на відстані 6 мм від осі валика перевищує температуру металу при наплавленні без коливань на 15 %.

Спосіб зварювання з високочастотними коливаннями, які є керованими, дає ще комплекс переваг, основні з яких – це зменшення втрат електродного металу на розбризкування, покращення структури металу шва, підвищення продуктивності процесу та інше.

Цей спосіб і в теперішній час потрібно вдосконалювати в частині обладнання для того, щоби коливач електродного дроту можна б було застосувати в конструкціях напівавтоматів та виконанні комплексу досліджень та ефективних технічних розробок з метою реалізації зазначеного способу при зварюванні в середовищі CO_2.

Розглянемо деякі комбіновані техніко-технологічні рішення, які використовують комбіновані впливи на дуговий процес різних додаткових систем. Можна зазначити, що здебільшого це спільна робота систем зварювального обладнання та відповідного додаткового обладнання різних типів. При цьому як основні, так і додаткові системи можуть функціонувати як у звичайному, так і в імпульсному режимі.

Особливою категорією здійснення комбінованого впливу на дуговий процес є рішення з використанням декількох різних джерел нагріву. Це передусім рішення, які пов'язані зі стороннім додатковим нагрівом електродного дроту та виробу, який зварюється чи наплавляється.

Слід особливо виділити ті технологічні процеси дугового зварювання та наплавлення, у яких використовуються різні комбінації джерел допоміжного тепла, яке вводиться в металеву ванну. Серед можна вказати на процес плазма-МІГ та дуже ефективний процес гібридного лазерно-дугового зварювання, який в останній час набирає подальшого розвитку та поширення.

Є ще один напрямок комбінованих впливів на процеси електродугового зварювання та наплавлення – це сумісне використання деяких нових технологічних засобів, матеріалів та технічних нововведень.

Література до розділу 1

1. Лебедев В. А. Техника и технология дуговой сварки и наплавки / В. А. Лебедев, А. И. Гедрович. – Луганск : Ноулидж, 2010. – 254 с.

2. Лебедєв В. О. Вивчення особливостей механізованого електродугового наплавлення з періодичною зміною режимів процесу / В. О. Лебедєв, В. О. Тищенко, М. М. Бриков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. – № 1. – С. 62-69.

3. Макара А. М. Поперечные перемещения дуги как фактор улучшения структуры и свойств сварных соединений / А. М. Макара, Б. Н. Кушнеренко // Автоматическая сварка. – 1967. – № 1. – С. 31-35.

РОЗДІЛ 2
Імпульсні алгоритми роботи джерел зварювального струму та їх використання при зварюванні та наплавленні. Поняття синергетики. Інверторні джерела живлення дуги

Загальні відомості про сучасні джерела зварювального струму. Джерела зварювального струму є основою системи живлення дуги й генерування теплового впливу як на плавлення електродного дроту, так і виникнення та підтримання ванни рідкого металу і формування зони термічного впливу.

Цей тип джерел дуже специфічний і відрізняється від джерел, призначених інших технологій чи об'єктів. До джерел живлення зварювальної дуги ставляться особливі технічні вимоги, пов'язані зі статичною характеристикою дуги, процесом плавлення та перенесення металу при зварюванні, рівнями струмів і напруг, можливістю регулювання цих параметрів, можливістю забезпечити технологічно необхідні струми короткого замикання, наприклад, при перенесенні електродного металу при зварюванні з короткими замиканнями дугового проміжку та низку інших вимог. Від способу організації формування характеристик джерела зварювального струму залежить якість результатів зварювання та наплавлення, а також при певних параметрах можливість керування перенесенням електродного металу, та формуванням шва та наплавленого валика.

Є багато типів та конструкцій джерел живлення зварювальної дуги – від простих однофазних з перетворюванням енергії з частотою живлячої електромережі до сучасних інверторних джерел.

У цьому розділі увагу приділено джерелам зварювального струму з можливістю імпульсного чи модульованого впливу на дуговий процес. На рис. 2.1 узагальнено представлена класифікація джерел такого типу.

При класифікації враховані джерела живлення, які були розроблені та виготовлялися раніше, але й дотепер досить широко застосовуються в промисловості. Більше уваги приділено сучасним розробкам джерел живлення дуги інверторного типу, які дедалі більше находять застосування, зокрема й на підприємствах малого бізнесу, які зайняті ремонтом автомобілів тощо.

Звернемо увагу на те, що й досі використовуються джерела зварювального струму з живленням від однофазної мережі. Тут є і достатньо прості за конструкцією джерела, а також і сучасні інверторні джерела. У класифікації вони не надані, тому що імпульсні алгоритми їхньої роботи не є достатньо впливовими для сфер їх застосування.

Звичайні трансформаторні джерела зварювального струму без перетворення частоти напруги мережі живлення можуть бути використані як для ведення модульованих процесів, так і для ведення процесів з імпульсною складовою. При використанні джерел у процесах із модуляцією напруги зварювання – наплавлення достатньо мати джерело з регульованим рівнем вихідної напруги й у разі потреби змінювати її зовнішніми резисторами з відповідною частотою та рівнем. Зазвичай це відбувається з використанням зовнішнього доданого модулятора з таймером. Такий спосіб отримання модуляції здебільшого має достатньо низькій частотний діапазон – до кількох герців.

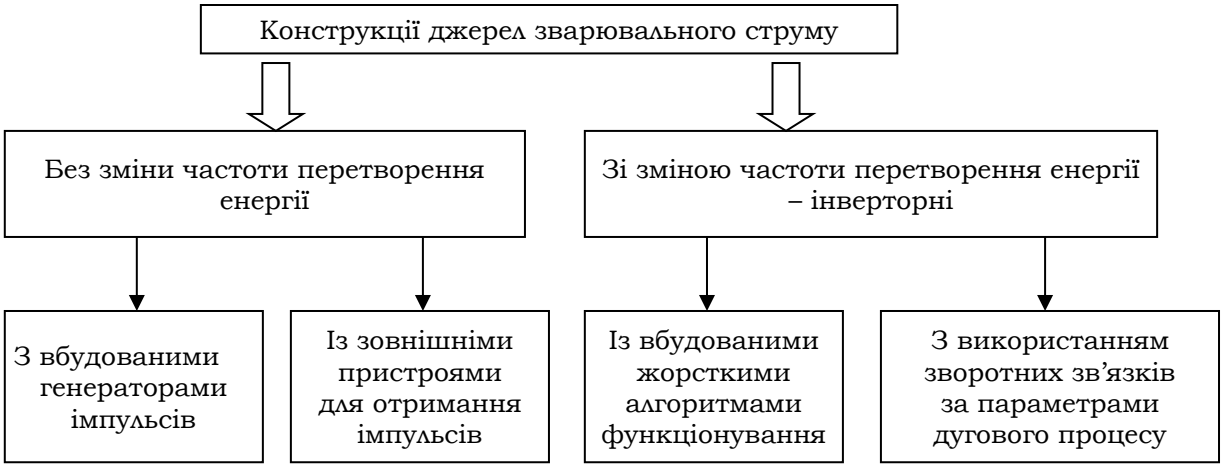


Рис. 2.1. Класифікація джерел зварювального струму з імпульсними алгоритмами роботи

Джерела без перетворення частоти досить часто розробляються для отримання імпульсів вихідних параметрів із частотами, які залежать від частоти живлячої мережі. Так, наприклад, в ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблена та виготовлена низка спеціальних джерел із регульованими параметрами імпульсів для реалізації імпульсно-дугового процесу зварювання.

Зазначимо, що є конструкції джерел зварювального струму, у яких на базі серійної конструкції за допомогою додаткового імпульсоформуючого пристрою відбувається генерування силових імпульсів впливу на дуговий процес.

Сучасні інверторні джерела зварювального струму дають змогу суттєво розширити можливості обладнання для зварювання та наплавлення. У промислово розвинених країнах виробництво та використання джерел живлення інверторного типу для механізованих та автоматичних систем для зварювального та відновлюваного виробництва суттєво переважає інші типи джерел.

Технологічні особливості використання імпульсних джерел живлення дуги для механізованих дугових процесів. Розробка нових та модернізація відомих технологій із використанням механізованих дугових процесів зварювання, наплавлення та різання металів ґрунтується, у тому числі й на використанні джерел живлення дуги з розширеними можливостями з керування технологічними параметрами зазначених процесів. Ці можливості джерел живлення дуги, крім усього, мають впливати і на такі показники, що характеризують механізовані дугові процеси, як точність виготовлення та відновлення, міцність виробів, продуктивність і якість, товарний вид і особливо економічність за всіма видами витрат.

Слід зазначити, що спосіб зварювання з використанням імпульсно-дугового процесу якісно відрізняється від інших процесів із використанням електрода, який плавиться – зварювання в CO_2, зварювання з використанням модуляції тощо. Цей спосіб зварювання зазвичай використовується для управління плавленням електродного дроту та перенесенням електродного металу.

Варіант застосування імпульсно-дугового процесу для керування процесом перенесення електродного металу представлений на рис. 2.2, де видно як імпульси струму забезпечують перенесення електродного металу в зварювальну ванну.

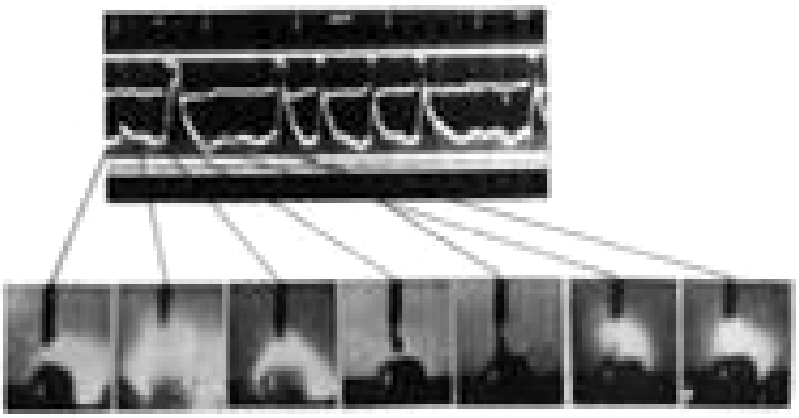


Рис. 2.2. Осцилограми та характерні зображення фаз переносу електродного металу при імпульсно дуговому зварюванні

Одним із найперспективніших напрямів розширення технічних та технологічних можливостей механізованих дугових процесів зварювання, наплавлення та різання металів є використання джерел живлення дуги з імпульсними алгоритмами управління цими процесами. Тут під імпульсними алгоритмами слід розуміти як програмну зміну порядку прямування імпульсів (частота, шпаруватість), так і форми імпульсу, яка реалізується в найбільш сучасних джерелах зварювального струму.

Визначено, що для задоволення технологічних цілей і завдань для джерел живлення дуги вибирають такі частотні діапазони алгоритмів імпульсного управління:

- 5000…100 Гц – для підвищення стійкості горіння дуги та зменшення розмірів крапель електродного металу, які переносяться;

- 300…25 Гц – для управління перенесенням електродного металу в усіх просторових положеннях;

- 25…0,25 Гц – поліпшення формування шва і управління елементами формування шва переважають у всіх просторових положеннях, зокрема і рахунок зменшення розмірів зварювальної ванни і підвищення швидкості кристалізації;

- від 0,25 Гц і нижче – для регулювання кристалізаційних процесів у металі шва та в зоні термічного впливу (навколо шовна) зона.

Зупинимося на тих технологічних ефектах, які можна отримати, використовуючи досить прості конструкції імпульсних джерел живлення дуги, що генерують імпульси з нерегульованими заданими формами й частотами. У таких джерелах параметри імпульсів переважно визначаються схемними побудовами.

Імпульсно-дуговий процес здійснюється переважно з постійною швидкістю подачі електродного дроту, а його основні характеристики включають низку показників:

- i – середнє значення струму;
- u – середня напруга дугового процесу;
- $U_{мах}$ – максимальна напруга імпульсу;
- $U_п$ – напруга у проміжку (паузі) між імпульсами;
- $I_и$ – максимальний струм в імпульсі;

- $I_п$ – струм у проміжку (паузі) між імпульсами;
- $t_и$ – тривалість імпульсу;
- $t_п$ –тривалість паузи;
- $T = t_и + t_п$ – тривалість циклу;
- $f_и = 1/T$ – частота проходження імпульсів.

Крім вищевказаних характеристик імпульсно-дугового процесу, необхідно їх доповнити такими показниками, як швидкість наростання і спаду струму імпульсу, а також швидкість наростання струму при короткому замиканні зварювального ланцюга, які безпосередньо впливають протягом дугового процесу.

Для реалізації імпульсно-дугового процесу потрібні особливі джерела живлення дуги:

- сучасні джерела на основі тиристорних випрямлячів;
- окремі джерела інверторного типу;
- чоперні системи;
- конвертори як допоміжні засоби для формування імпульсів

Зупинимось на джерелах живлення на основі випрямлячів без перетворення частоти напруги живлення. Для прикладу на рис. 2.3 представлена структурна схема варіанту конструкції такого джерела.

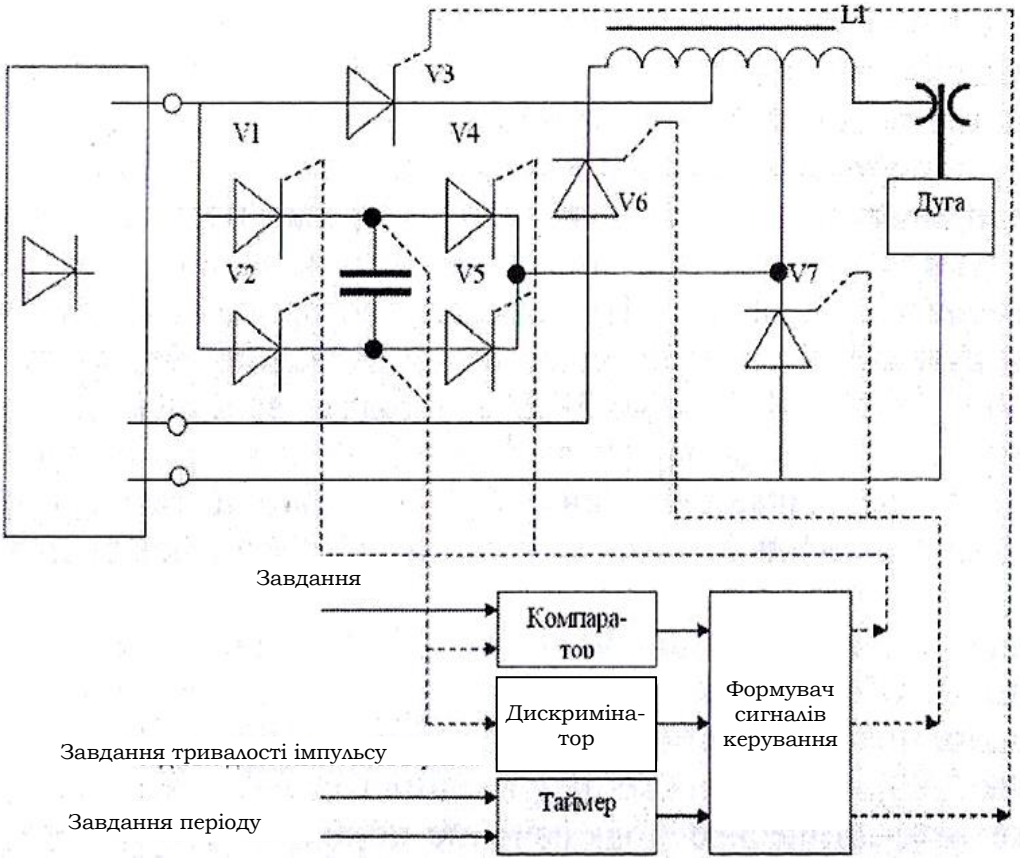


Рис. 2.3. Структурна схема джерела для імпульсно-дугового процесу з плавним регулюванням параметрів

Таке тиристорне джерело за допомогою вбудованої системи керування та регулювання дозволяє отримувати плавну зміну параметрів вихідних імпульсів.

Осцилограма формування від джерела імпульсів зазначеного типу для одного виду представлена на рис. 2.4.

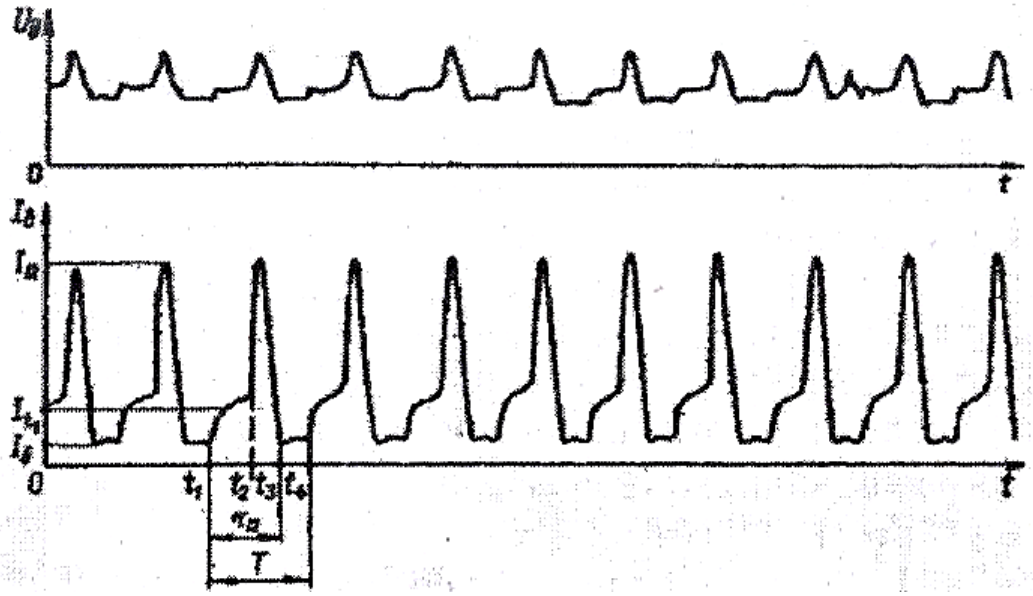


Рис. 2.4. Програма зміни струму дуги, яка забезпечується джерелом:
Uд – напруга дуги; Iд – струм дуги; $\tau_и$ – час дії імпульсу;
T – період проходження імпульсів

Джерела живлення для використання при формуванні імпульсно-дугового процесу без перетворення частоти живлячої напруги ще не вибрали до кінця свій потенціал. Вони постійно вдосконалюються, особливо в частині програмного забезпечення.

Взагалі існує дві основні концепції побудови джерел живлення для реалізації імпульсно-дугового процесу. Одна з них заснована на плавленні електродного металу під час проходження базового струму й перенесення краплі, яка створилася в момент подачі імпульсу. Згідно з другою – базовий струм лише підтримує горіння дуги, а імпульсний струм плавить та переносить електродний метал.

Наведемо кілька прикладів ефективного використання імпульсно-дугового процесу зварювання електродом, який плавиться, у середовищі інертного газу реалізований за допомогою джерел зварювального струму без перетворення частоти [1].

Процес застосовується на струмах 50…350 А в діапазоні частот 30…300 Гц.

Спочатку такі системи застосовувались виключно для зварювання сплавів алюмінію. При цьому в порівнянні зі зварюванням вольфрамовим електродом досягалася більш повна руйнація оксидної плівки, зменшення або відсутність включень у метал шва, можливість зварювання в усіх просторових положеннях (керований крапельний перенос електродного металу), зменшення тепловкладень, а тому зниження деформації виробу збільшення швидкості виконання зварювання, особливо при монтажі.

Зварювання з імпульсно-дуговим процесом застосовується при надбудовах кораблів, зокрема зі сплавів АМг6 завтовшки 4…25 мм. Цим же методом відбувається зварювання в інертних газах кузовів автомобілів з алюмінієвих сплавів ALZnSMgI та АМг6, а також напівавтоматичним зварюванням автомобільних напівпричепів. Процес з імпульсно-дуговим впливом ефективний для зварювання сплавів типу АМг6 завтовшки близько 50 мм і навіть 70 мм з вузькою розробкою кромок. При цьому зварювання в декілька проходів не є завадою для якісного виконання з'єднання. Багато подібних робот виконано з використанням тиристорних джерел зварювального струму з імпульсно-дуговими алгоритмами функціонування, які розроблені в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України [2]. Роботи з їх удосконалення ведуться постійно, у тому числі з пошуком нових можливостей у частині програмного забезпечення. У попередньому розділі представлено алгоритм формування імпульсів зварювального струму з двоступеневим рівнем, дія якого розширює можливості відповідного обладнання. Ступінь струму з рівнем $I_н$ і тривалістю $t_н$ дозволяє розплавляти заданий об'єм металу електрода й забезпечує кероване перенесення краплі розплавленого металу у ванну в усіх просторових положеннях. Це забезпечує якісне формування шва та суттєву економію матеріальних та інших ресурсів, включаючи витрати на ведення робіт.

Зазначимо, що обладнання та технології імпульсно-дугового зварювання на сучасному технічному рівні можна з успіхом застосовувати в інших процесах, наприклад, для зварювання в CO_2 сталей. Цей процес рекомендовано для застосування при зварюванні металоконструкцій із низьколегованих сталей, тонколистового металу та виконання швів малого перетину, а також зварювання та наплавлення в разі потреби забезпечить невелику частку основного металу в металі шва. Високий рівень механічних властивостей металу шва, які виконані зі сталі 09Г2С та 15Г2АФ, досягається за рахунок незначної кількості неметалевих включень та формуванням сприятливої структури з перевагою голчастого фериту. При цьому отримується дрібнозерниста структура, що забезпечує кращі механічні властивості з'єднання ніж при зварюванні стаціонарною дугою.

Застосування імпульсно-дугового процесу дозволяє покращити результати зварювання легованих сталей особливо у вертикальному та стельовому положеннях.

Цікавими є роботи із застосуванням цього процесу при виконанні з'єднань сплавів на основі міді та титану.

Важливо зазначити, що імпульсно-дуговий процес з успіхом застосовується для зварювання та наплавлення порошковим дротом із використанням відповідного обладнання та зварювальних матеріалів. Ця техніка та технології, зокрема, впроваджуються при зварюванні елементів трубопровідного транспорту.

Є ще багато сфер, де імпульсно-дуговий процес та техніка для його реалізації находять застосування з певними технологічними ефектами.

Що стосується такого типу обладнання, як чоперні та конверторні пристрої, то за останні роки ми не спостерігаємо поширення їх застосування, а також нових цікавих розробок у цьому напрямку, а тому не будемо детально розглядати.

Поняття синергетики та способи її організації у зварювальному обладнанні. **Можливості синергетичного управління в системах дугового механізованого обладнання.** Взагалі алгоритмів управління перенесенням електродного металу у зварювальну ванну з використанням джерел живлення дуги з регульованими, у тому числі з використанням систем зворотних зв'язків за параметрами дугового процесу, характеристиками імпульсів, що генеруються, може бути значна чисельність. Зазначені алгоритми зумовлені конкретними технологічними завданнями, використовуваними електродними дротами, захисними газами, умовами виконання робіт і технічними можливостями механізованого дугового обладнання.

Окремо зупинимося на синергетичному управлінні в тому його аспекті, який стосується способів імпульсного впливу джерела живлення дуги на перенесення електродного металу та формування зварного шва [3].

Перш ніж розглянути основні види та характеристики синергетичних процесів, які використовуються в механізованому дуговому зварюванні та наплавленні, уточнимо саме поняття «синергетика».

У широкому розумінні терміном «синергетика» позначається цілісний спільний чи кооперативний ефект взаємодії великої кількості підсистем у відкритих системах. Можна уточнити, що це ефект виникнення з хаосу та безладдя стійких самоорганізованих чи взаємопов'язаних структур.

Найчастіше з поняттям «синергетика» пов'язують імпульсно-дугове зварювання електродним дротом який плавиться в середовищі захисних газів. Точніше можна сказати, що новий етап розвитку цього імпульсно-дугового зварювання, що отримав розвиток з 1977 року, відрізняється можливістю синергетичного управління, при якому параметри імпульсів, що генеруються джерелом живлення, пов'язані за певним алгоритмом зі швидкістю подачі електродного дроту.

До регульованих параметрів імпульсів у синергетичному зварюванні, як її зазвичай називають закордонні виробники відповідного механізованого дугового обладнання (переважно напівавтомати) належать частота, тривалість та амплітуда. Зазначені імпульси – це, зазвичай, імпульси струму. Взаємозв'язок деяких параметрів імпульсів зі швидкістю подачі електродного дроту в ідеалізованому варіанті можна бачити на графіках рис. 2.5. Дуже корисним для аналізу фахівцями є основне синергетичне співвідношення, що описує залежність основних параметрів імпульсів, що генеруються джерелом, залежно від швидкості подачі електродного дроту. Це співвідношення у вигляді рівняння за умови підтримки постійної довжини дуги як параметра, що визначає швидкість плавлення V_e зазначеного дроту, має вигляд

$$V_e = \frac{(I_i - I_б)t_n f_i - b}{a}, \qquad (2.1)$$

де a – коефіцієнт, що описує залежність між величиною середнього струму і швидкістю подачі електродного дроту; $I_i, I_б$ – струм в імпульсі та базовий струм; t_n – тривалість паузи; f_u – частота проходження імпульсів; b – початкове значення струму при V_e = 0.

З наведеного рівняння видно, що будь-яка зміна швидкості подачі при синергетичному зварюванні повинна викликати, зокрема й адекватну зміну потужності імпульсів, що визначається як добуток амплітуди імпульсу на його тривалість.

Таким чином, очевидно, що для імпульсно-дугового процесу із синергетичним управлінням існують два обов'язкові критерії:

- баланс між швидкістю подачі та швидкістю плавлення для стабілізації довжини дуги;

- кероване перенесення електродного металу імпульсами струму, що повторюються.

З огляду на те, що завданням будь-якого імпульсно-дугового процесу є керування перенесенням електродного металу, у тому числі переведення перенесення з великими краплями в дрібнокрапельне перенесення. Розглянемо можливості такого процесу під час введення синергетичного регулювання.

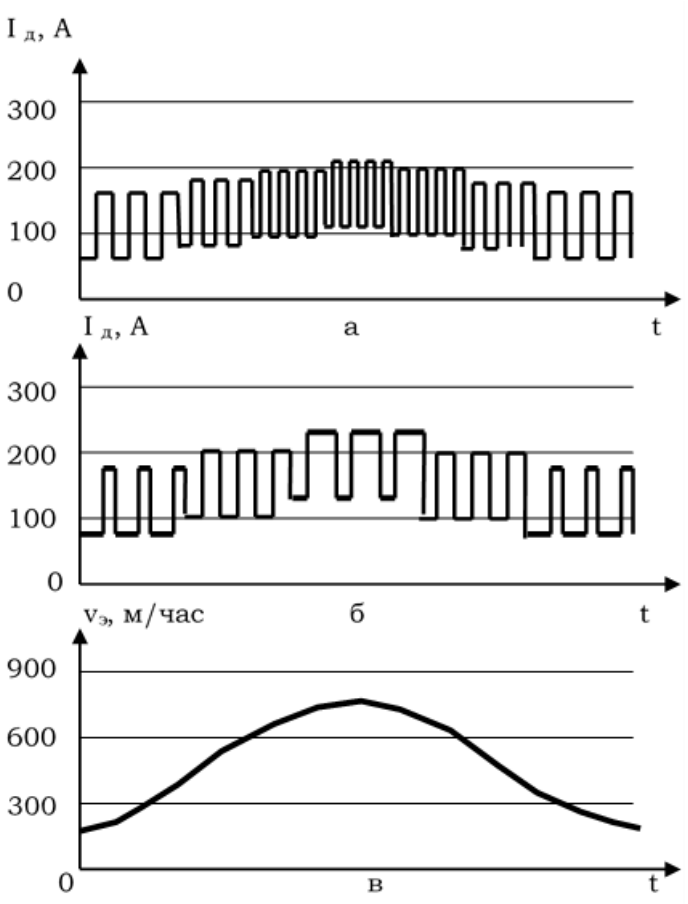


Рис. 2.5. Взаємозв'язок струму дугового процесу та форми його імпульсів зі швидкістю подачі електродного дроту

Зауважимо, що нині відомо, що серійно випускається механізоване дугове обладнання (напівавтомати), яке призначене лише для зварювання електродом, що плавиться, у середовищі інертних газів, а також у сумішах газів при роботі в режимах без коротких замикань дугового проміжку. Таке обмеження пояснюється так. При зварюванні в середовищі аргону, а також у сумішах аргону та вуглекислого газу, де вміст вуглекислого газу не більше ніж 25...30 %, необхідна енергія імпульсів для надійного керування перенесенням електродного металу ще не надто велика й може бути відносно легко отримана в режимі керування при використанні сучасної перетворювальної техніки. Крім того, досить низькі рівні енергії імпульсів сприяють спокійному перебігу процесу зварювання, низькому рівню вигоряння легуючих елементів у рідкій краплі електродного металу та ін.

Сучасне механізоване дугове обладнання – напівавтомати забезпечують зварювання в суміші захисних газів низьковуглецевих низьколегованих сталей, при цьому зазвичай використовують суміш – аргон та 25 % вуглекислого газу. Дуже ефективне синергетичне зварювання для отримання швів із заданими спеціальними характеристиками у виробах із високолегованих сталей. У

цьому випадку необхідно зменшити вміст у суміші газів вуглекислого газу до 5 %. Зварювання алюмінію та його сплавів у середовищі аргону без домішок інших газів – найбільш поширений та високоефективний синергетичний процес із використанням імпульсів струму, що мають найменші з розглянутих процесів енергетичні параметри.

Можна відзначити, що синергетичне зварювання легованих сталей переважна для процесів із короткими замиканнями дугового проміжку.

Необхідно поставити питання про те, чи може синергетична зварювання бути використана при зварюванні з іншими типами перенесення електродного металу, використанням інших газів, наприклад, «чистого» вуглекислого газу, а також порошкових самозахисних електродних дротів.

У технічній періодиці [4] можна зустріти розгляд можливостей реалізації синергетичного зварювання та в разі ведення процесу з короткими замиканнями дугового проміжку, що здебільшого характерно для зварювання з використанням короткої дуги. При цьому наголошується, що в цьому процесі при застосуванні аргону або його суміші енергія імпульсів може бути навіть меншою, ніж при зварюванні довгою дугою.

У технічній літературі [5] багато місця приділено такому найважливішому показнику застосування синергетичного зварювання як підвищення продуктивності, при цьому підвищення продуктивності пов'язано, як із самою сутністю процесу (оптимальні режими з енерговитрат, менша витрата електродного дроту на одиницю довжини шва, можливість використання більш економічних дротів діаметрами 1,2; 1,6 мм замість дротів діаметрами 0,8…1,0 мм), так і з деякими додатковими ефектами, такими як стабільність горіння дуги при зміні вильоту електродного дроту і коливаннях напруги мережі живлення, зменшення розбризкування електродного металу, поліпшення умов праці зварювальника, відмінне формування шва, що у різних просторових положеннях.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України виконано певні розробки з можливістю застосування в них синергетичного обладнання. Ці розробки можуть бути використані при створенні обладнання для напівавтоматичного та автоматичного зварювання, а також для застосування у складі робототехнічних систем. Крім цього, в ІЕЗ ім. Патона запропоновано свою ідеологію побудови синергетичних регуляторів для реалізації зварювальних процесів без використання імпульсних алгоритмів роботи джерел зварювального струму і про це буде сказано в наступному розділі.

Зупинимося на деяких конкретних технологічних завданнях, ефективне вирішення яких виявилося можливим лише при використанні синергетичного управління.

Крім вищезгаданого зварювання сплавів алюмінію і нержавіючих сталей, виявилося можливим зварювання, міді, титану, нікелю, кременистої бронзи та деяких інших сплавів.

Можна доповнити, що синергетичне зварювання нержавіючих сплавів виявляється більш ефективною зварювання з короткими замиканнями, коли для реалізації останнього як захисний газ часто потрібний гелій. За допомогою

синергетичного зварювання вдається з'єднувати металоконструкції зі сплавів алюмінію завтовшки не більше як 1,6 мм з використанням електродних дротів діаметром 1,6 мм. Стикові шви в цьому випадку можна зварювати практично в усіх просторових положеннях без застосування спеціальних технологічних підкладок, тобто у вазі.

Цікавими є роботи із синергетичного багатошарового зварювання стикових швів товстих сталевих плит, у тому числі у вертикальному положенні з надійним проплавленням кромок та високими показниками ударної в'язкості, а також товстолистових титанових сплавів.

Можна відзначити, що синергетичне зварювання легованих сталей переважна для процесів із короткими замиканнями дугового проміжку.

Необхідно поставити питання про те, чи може синергетичне зварювання бути використана при зварюванні з іншими типами перенесення електродного металу, використанням інших газів, наприклад, «чистого» вуглекислого газу, а також порошкових самозахисних електродних дротів.

У технічній періодиці [4; 5] можна зустріти розгляд можливостей реалізації синергетичного зварювання та в разі ведення процесу з короткими замиканнями дугового проміжку, що здебільшого характерно для зварювання з використанням короткої дуги. При цьому зазначено, що в цьому процесі при застосуванні аргону або його суміші енергія імпульсів може бути меншою, ніж при зварюванні довгою дугою.

Слід зазначити, що напівавтоматів для синергетичного зварювання ніякої інформації про синергетичні процеси з використанням порошкових електродних дротів.

У цьому напрямі треба зазначити досить нові й доцільні розробки, метою яких є додаткове механічне дозування крапель електродного металу, тобто їх перенесення із заздалегідь визначеними (заданими) значеннями їхньої маси. Які ж технічні та технологічні переваги синергетичного зварювання можна виділити? Насамперед це зручність налаштування обладнання на оптимальний режим роботи, що виконується в більшості напівавтоматів за допомогою одноручкового налаштування. Такий режим роботи зумовлений самою сутністю синергетичного зварювання, коли, попередньо вибравши тип (матеріал) і діаметр електродного дроту (можливий також вибір захисного газу або суміші газів), зварювальники задають швидкість подачі електродного дроту, а вже залежно від цієї швидкості відповідно до закладеного в систему регулювання напівавтоматів алгоритму програмно в автоматичному режимі вибираються інші параметри імпульсно-дугового процесу, а саме, параметри імпульсів: їх амплітуда, тривалість, напруга. Нагадаємо, що раніше, використовуючи імпульсно-дуговий процес, без якого, наприклад, неможливо зварити з необхідною якістю більшість сплавів алюмінію, зварювальник повинен був використовувати кілька налаштувань напівавтомата.

Раніше до недоліків, властивих імпульсно-дугового зварювання з синергетичним управлінням слід віднести досить високу вартість обладнання і витрати на його обслуговування, використання відносно низького рівня погонної

енергії, що має істотне значення при зварюванні й наплавленні в нижньому положенні, зокрема, при використанні порошкових самозахисних електродних дротів. На теперішній час більшість цих питань вирішено.

Слід зауважити, що в Україні є розробки та організований серійний випуск інверторних джерел зварювального струму з режимами роботи покритими електродів (ручне дугове зварювання), а також для механізованого дугового зварювання та аргонодугового зварювання електродом, що не плавиться. Це джерела типу ВДУЧ на 250, 315 і 500 А. Побудова їх систем регулювання може бути адаптовано до роботи з синергетичним управлінням.

Рис. 2.6. Джерело зварювадьного струму інверторного типу ВДУ350

На рис. 2.6 представлене джерело зварювального струму інверторного типу з комбінованими характеристиками, які, зокрема, дають змогу здійснювати процес механізованого та автоматичного дугового зварювання.

Слід зазначити, що реалізація синергетичного способу зварювання може бути додатково здійснено кількома основним способами, які детально описані в роботі.

Перший спосіб синергетичного управління зварюванням з імпульсною подачею електродного дроту.

Оскільки в аналізованому процесі діючим параметром є напруга зварювання, то впливати на середню швидкість подачі, а отже, середнього струму зварювання можна, здійснюючи мікропроцесорне формування імпульсів залежно від напруги процесу. Додаткове формування середньої швидкості подачі можна здійснити, регулюючи, у відповідність до виразу (2.1) часи дії різних фаз імпульсного впливу.

Вибір найбільш «важливого» параметра імпульсного впливу, що визначає середню швидкість подачі при синергетичному управлінні, здійснювався за допомогою системних експериментальних досліджень на основі розробленої нейромережевої моделі, які показали, що в більшості випадків найбільш ефективними є управління по кроку імпульсної подачі або частоти подачі електродного дроту і впливає на середню швидкість подачі, а отже, на струм дугового процесу. Реалізувати цей спосіб синергетичного керування можливо шляхом введення в регулятор системи керування подачею електродного дроту певних структур зворотних зв'язків.

Синергетичний режим роботи механізму подачі знижує складність виконання зварювання, що навіть зварювальник з досить низькою початковою кваліфікацією може впевнено здійснювати більшість операцій, керуючи процесом за допомогою однієї рукояті при заздалегідь визначених характеристиках формування імпульсного руху.

Другий спосіб синергетичного управління зварюванням з імпульсною подачею електродного дроту.

Використовуючи всі переваги першого способу управління, пропонується комбінований спосіб, що поєднує в собі можливості імпульсно - дугового процесу і імпульсної подачі електроприводу з регульованими параметрами. Завдання комбінованого керування перенесенням електродного металу з використанням імпульсних впливів від джерела зварювального струму та механізму подачі вже вирішувалося з отриманням ефективного впливу, що детально описано в роботі. Недоліками цієї розробки стало наявність тимчасових залежностей між генеруванням імпульсів джерела та механізму подачі з метою їх синхронізації при різних інерційностях генераторів, що створювало труднощі у виборі як параметрів імпульсів, так і встановлення часів.

Вирішити задачу синхронізації дозволяє введення зворотних зв’язків за параметрами процесу зварювання. При цьому використовувалися зворотні зв'язки як по струму, так і по напрузі зварювання, а також їх комбінації. Слід зазначити, що в цьому випадку, як показало дослідження, раціональним є початкове генерування механічного імпульсу, а потім з деяким запізненням - імпульс джерела зварювального струму.

Використання зворотних зв'язків при розробці способу комбінованого імпульсного впливу, вже само по собі є способом синергетичного управління зварювальним процесом. Крім цього, як і в попередньому способі, тут організується зворотні зв’язки, що управляють параметрами обох генераторів імпульсів з дуже широкими можливостями на вибір параметрів регулювання: величини імпульсів, шпаруватості, співвідношення величин в імпульсі подачі і в паузі, частота, крок подачі для механізму подачі практично у будь-якій їх комбінації зі стабілізацією одних параметрів та регулюванням інших.

Інверторні зварювальні джерела живлення. У теперішній час це найбільш поширений і такий, що динамічно розвивається. Основні відомості про інверторні джерела живлення зварювальної дуги викладені в роботі та інших.

Спрощена структурна схема зварювального джерела інверторного типу представлена на рис. 2.7. Зварювальний інвертор (інверторне джерело зварювального струму – це один з видів джерела живлення зварювальної дуги). Інверторні джерела зварювального струму для всіх видів зварювання побудовані однаково. Відмінність полягає лише у формованій вольт-амперній характеристиці. Тому можливий випуск універсальних, придатних для різних видів зварювання (MMA, TIG, MIG/MAG).

Принцип дії інверторного джерела зварювальної дуги згідно з рис. 2.7.

- Працює від мережі змінного струму напругою 220 або 380 вольт і частотою струму 50 Гц.

- Зварювальний струм, що надходить в інвертор, проходить через діодний міст (мережевий випрямляч), де він згладжується і стає постійним.

- Отримана електрична енергія проходить через блок транзисторів (з великою частотою комутації), в результаті виходить знову змінний струм тільки з більшою частотою – 20-50 кГц і більше.

- Далі, напруга струму перетворюється, вона на виході інвертора знижується до 70-90 вольт. Згідно із законом Ома зниження напруги дає підвищення сили струму. На виході (на кінці електрода) буде сила струму, що дорівнює 100-300 ампер. Це і є сила струму зварювання.

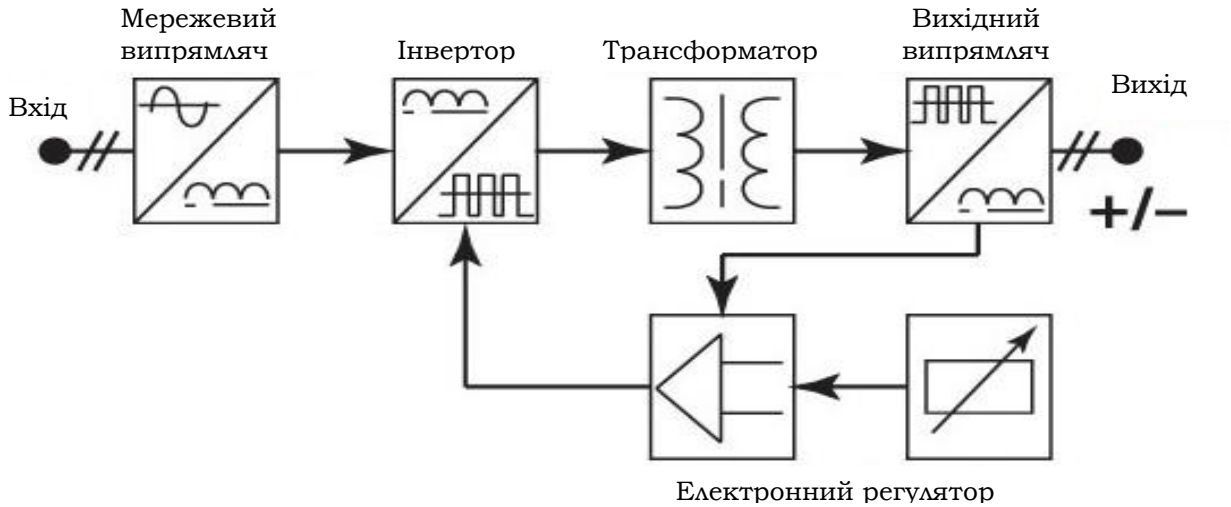


Рис. 2.7. Загальна спрощена схема роботи зварювального інвертору

Інверторне джерело зварювального струму складається з таких частин:

- випрямляч,
- інвертор, зібраний з транзисторів,
- трансформатор, який знижує напругу,
- встановлений на виході випрямляч.

До складу інвертора входить електронний регулятор для забезпечення як керування процесів у самому інверторі, так і для формування зовнішнього вихідного сигналу.

Переваги інверторного джерела живлення зварювальної дуги:

- головною позитивною якістю інвертора є мінімальна вага (через малі розміри трансформатора);
- має широкий діапазон регулювання зварювального струму;
- забезпечує можливість формування найскладніших алгоритмів вихідної напруги.

Недоліки інверторних джерел зварювального струму:

- обмеженість за коефіцієнтом завантаження, що пов'язано зі значним нагріванням елементів схеми;
- підвищена чутливість до вологості повітря і конденсату, що випадає всередині корпусу;
- високий (а часто й небезпечний) рівень створюваних високочастотних електромагнітних завад. Ця проблема частково вирішується застосуванням, так званої, поліпшеною широтно-імпульсної модуляції і синхронними випрямлячами у вторинних ланцюгах.

Використання інверторних технологій призвело до зменшення габаритів і маси зварювальних апаратів, поліпшення якісного показника зварювальної дуги, підвищення ККД, мінімального розбризкування при зварюванні, дозволило реалізувати плавні регулювання зварювальних параметрів.

Зварювальні інвертори – це найсучасніші зварювальні апарати, які в даний час майже повністю витісняють на другий план класичні зварювальні трансформатори, випрямлячі та генератори.

Інверторні джерела зварювального струму можуть будуватися за різними схемами, але на практиці переважають три:

1. Однотактний прямохідний імпульсний перетворювач із ШІМ-регулюванням та рекуперацій енергії. Такі інвертори найбільш прості, легкі і компактні, але силові транзистори перемикаються з розривом струму при ненульовій напрузі, що призводить до значних комутаційних втрат і великого рівня електромагнітних перешкод. Схема може бути реалізована тільки на особливо швидкодіючих потужних MOSFET або IGBT транзисторах. Схема застосовується у переносних зварювальних апаратах, розрахованих на невелику потужність (до 4 кВт).

2. Напівмостовий або мостовий двотактний перетворювач із ШІМ-регулюванням. Схема має більшу складність і вимагає більшої кількості компонентів, але потужність, що розвивається перетворювачем, вище, ніж в однотактних схемах (до 10 кВт). Також потрібні швидкодіючі MOSFET або IGBT з високою допустимою імпульсною потужністю розсіювання, хоча й меншою, ніж однотактною схемою. Вимоги до діодів нижчі, ніж у однотактної схеми. Гнучкість, швидкість та точність ШІМ-регулювання дозволяє керувати струмом дуги за складними законами, що підвищує якість зварювання. Схема популярна у американських та корейських виробників.

3. Напівмостовий або мостовий резонансний перетворювач із частотним або фазовим керуванням. Особливих вимог до швидкості перемикання та потужності транзисторів немає, оскільки комутаційні процеси відбуваються пасивно. Це дозволяє будувати такі інвертори з використанням недорогих транзисторів і діодів. Придатні навіть біполярні транзистори. Потужність резонансних інверторів може досягати десятків кіловат. Однак резонансний ланцюг повинен мати значну енергоємність і, відповідно, великі розміри. Тому такі апарати виходять досить габаритними і важкими. Через невибагливість резонансних перетворювачів до характеристик транзисторів ціна таких виробів може бути порівняно низькою. З цієї причини більшість зварювальних інверторів виробництва Китаю робляться саме з використанням резонансної схемотехніки. Резонансний перетворювач має порівняно вузький діапазон і невисоку швидкість регулювання, тому реалізувати на ньому можна тільки порівняно прості закони управління струмом дуги.

Були розглянуті досить загальні алгоритми управління джерелом живлення дуги при перенесенні електродного металу, що істотно впливають на технологічні особливості процесів зварювання та наплавлення і яке вже находять застосування як в обладнанні, так і в розробці нових способів виконання електродугових процесів.

Взагалі алгоритмів управління переносом електродного металу в зварювальну ванну з використанням джерел живлення дуги з регульованими, у тому числі і з використанням систем зворотних зв'язків за параметрами дугового процесу, характеристиками генерованих імпульсів, може бути значне число. Зазначені алгоритми обумовлюються конкретними технологічними завданнями, що використовуються електродними дроти, захисними газами, умовами виконання робіт та технічними можливостями механізованого дугового обладнання.

Сучасні конструкції джерел зварювально струму є основою для розробки нових високоефективних технологій, так як адаптивні технології та багато інших.

Слід вказати, що закордонні фірми, які виготовляють сучасне зварювальне обладнання, здебільшого використовують інверторні джерела живлення електродугового процесу, як ті, що мають можливість керувати цим процесом Для прикладу це позначено в роботі [6].

Література до розділу 2

1. Шейко П. П. Источник питания для импульсно дуговой сварки с плавным регулированием параметров / П. П. Шейко, В. М. Павшук // Новые сварочные источники питания : сб. научных трудов. – Киев, 1977. – С. 40-48.

2. Шейко П. П. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией режимов / П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, Ю. И. Шимоновский // Автомат. сварка. – 2004. – № 1. – С. 8-11.

3. Allen W. H. Synergic MIG finds application across Industry № 3 / W. H. Allen // Weld. Rev. – 1985. – № 4. – P. 294.

4. Amin M. Synergic control in MIG welding / M. Amin, A. Nasser // Metal Construction. – 1987. – Т. 19. – № 9. – Pp. 23-27.

5. Lucas Head W. Synergic pulsed MIG welding – process equipment and application / Lucas Head W. // FWP J. – 1985. – Т. 25. – № 6. – Pp. 7-23.

6. Новые высокопроизводительные технологии сварки фирмы «Фрониус» // Автомат. сварка. – 2004. – № 7. – С. 39-46.

РОЗДІЛ 3
Модуляція зварювального струму та способи її отримання в механізованому та автоматичному зварювальному обладнанні

Загальні відомості про модульовані процеси зварювання та наплавлення. Електродугове наплавлення є одним із найбільш ефективних та відносно простих адитивних способів отримання модифікованих робочих поверхонь вузлів та деталей при їх різному застосуванні. Сучасні технології електродугового наплавлення спрямовані на підвищення експлуатаційних (функціональних) властивостей об'єктів наплавлення, до яких можна віднести міцність, зносостійкість, стійкість проти корозії та цілий багато інших показників. При цьому якщо зварювання здебільшого використовується при створенні нових об'єктів, то наплавлення більшою мірою застосовується для відновлення вузлів, що вже перебували в експлуатації, і тим самим продовжує термін їх експлуатації, що значною мірою відбивається на економічних показниках роботи вузла та обладнання загалом.

Одним із напрямів удосконалення електродугового наплавлення є процес модуляції режимів – застосування змін силових характеристик дуги з певною періодичністю.

Є певні техніко-технологічні рішення реалізації модульованих режимів для механізованого та автоматичного обладнання. Це і періодична зміна напруги джерела зварювального струму й періодична зміна швидкості подачі електродного дроту.

Модульовані режими роботи – уже відома технологія та спосіб впливу на шов і наплавлений валик. Простота реалізації цього процесу, а також його можливості щодо управління характеристиками результатів зварювання та наплавлення роблять цей метод впливу на дуговий процес досить ефективним і за витратами. Модуляцію режимів можна здійснити звичайними джерелами зварювального струму та системами подачі електродного дроту.

Вимоги до джерела зварювального струму та електроприводу, крім можливості реалізації звичайного технологічного процесу механізованого зварювання, повинні мати можливість дистанційного регулювання вихідних параметрів. Для виконання циклу модуляції в ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблено спеціальний пристрій – модулятор ОІ-10 [1], який дозволяє з регульованою частотою перемикати рівні зварювальної напруги і швидкості подачі електродного дроту з встановленими значеннями. Перемикання відбувається одночасно, незважаючи на різні інерційні характеристики джерела зварювального струму й механізму подачі дроту. Таке рішення зумовлене використанням частот модуляції із досить низькими значеннями.

Наведені далі результати впливу модульованих режимів роботи систем обладнання для зварювання та наплавлення базується переважено на системних на дослідженнях, проведених в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України й викладених у роботах [2], [3], [4], [5].

Для оцінки комплексу результатів, отриманих при застосуванні модуляції режимів дугового процесу, виповнялась велика кількість наплавлень на плоских зразках сталі Ст 45 (Сталь конструкційна вуглецева якісна від якої вимагається підвищена міцність, наприклад, вал - шестерні, колінчасті та розподільні вали, шестерні, бандажі, циліндри та ін.) з використання наплавного автомата А574Н укомплектованого джерелом зварювального струму ВДУ-504. У всіх експериментах використовувався порошковий самозахисний електродний дріт ПП-АН140. Для порівняння використовувалися й інші марки сталей. *Частково цикл експериментальних досліджень проводився на зразках із матеріалів штампового інструменту.*

Одне з основних впливів, що надаються на структуру наплавленого металу модульованого струму є істотна зміна термічного циклу процесу, схематично показане на рис. 3.1. При цьому температура металу ванни коливається між температурами плавлення $T_{пл}$ та температурою кристалізації $T_{кр}$. Величини $T_{пл}$, $T_{кр}$ визначаються параметрами модуляції режиму.

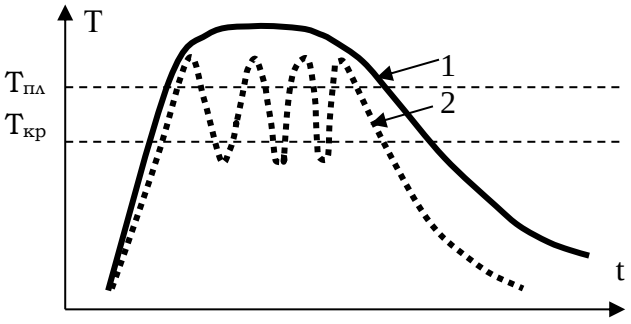


Рис. 3.1. Ідеалізована схема термічного циклу наплавлення:
1 – стаціонарна дуга;
2 – модульований режим

Виявлення основних можливостей застосування зварювання та наплавлення з модуляцією режимів порівняно з наплавленням стаціонарною дугою з використанням постійно встановлених режимів проводилися комплексно з визначенням наступних характеристик:

1) виявлення основних легуючих елементів у наплавлених шарах при різних варіантах модульованого впливу;

2) визначення основних геометричних розмірів наплавлених валиків за різних режимів модуляції;

3) вплив на структуроутворення металу при зварюванні та наплавленні обладнанням з модуляцію режимів;

4) експлуатаційні характеристики металу шва та наплавленого шару при застосуванні процесів з модуляцією режимів;

5) багатошарове наплавлення з застосуванням модуляції режимів;

6) наплавлення під флюсом з модуляцією режимів;

7) застосування модуляції режимів при зварюванні.

При одношаровому наплавленні використання зниження режимів зменшує частку основного металу до 0,3-0,45. При поперечному коливанні електрода ця частка може бути зменшена до 0,25. При застосуванні модульованих режимів наплавлення цей показник може бути знижений ще більше. Для подальшого зменшення присутності основного металу в наплавленні її слід вести до 2-3 шарів.

На рис. 3.2 представлений графічний алгоритм функціонування устаткування наплавлення з модуляцією режимів дугового процесу. У цьому алгоритмі враховані часи розгону та гальмування швидкості подачі електродного дроту, а отже і струму дугового процесу. Сучасні електроприводи мають високі динамічні властивості та часи розгону та гальмування, а отже, наростання струму мінімальні в деяких випадках можуть не враховуватися.

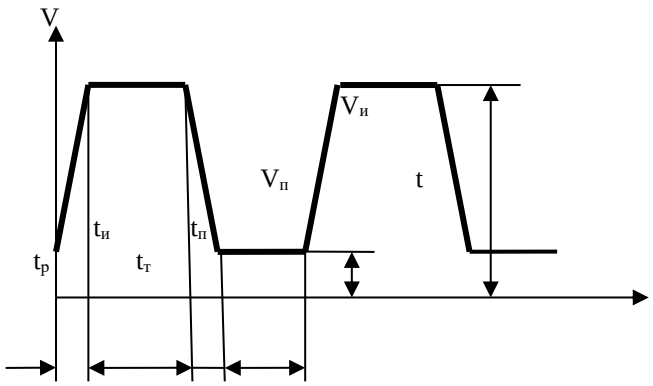


Рис. 3.2. Графічний алгоритм імпульсної швидкості подачі дроту:
Vi, Vp – швидкості руху в імпульсі та паузі відповідно; ti, tn, tp, tm – часи руху в імпульсі, паузі, при розгоні та гальмуванні відповідно

Важливо відзначити, що електродвигуни постійного струму, що використовуються в системах подачі електродного дроту звичайного зварювального обладнання напівавтоматів і автоматів, мають обмежені динамічні можливості. Отримання модульованих режимів і вибір параметрів для конкретного зварювально-наплавочного автомата слід починати з оцінки його динамічних можливостей, тобто. здатності відпрацьовувати частоти модуляції, а також такі параметри як часи дії імпульсу t_u і паузи t_n відповідно.

На рис. 3.3 для прикладу та порівняння представлені реальні осцилограми швидкості подачі електродного дроту при різних режимах управління частотою обертання валу приводного двигуна, отримані за допомогою спеціального реєструючого пристрою на основі тахогенератора в п'ятисекундному циклі. Можна помітити, що певні відмежування при організації модульованого режиму з частотами порядку 5 Гц. Частоти модуляції 1-2 Гц відпрацьовуються досить добре. Все це підтверджується результатами вимірювань струму та напруги.

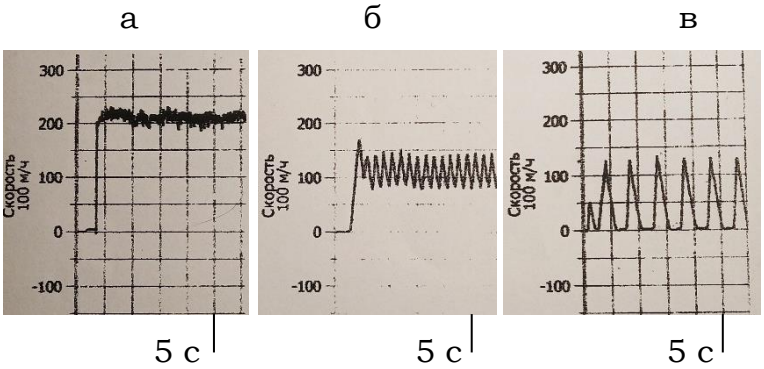


Рис. 3.3. Швидкість подачі електродного дроту:
а – стаціонарний режим;
б – модульований режим t_i - 0,с t_n - 0,1,с;
в – модульований режим t_i - 0,1 С; t_n - 0,8 С

На рис. 3.4 представлені приклади характерних осцилограм струму та напруги для деяких режимів наплавлення. З розгляду осцилограм випливає, що керованим може процес наплавлення з частотами, що не перевищують 1,0–2,0 Гц.

Слід особливо враховувати, що діапазон реалізованих частот при модуляції режимів великою мірою залежить співвідношення максимально і мінімальної швидкості подачі електродного дроту, а також максимальної швидкості його подачі.

Параметри режиму змінювалися в таких діапазонах: струм імпульсу = 100-200 А, струм паузи = 50-100 А; тривалість імпульсу та паузи 0,1...1, С (установчо). При цьому вибиралися режими, що забезпечують стійке горіння дуги і задовільне формування наплавлених валиків.

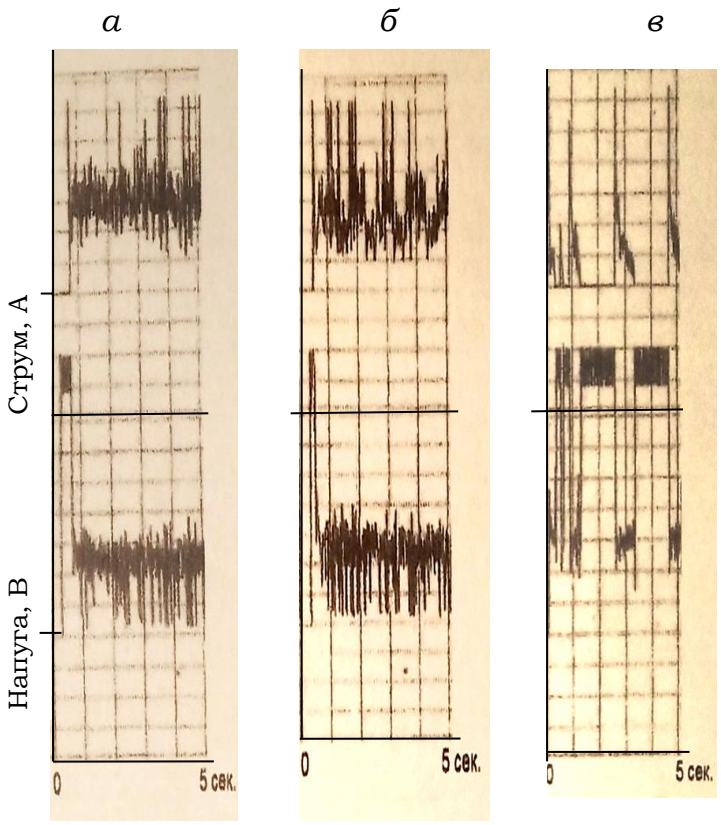


Рис. 3.4. Осцилограми процесу наплавлення з модуляцією струму рахунок зміни частоти обертання вала приводного електродвигуна:
а – стаціонарна дуга, струм дуги $I_д$ – 290; напруга дуги $U_д$ - 25 В; швидкість зварювання; $υ_{зв}$ – 10,5 м/год; виліт електродного дроту L – 0,02 м; б – модульований струм: $I_д$ - 290; $U_д$ - 25 В; $υ_{зв}$ – 10,5 м/год; L - 0,02 м; t_i - 0,8 С; t_n - 0,2 С; в – модульований струм: $I_д$ - 120; $U_д$ - 29 В; $υ_{зв}$ – 10,5 м/год; L - 0,02 м; t_i - 0,2 С; t_n – 0,8 С

Виявлення змісту основних легуючих елементів у наплавлених шарах при різних варіантах модульованого впливу. Методом прямого експерименту з виконання наплавлення визначалися в наплавленому металі вміст вуглецю, хрому, кремнію, бору в залежності від наступних параметрів наплавлення модульованим струмом: тривалості імпульсу (t_i) та паузи (t_n); жорсткість режиму $Q = t_n / t_i$; частоти модуляції $1/(t_n + t_i)$; та глибини модуляції $M = I_n/I_i$. При цьому вибиралися режими, що забезпечують стійке горіння дуги й задовільне формування валиків які наплавляються.

Результати комплексу експериментальних робіт, які виконувались згідно з розробленим планом експериментів з визначення складу елементів C, Cr, B залежно від параметрів модуляції, були складені рівняння регресії. На основі рівнянь регресії була виконана графічна побудова залежностей $(C, Cr, B) = f(П)$, де П – узагальнений параметр, від якого залежить характеристики наплавленого валика і який визначається вищевказаними окремими параметрами.

Погонну енергію процесу для наплавлення модульованим струмом можна визначити у відповідність до виразу

$$g = \frac{60[I_u U_u c + I_б U_б (1-c)]}{v_{св}}, \qquad (3.1)$$

де c - шпаруватість імпульсу модульованого процесу; $c = \frac{t_i}{t_i + t_n}$; $v_{зв}$ – швидкість ведення дугового процесу; U_i, U_n, I_i, I_n – напруга та струм в імпульсі та паузі процесу наплавлення з модуляцією дугового процесу.

Аналізуючи вираз (3.1) можна помітити, що треба значною мірою збільшити параметри струму та напруги U_u, U_n, I_u, I_n, щоб забезпечити енергетичні вкладення при наплавленні з модуляцією, щоб вони відповідали тим, які зазвичай використовуються при наплавленні стаціонарною дугою. Це означає, що витрати на ведення дугового процесу з модуляцією силових параметрів наплавлення нижча ніж при веденні звичайного процесу. Ця особливість застосування процесу наплавлення з модуляцією силових параметрів впливає на тепловий режим ванни рідкого металу, забезпечуючи зміну формування кристалітів.

Залежності $(C, Cr, B) = f(\Pi)$ представлені на рис. 3.5-3.8, де цифрами *1, 2, 3* позначені лінія при наплавленні стаціонарною дугою; лінія, одержана на підставі математичної регресійної моделі; лінія апроксимації відповідно.

Необхідно вказати, все вищезгадане належить до режимів модуляції з меншою енергетичною складовою, ніж при стаціонарному режимі й показані як можливість управління величинами при зміні параметрів модуляції.

З аналізу даних на рис. 3.5-3.8 для прикладу можна встановити що збільшення паузи в межах 0,1-1 при постійному імпульсі 0,8 призводить до зміни вмісту вуглецю, хрому, бору. Помічено, що вміст вуглецю в наплавленому металі збільшується від 0,4 до 0,43 %, при стаціонарному режимі 0,67 %. Хром збільшується в межах 6,5 … 8 %. Можна зробити й інші важливі висновки, аналізуючи отримані залежності.

Розглядаючи форми *1, 2, 3* залежностей на рис. 3.5-3.8, робимо висновок, що характеристики *2*, отримані на кожному графіку при використанні модульованих режимів наплавлення, досить близькі до прямих ліній і вони можуть бути з достатньою для аналізу та прогнозування точністю описані лінійними рівняннями, які в загальному вигляді мають вигляд:

$$C = C_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(C_2 - C_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}; \qquad (3.2)$$

$$Cr = Cr_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(Cr_2 - Cr_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}; \qquad (3.3)$$

$$B = B_1 + \frac{(\Pi - \Pi_1)(B_2 - B_1)}{\Pi_2 - \Pi_1}. \qquad (3.4)$$

Параметри $C_1, C_2, Cr_1, Cr_2, B_1, B_2$ відповідають крайнім точкам прямих ліній 3 апроксимацій на рис. 3.5–3.8.

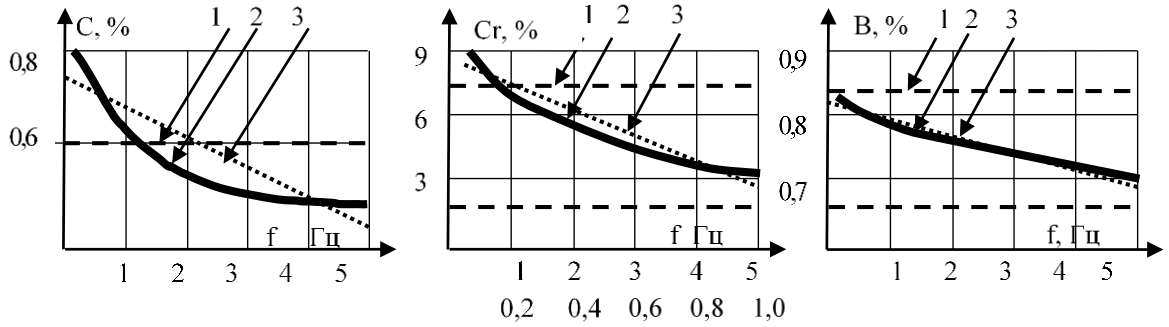


Рис. 3.5. Зміна вмісту вуглецю хрому та бору залежно від частоти f модуляції процесу наплавлення в діапазоні 1-5 Гц

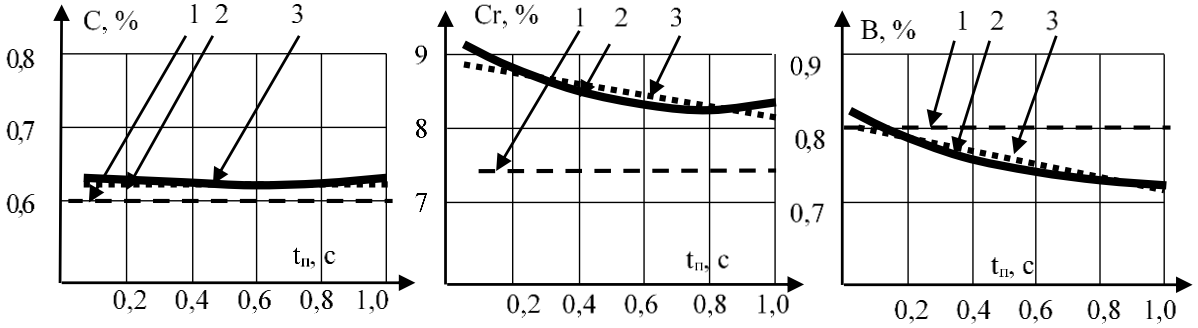


Рис. 3.6. Зміна вмісту вуглецю, хрому, бору наплавлених валиків модульованим струмом залежно від часу дії паузи при постійно діючому часі дії імпульсу величиною 0,1 с

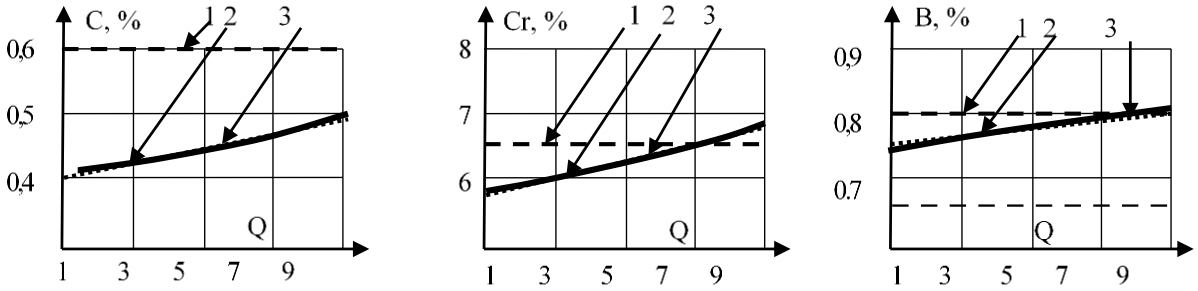


Рис. 3.7. Зміна вмісту вуглецю, хрому, бору наплавлених валиків модульованим струмом залежно від жорсткості режиму при частоті 1 Гц

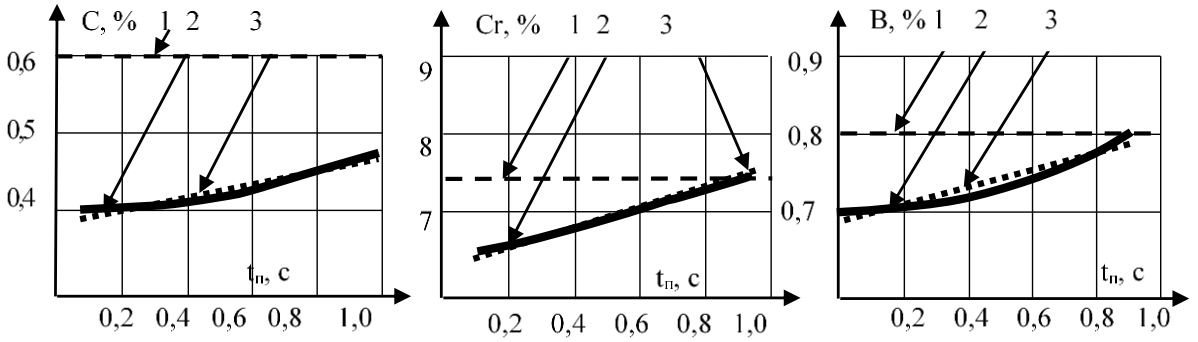


Рис. 3.8. Зміна вмісту вуглецю, хрому, бору наплавлених валиків модульованим струмом залежно від збільшення часу дії паузи при постійно чинному часі дії імпульсу величиною 0,8 с

Експериментальне визначення залежностей легуючих елементів у наплавленому металі від параметрів модуляції згідно з використаною методикою може бути поширене на інші режими модуляції, але те, що вже отримано, можна використовувати при складанні відповідних технологічних карт, оскільки легуючі елементи, у тому числі вуглець, хром та бор найбільш впливають на формування певних характеристик формують певні характеристики металу наплавленого шару. Можна зазначити, що змінюючи параметри впливу на дуговий процес, можна в деяких межах керувати вмістом легуючих елементів у металі наплавленого валика.

Визначення основних геометричних характеристик наплавлених валиків з використанням модуляції. Детально представлені залежності параметрів геометричних характеристик наплавлених валиків з використанням модульованих режимів впливу на дуговий процес на рис. 3.9–3.12. Можна відзначити досить суттєвий вплив параметрів модуляції на геометричні параметри наплавлених валиків: ширина *b*, висота *h*, глибина проплавлення *g*.

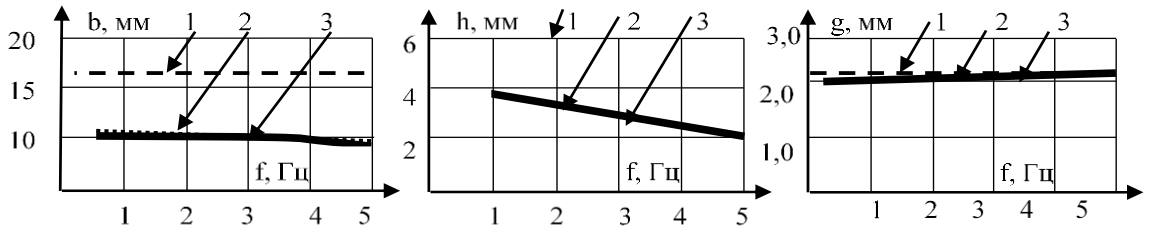


Рис. 3.9. Зміна геометричних розмірів поперечних перерізів наплавлених валиків залежно від частоти модуляції процесу наплавлення у діапазоні 1-5 Гц

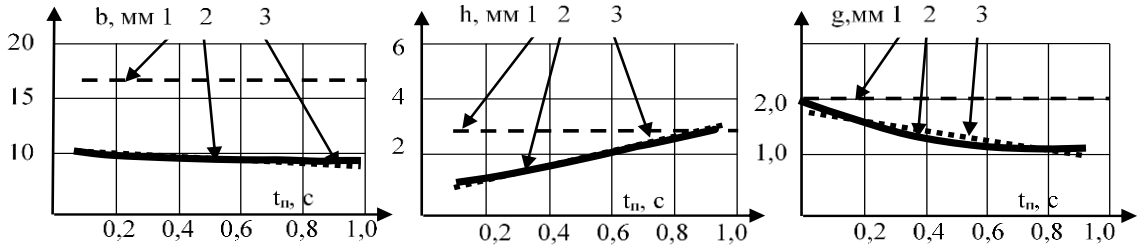


Рис. 3.10. Зміна геометричних розмірів поперечних перерізів наплавлених валиків модульованим струмом залежно від часу дії паузи від часу дії паузи при постійному часі дії імпульсу величиною 0,1 с

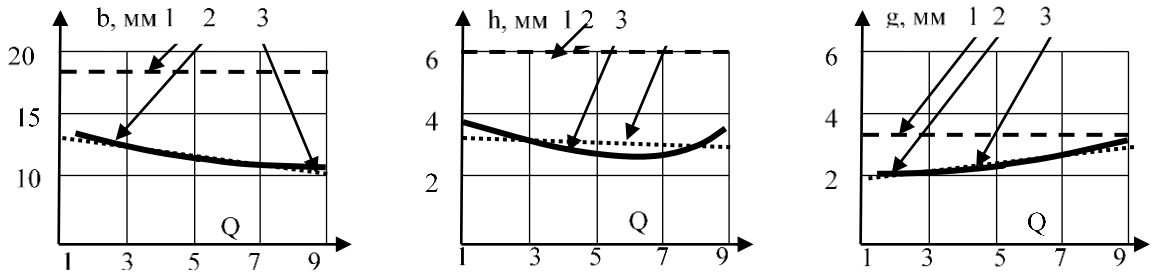


Рис. 3.11. Зміна геометричних розмірів поперечного перерізу наплавлених валиків модульованим струмом залежно від жорсткості режиму при частоті 1 Гц

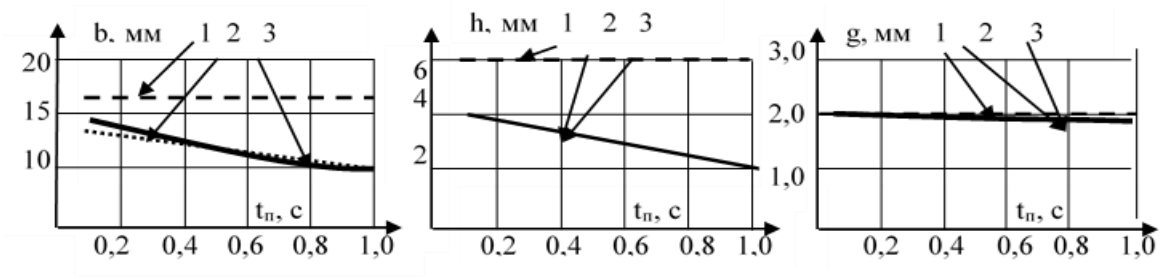


Рис. 3.12. Зміна геометричних розмірів поперечних перерізів наплавлених валиків модульованим струмом залежно від часу дії паузи при постійно чинному часі дії імпульсу величиною 0,8 с

Залежності параметрів геометричних характеристик у поперечному перерізі наплавлених валиків з використанням модульованих режимів впливу на дуговий процес детально представлені на рис. 3.9-3.12.

За аналогією з попередніми висновками та спираючись на графіки рис. 3.9–3.12, можна вивести систему рівнянь для величини $П$, визначальний вплив характерних параметрів процесу наплавлення модульованим струмом на геометричні параметри наплавленого валика, $(b, h, g) = f(П)$ у такому вигляді

$$b = b_1 + \frac{(П - П_1)(b_2 - b_1)}{П_2 - П_1}; \tag{3.5}$$

$$h = h_1 + \frac{(П - П_1)(h_2 - h_1)}{П_2 - П_1}; \tag{3.6}$$

$$g = g_1 + \frac{(П - П_1)(g_2 - g_1)}{П_2 - П_1}. \tag{3.7}$$

Звернемо увагу на досить суттєвий вплив силових режимів модуляції на геометричні параметри наплавлених валиків: шириною b, висотою h, та глибиною проплавлення g, які фіксуються на макрошліфах поперечного перерізу зразка.

Можна відзначити зміну в геометричних розмірах поперечних перерізів наплавлених валиків при зміні частоти модуляції та жорсткості режимів дугових процесів.

Помічено зменшення геометричних розмірів наплавленого металу: ширина від 15 до 10 мм при стаціонарному режимі близько 15,5 мм, висота зменшується від 4 мм до 2 мм (при постійному режимі 6 мм). Проплавлення майже не змінюється. Зміна жорсткості режиму в режимі роботи модуляції призводить до зменшення ширини металу наплавленого від 15 до 10 мм (при стаціонарному режимі 20 мм), висота зменшується з 4 до 3 мм, потім збільшується до 4 мм. При стаціонарному режимі висота дорівнює 6 мм. Проплавлення збільшується від 2 мм до 4 мм. При стаціонарному режимі – 4 мм.

Зміна жорсткості режиму в режимі роботи модуляції призводить до зменшення ширини наплавленого металу від 15 до 10 мм при стаціонарному режимі 20 мм, висота зменшується з 4 до 3 мм, потім у точці 7 збільшується до 4 мм. При стаціонарному режимі висота дорівнює 6 мм. Проплавлення зростає від 2 мм до 4 мм. При стаціонарному режимі – 4 мм.

Ширина менша, ніж при стаціонарному режимі і становить 12 мм. Висота зменшується від 4 до 2 мм. При стаціонарному режимі висота дорівнює 6 мм. Проплавлення майже не змінюється і становить у двох режимах 2 мм.

Вплив електродугового наплавлення з модуляцією режимів на структуроутворення та механічні характеристики металу валика. Для цього етапу досліджень наплавлення виконували в основному з застосуванням матеріалу штампового інструменту з подальшим визначенням прикладної технології відновлення або зміцнення цього інструменту. Використовувалась така сама методика отримання аналітичних та візуальних результатів обробки результатів яка зазначена вище.

Насамперед на основі даних експериментів була розроблена математична модель процесу наплавлення з використанням матриці і визначенням залежностей твердості H, ударної в'язкості й результатів випробувань на вигин від ряду значущих параметрів модуляції процесу наплавлення частоти імпульсів, жорсткості режиму модуляції $Q = t_n / t_i$, де t_n, t_i – час дії паузи й імпульсу відповідно й від співвідношення часів дії імпульсу методів регресійного аналізу зі складанням матриці планування експерименту.

Слід зазначити, що твердість (мікротвердість) металу наплавлення вимірювалася на мікротвердомірі М400 фірми «LECO» з відповідним програмним забезпеченням при навантаженні 0,1 кг. Вимірювання ударної в'язкості проводилося по Шарпі, а випробування на вигин виконувались за методикою ГОСТ 14019-2003.

Для прикладу реалізації результатів експерименту з візуалізації залежностей механічних характеристик наплавлених валиків від параметрів модуляції представимо на рис. 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, представлені залежності $H = f(П)$, які визначені на підставі матриці, П – параметр, від якого залежить характеристики наплавленого валика. З таких характеристик визначені найважливіші: частота, жорсткість модуляції, співвідношення часів імпульс – пауза. Цифрами 1, 2, 3 на графіках позначені лінія при наплавленні стаціонарною дугою; лінія, отримана на підставі математичної регресійної моделі; лінія апроксимації відповідно.

Використовувалися режими наплавлення: струм – 220…240 А; напруга 24…26 В; швидкість ведення процесу – 10,5 м/год; виліт електродного дроту – 0,02…0,025 м.

Можна відзначити, що показані залежності можуть з деяким ступенем точності достатньої для оцінок і подальшого прогнозування описані звичайними лінійними рівняннями лініями 3 на рис. 3.13 у вигляді

$$H = H_1 + \frac{(П - П_1)(H_2 - H_1)}{П_2 - П_1}. \qquad (3.8)$$

У рівнянні (1) Параметри $H_1, H_2, П_1, П_2$ відповідають крайнім точкам прямих ліній апроксимацій 3 на рис. 3.13, 3.14, 3.15, 3.16.

Аналіз отриманих результатів дозволяє заключити, що модуляція струму дугового процесу великою мірою здійснює вплив на одну з найважливіших характеристик наплавленого металу = твердість. Аналогічні висновки характерні для комплексу досліджень характеристик ударної в'язкості та випробувань на вигін.

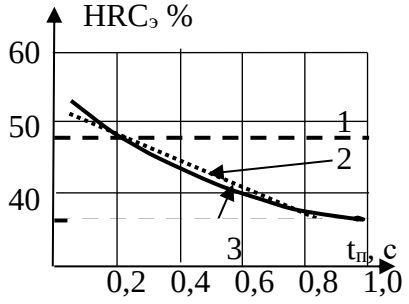


Рис. 3.13. Залежності твердості наплавленого металу від часу дії паузи при постійному часі дії імпульсу t_i -0,1 с:
1 - стаціонарна дуга; 2 -модульований струм; 3 – лінія апроксимації

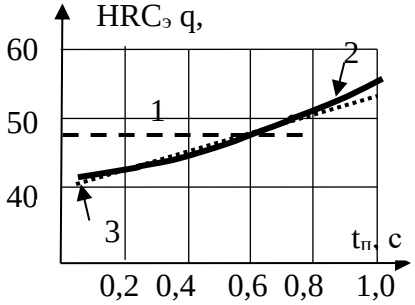


Рис. 3.14. Залежності твердості наплавленого металу від часу дії паузи при постійному часі дії імпульсу t_i -0,8 с:
1 - стаціонарна дуга; 2 - модульований струм; 3 – лінія апроксимації

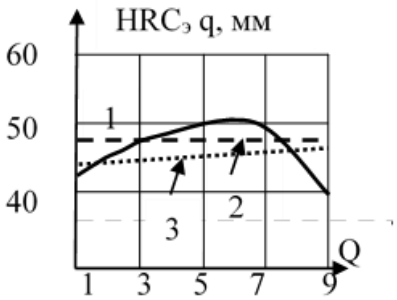


Рис. 3.15 Залежності твердості наплавленого металу від шпаруватості процесу Q зі стаціонарною дугою (1) і модульованим струмом (2); 3 – лінія апроксимації

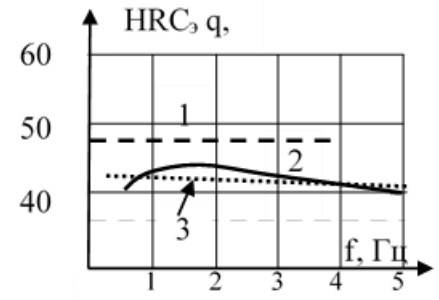
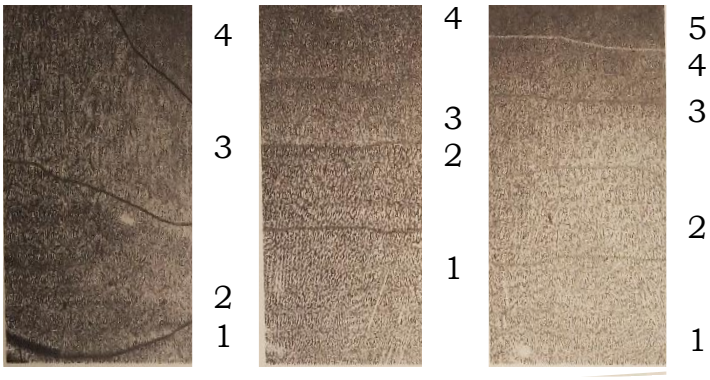


Рис. 3.16. Залежності твердості наплавленого металу від частоти процесу зі стаціонарною дугою (1) і модульованим струмом (2), 3 – лінія апроксимації

Основним фактором, зазначеним у технічній літературі, який впливає на міцнісні характеристики і твердість зокрема, є процеси кристалізації наплавленого валика. Ці процеси схильні до впливу періодичних змін режимів дугових процесів, що належать до різного виду імпульсних режимів основних систем зварювального обладнання. Це доказово розглянуто нашій роботі [6]. Наплавлення з модуляцією режимів також відноситься до процесів значною мірою, що впливають на структуризацію наплавленого металу та металу навколошовної зони. Очевидно, зміна характеристик твердості, розглянута вище на підставі розроблених математичних моделей, є наслідком зміни структури наплавленого валика і кристалів зокрема.

Відмінною особливістю первинної структури наплавленого металу модульованим струмом є періодичність формування кристалізаційних шарів. Характерне формування цих шарів представлено у порівняльному вигляді на рис. 3.17. Зазначена періодичність проявляється в чергуванні «тонких» та «товстих» шарів по висоті наплавленого металу. При цьому товщина «товстих» шарів зменшується до верху. Порівняльне зіставлення товщини аналогічних шарів показує, що при модульованому струмі в 2…3 рази тонше, ніж при наплавленні із застосуванням стаціонарного режиму.



а *б* *в*

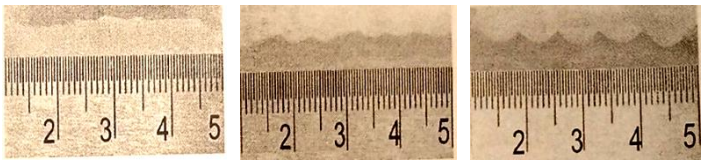
Рис. 3.17. Первинна структура наплавлених валиків (х32):
а – стаціонарна дуга; б - модульований струм частота 1,1 Гц; в – модульований струм частота 2,5 Гц; 1 – корінь шва; 2 та 3 – середина шва

Іншими важливими відмінними особливостями металу при модульованому струмі відсутність транскристалізаційних структур.

Загальним для первинних структур є наявність стовпчастих кристалітів орієнтованих у напрямку фронту кристалізації металу й шаруватість у вигляді темних і світлих смуг, що чергуються.

Розрізняються ці структури характером чергування та зміни товщини кристалізаційних шарів за висотою шва. Товщина кожного наступного по висоті шару кристалізаційного шару змінюється при віддаленні від кореня шва. Первинна структура наплавленого стаціонарною дугою характеризується наявністю грубих форм затвердіння.

Про вплив модульованого струму процесу наплавлення на умови кристалізації металу зварювальної ванни свідчить хвилеподібна форма на межі сплавлення шва з основним металом, виявлена на поздовжніх мікрошліфах шляхом зняття з них сірчаних відбитків за Бауменом (рис. 3.18). У результаті дослідження шліфів було встановлено, що кристалізація шарів розплаву при стаціонарному наплавленні відповідає відомому механізму природної періодичності процесу полягає в тому, що зростання кристалітів періодично припиняється і відновлюється під дією теплових процесів у металі зварювальної ванни, причому на початку процесу кристалізації така періодична зміна швидкості зростання відбувається з більшою частотою, ніж на завершальній стадії кристалізації.



а *б* *в*

Рис. 3.18. Кордон сплавлення наплавленого валика з основним металом:
а – наплавлення стаціонарною дугою; наплавлення модульованим струмом частотою: б – 5 Гц; в – 0,5 Гц

При наплавленні модульованим струмом на характер кристалізації як періодичного процесу накладає відбиток імпульсний підведення тепла з боку зварювальної дуги. Під час «паузи» в результаті відносного охолодження розплаву середня швидкість кристалізації збільшується і градієнт температури на міжфазному кордоні різко зменшується.

Під час «імпульсу» відбувається деяке підплавлення металу, що закристалізувався, і збільшення градієнта температур на міжфазному кордоні. Таким чином, здійснюється примусова кристалізація. Слід зауважити, що термін «примусова кристалізація», наскільки нам відомо з технічної літератури використаний у цьому процесі вперше й може бути додатково обговорений.

Для визначення структури наплавленого металу було виконано цикл порівняльних наплавлень із наступними металографічними дослідженнями мікроструктур поперечних перерізів отриманих валиків на поперечних шліфах, вирізаних із середньої частини наплавленого металу.

Формування валиків досліджували плоских зразках зі сталі Ст45. Режими наплавлення наведені в табл. 3.1. У цій таблиці наведені результати розрахунків величини погонної енергії для кожного порівнювального процесу. При цьому для порівняння додатково також використовувався спеціально розроблений регістратор споживання енергії.

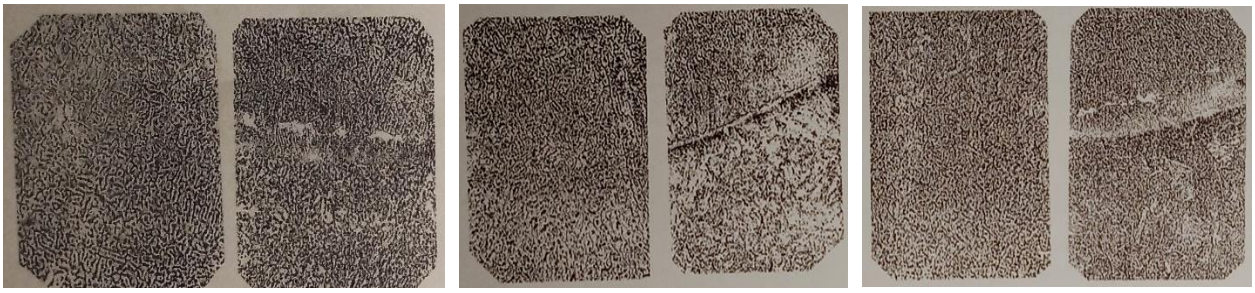
Таблиця 3.1 – Способи та режими процесу наплавлення при визначенні характеристик кристалізації

Характеристика способу наплавлення	*Режим паузи*				*Режим імпульсу*			*Погонна енергія кДж/см*
	$I_п$, А	$U_п$, В	$t_п$, с	$v_{св}$ м/С	$I_н$, А	$U_н$, В	$t_н$, С	
	а	б	в		а	б	в	
Наплавлення стаціонарною дугою	290	25	-	18	-	-	-	46,4
Наплавлення модульованим струмом 1	260	26	0,8	18	120	29	0,1	25,96
Наплавлення модульованим струмом 2	260	26	0,1	18	120	29	0,8	13,36

Силові характеристики вибиралися за величиною такими, щоб процес наплавлення протікав досить стабільно, а формування валиків мало задовільний характер.

На рис. 3.19 представлені мікрошліфи наплавлених валиків, виконаних на поперечних зразках для стаціонарних та модульованих режимів. З метою виявлення у швах мікрохімічної та структурної неоднорідності використовували методику травлення зразків у розчинах різної концентрації пікринової кислоти.

Дослідження зразків здійснювалося на оптичних мікроскопах Neophot 21 та Polyvar зі збільшенням X50 - X500. Фотографії мікрошліфів виконували за допомогою цифрової камери Olympus.



1 2 3 4 5 6

Рис. 3.19. Мікроструктура наплавленого металу (х240):
а – наплавлення стаціонарною дугою: 1-наплавлений метал; 2 – лінія сплавлення; б, в – наплавлення модульованим струмом: 3,5 – наплавлений метал; 4,6 – лінія сплавлення (×240)

Видно суттєві зміни в структурі металу наплавленого стаціонарною дугою і модульованим струмом. Структури із застосуванням модуляції являють собою мартенсит з помірним вмістом залишкового залишкового аустеніту та з великою кількістю карбідної та карбоборидної фази. Результати аналізу механічних властивостей наплавленого шару у значеннях твердості з розрахунковими величинами тепла відповідно до рівняння (3.8) представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості металу наплавленого валика

Режим подачі електродного дроту	*Введена теплота процесу, Дж/С*	*Мікротвердість, Н*	*Твердість HRCe*	*Ширина зони сплавлення, мкм*
Стаціонарний	4460	590	57-59	26-52
Модульований із частотою 0,5 Гц	2225	677	60-63	26-62
Модульований із частотою 1,1 Гц	2597	502-509	46-49	12-30

Очевидно, що розглянута технологія наплавлення із застосуванням модуляції силових характеристик дугового процесу задає час формування ванни рідкого металу, а також умови і час її кристалізації. У цьому з урахуванням умов керованого температурного режиму формуються певні (оптимальні) структурно-фазові перетворення, які в досить широкому діапазоні не впливають на процеси кристалізації як у рідкій, так і у твердій фазах.

Зазначені відмінності в характері процесу кристалізації позначилися на формуванні елементів первинної структури.

Дуже важливим показником структури наплавленого металу є рівень частки основного металу в порівнянні з часткою електродного матеріалу, що має певні властивості, які необхідні для забезпечення експлуатаційних властивостей валика, що наплавляється або шару загалом.

При одношаровому наплавленні використання можна вибрати режими дугового процесу, які дозволяють зменшують частку основного металу до 0,3…0,45. При використанні модульованих режимів роботи механізованого або автоматичного обладнання, як показують наші дослідження хімічного складу наплавленого металу, ця частка може бути зменшена до 0,25 і навіть менше.

Слід зазначити, що збільшення погонної енергії наплавлення, незалежно від варіанта використання технології, у півтора рази збільшує розміри кристалітів.

При експериментах з наплавлення модульованим струмом тривалість кристалізації одного шару металу, обумовлена імпульсним підведенням тепла у зварювальну ванну (примусова кристалізації) виявилася втричі меншою від періоду природної кристалізації при зварюванні (наплавленні) на стаціонарному режимі. Це означає, що за той час, протягом якого кристалізується один шар у режимі наплавлення на постійному струмі, при наплавленні модульованим струмом встигає закристалізуватися три і більше залежно від режиму модуляції - за рахунок нагрівання металу до температури вище температури плавлення $T_{пл}$ протягом кожного імпульсу струму й охолодження нижче температури кристалізації $T_{кр}$ з подальшим затвердінням шару протягом кожного циклу. Це є підставою вважати, що розміри кристалів будуть значно меншими, ніж за звичайних умов наплавлення.

При одношаровому наплавленні використання можна вибрати режими дугового процесу, які дозволяють зменшують частку основного металу до 0,3…0,45. При використанні модульованих режимів роботи механізованого або автоматичного обладнання, як показують наші дослідження хімічного складу наплавленого металу, ця частка може бути зменшена до 0,25 і навіть менше.

Слід зазначити, що збільшення погонної енергії наплавлення, незалежно від варіанта використання технології, у півтора два рази збільшує розміри кристалітів.

При експериментах з наплавлення модульованим струмом тривалість кристалізації одного шару металу, зумовлена імпульсним підведенням тепла у зварювальну ванну (примусова кристалізації) виявилася втричі меншою від періоду природної кристалізації при зварюванні (наплавленні) на стаціонарному режимі. Це означає, що за той час, протягом якого кристалізується один шар у режимі наплавлення на постійному струмі, при наплавленні модульованим струмом встигає закристалізуватися три і більше залежно від режиму модуляції - за рахунок нагрівання металу до температури вище за температуру плавлення протягом кожного імпульсу струму й охолодження нижче температури кристалізації з подальшим затвердінням шару протягом кожного циклу. Це є підставою вважати, що розміри кристалів будуть значно меншими, ніж за звичайних умов наплавлення.

Проведений цикл досліджень щодо визначення ширини кристалізаційних шарів і ширини кристалітів у різних місцях наплавлених валиків при різних способах наплавлення представлені на рис. 3.20 та 3.21 відповідно. На малюнках літерами *а, б*, позначені графіки ширини кристалітів (рис. 3.20) і ширини кристалізаційних шарів (рис. 3.21) у положеннях від кореня наплавлення до вершини валика з урахуванням середини: а - стаціонарна дуга; б – модульований процес частота 1,1 Гц; в - модульований процес частота 2,5 Гц. Однаковою для всіх режимів і способів наплавлення є швидкість ведення процесу.

Можна вказати, що виміряні та вказані на рис. 3.20 та 3.21 величини ширини шарів і розміри кристалів свідчать про управління цими параметрами при використанні модульованих режимів наплавлення, а зниження цих параметрів про підвищення механічних (експлуатаційних) характеристик результатів наплавлення.

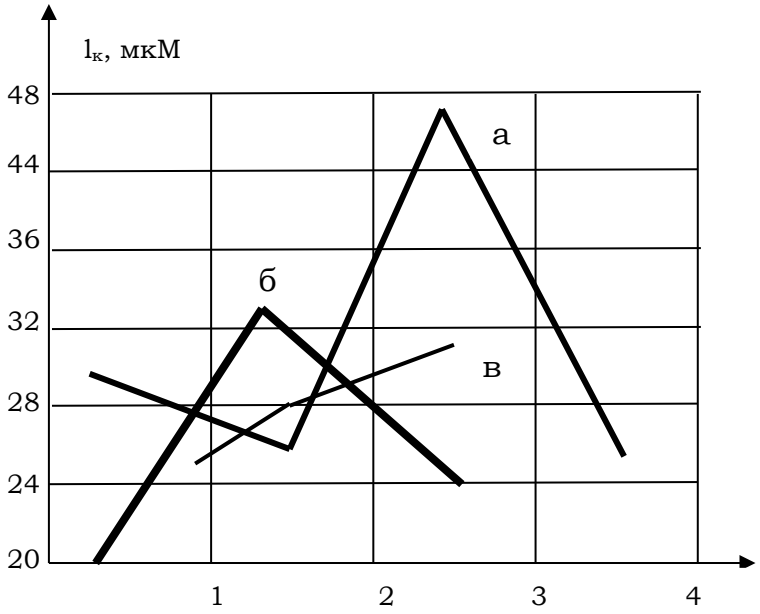


Рис. 3.20. Ширина кристалітів:
1-корінь шва; 2-середина шва; 3-верх шва

Можна додатково відзначити, аналізуючи мікроструктури поперечних перерізів наплавлених валиків, що структура наплавленого металу з модуляцією струму більш щільна зі значним зниження включень і з більшою дезорієнтацією кристалітів, ніж при наплавленні стаціонарною дугою.

Модуляція зварювального струму може бути з успіхом застосована і при зварюванні, коли модульований забезпечується за рахунок механічного коливання зварювального інструменту поперек виробу, що зварюється або наплавляється. Слід зупинитися ще одному перспективному напрямі, що забезпечує зварювання – наплавлення зі зміною параметрів горіння дуги рахунок механічних впливів. Це передусім модуляція дугових процесів із примусовими гармонійними коливаннями ванни розплавленого металу за рахунок цілеспрямованих рухів виробу, що наплавляється. Така технологія більш детально буде викладена в наступному матеріалі.

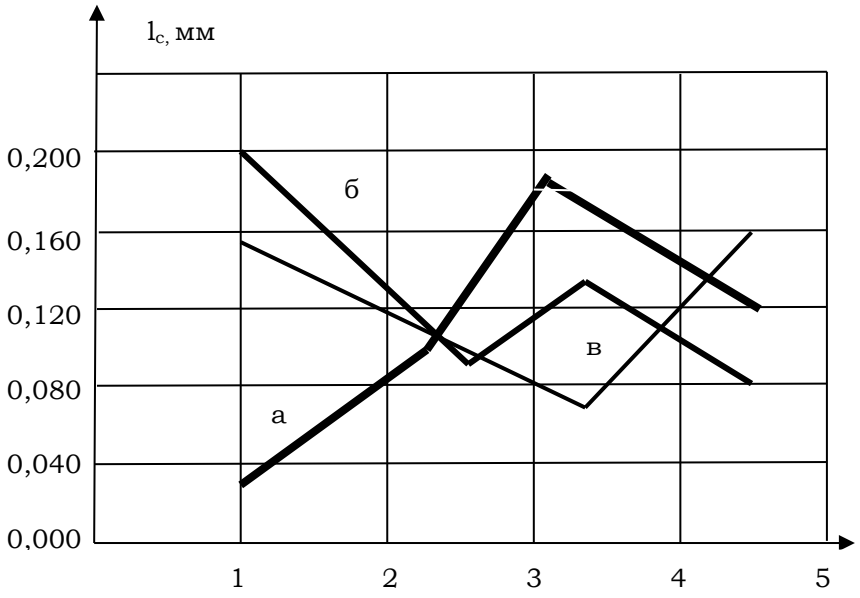


Рис. 3.21. Ширина кристалізаційних шарів:
1 – корінь шва; 2, 3 – середина шва; 4 – верх шва

Механічні впливи, крім отримання модулюючих режимів горіння дуги, значно розширюють ширину наплавленого валика.

Застосування модуляції зварювального струму уможливлює розширення застосування розглянутих способів зварювання та наплавлення, і це розширення відбувається завдяки багатьом її властивостям при цілеспрямованому використанні й виборі режимів модуляції процесу:

1) імпульсний характер горіння дуги при зварюванні (наплавленні) порошковим дротом впливає формування мікроструктури наплавленого металу;

2) при наплавленні модульованим струмом на досліджених режимах кристалізація металу зварювальної ванни відбувається більш дрібними порціями і з вищою швидкістю кожного окремого шару. Періодичність процесу кристалізації визначається параметрами імпульсів та умовами відведення тепла з ванни до основного металу. У разі наплавлення модульованим струмом відстань між окремими шарами кристалізації в 3 рази менша, а самі шари тонші;

3) первинна структура металу швів, отриманих при наплавленні модульованим струмом, відрізняється високою дисперсністю. Значення таких параметрів структури як відстань між осями дендритів, площа перерізу зерен аустеніту в цьому варіанті технології на 35…40 % менше, ніж при зварюванні (на плавці) стаціонарною дугою;

4) особливості термічного циклу при наплавленні модульованим струмом порівняно з наплавленням стаціонарною дугою зумовлюють пригнічення процесу утворення великих кристалів.

Можна вважати, що зазначені особливості формування структури є причиною зміни службових властивостей металу.

Особливості автоматичного електродугового наплавлення під флюсом з періодичними змінами режимів. Ефективні процеси зварювання і наплавлення під флюсом мають певні недоліки, які полягають у збільшенні неметалевих включень, зниженні якості наплавленого шару в зоні сплавлення з основним наплавленням, складності виконання процесу в умовах перепаду рівнів поверхонь, що наплавляються. Результати електродугового наплавлення під флюсом можуть бути покращені, зокрема, за допомогою впровадження низькочастотних модульованих процесів з максимальними частотами порядку кількох герців.

Був проведений цикл досліджень з визначення впливу модульованого струму на основні характеристики наплавленого шару під флюсом.

Оцінювання якості швів робили:

а) зовнішнім оглядом з виявленого підтікання, нерівномірностей покриття тощо;

б) дослідження макрошліфів із визначенням глибини провару, ширини, висоти посилення, а також наявності пір, тріщин;

в) аналіз мікроструктур металу та зони термічного впливу;

г) порівняння хімічного складу

д) проведення випробувань, пов’язаних із механічними властивостями металу валика та шва.

Дослідження зварювання під флюсом з використанням модульованих режимів проводилися з використанням таких матеріалів:

1) матеріали для зварювання або наплавлення = зразки зі сталей 09Г2 (маловуглецева конструкційна сталь) і ВСт3пс (сталь конструкційна вуглецева) завтовшки до 40 мм;

2) електродний дріт СВ-08 (для автоматичного зварювання під флюсом) діаметром до 4,0 мм;

3) зварювальний флюс АН-348А (призначений для механізованого зварювання та наплавлення конструкцій з вуглеводистих нелегованих та низьколегованих сталей.

Як і раніше, був розроблений план експериментів із відповідною матрицею для визначення хімічного складу металу шва та валика, виконано регресійне моделювання та побудовані графіки залежностей складу найважливіших компонентів вуглецю C, кремнію Si, марганцю Mn від частоти модуляції та деяких часових параметрів процесу.

З огляду на вищевикладене та відповідно до методики, запишемо для елементів хімічного складу металу

$$\frac{f - f_1}{f_2 - f_1} = \frac{(C,\ Si, Mn) - (C_1, Si_1, Mn)}{(C_2, Si_2, Mn) - (C_1, Si_1, Mn)}, \qquad (3.9)$$

де f, f_1, f_2 – значення частоти процесу поточне, кінцеві за відрізками прямих відповідно до координати частот; $C, C_1, C_2, Si, Si_1, Si_2, Mn, Mn_1, Mn_2$ – значення хімічного складу процесу поточне та кінцеві за відрізками прямих відповідно до координати хімічних складових.

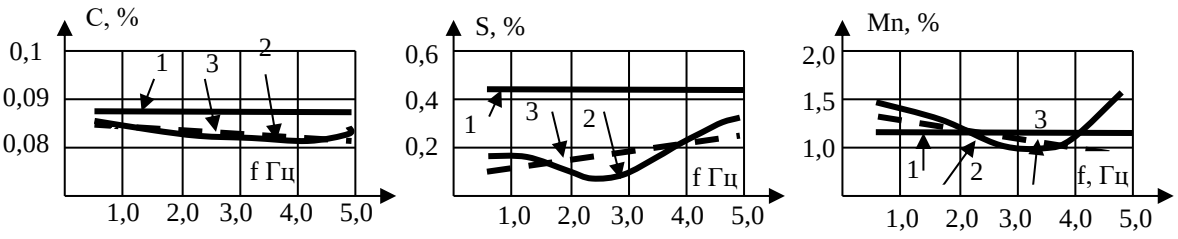


Рис. 3.22. Залежність вмісту вуглецю, кремнію, і марганцю від частоти модуляції при $t_i = t_п$:
1, 2, 3 –графіки при зварюванні стаціонарною дугою модуляція та апроксимація відповідно

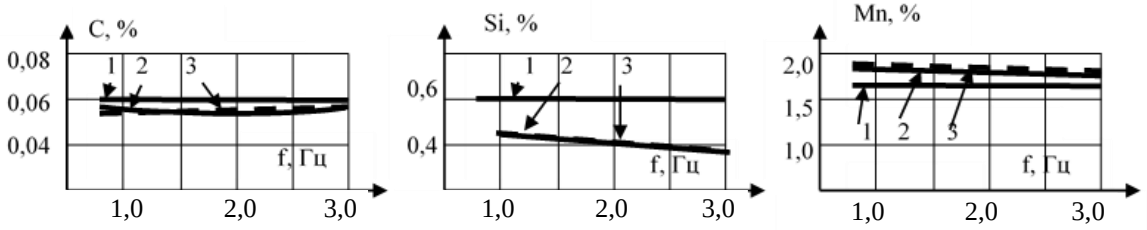


Рис. 3.23. Залежності вмісту вуглецю, кремнію і марганцю від частоти модуляції при $t < t_п$:
1, 2, 3 –графіки при зварюванні стаціонарною дугою, модуляція та апроксимація відповідно

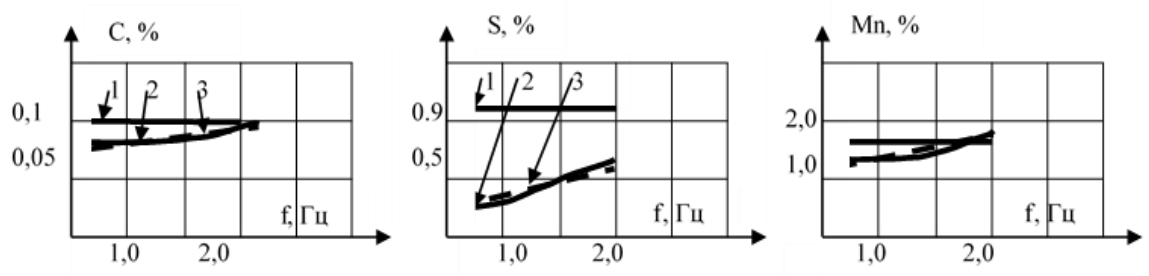


Рис. 3.24. Залежність вмісту вуглецю, кремнію і марганцю від частоти модуляції при $t_і > t_п$:
1, 2, 3 –графіки при зварюванні стаціонарною дугою, модуляція та апроксимація відповідно

При частотах модуляції 5 Гц і більше система подачі електродного дроту не здатні відпрацювати параметри, що задаються, тобто модуляція в повному обсязі практично відсутня, що і підтверджують залежність на рис. 3.22, 3.23, 3.24.

Важливо, що інші характеристики впливу модульованих режимів можна інтерпретувати з урахуванням системних вимірів із застосуванням вищеописаної досить простий методиці. Це стосується, наприклад, і геометричних розмірів наплавленого валика.

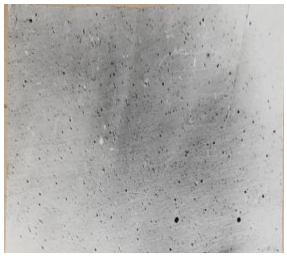
Аналізуючи залежності $C, C_1, C_2, Si, Si_1, Si_2, Mn, Mn_1, Mn_2$ від частоти модуляції f, на графіках й у аналітичному вираженні можна попередньо зробити висновок, що найбільш продуктивно на хімічний склад впливає відносне зміна величини імпульсу стосовно незмінної і щодо невеликий за величиною паузі. Відзначити необхідно також, що зміна в кількісному відношенні хімічного складу металу шва при модульованих впливах не є критичними для характеристик міцності з'єднання, але цей вплив все-таки є. Вуглець знаходиться в сталі зазвичай у вигляді хімічної сполуки Fe_3C, яка називається цементитом. Зі збільшенням вмісту вуглецю до 1,2 % твердість, міцність і пружність стали збільшуються, але пластичність та опір удару знижуються, а оброблюваність погіршується, погіршується та зварюваність.

Більше значення для якості механічних характеристик мають включення, які можуть бути у зварному шві. Експериментальні порівняльні дослідження утримання неметалевих включень проводилися виявлення твердих забруднень у металі наплавлених валиків, і навіть газові включення. Досліджувалися зразки із легованої сталі (Ст3).

Досить точним підрахунком на підставі металографічних досліджень встановлено, що в усіх зразках є дрібні темні круглі включення - силікати і складні оксиди, розташовані безперервно по всьому тілу.

Фото порівняльних макрошліфів поперечного перерізу шва представлені на рис. 3.25, 3.26, 3.27, 3.28.

Можна помітити, що наплавлені валики при процесах зі стаціонарною дугою та модульованим струмом суттєво відрізняються.

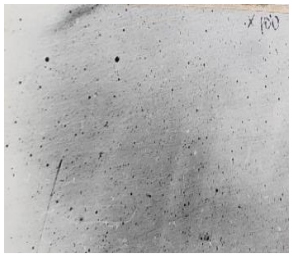


×100 Зразок 11

Рис. 3.25. Неметалічні включення у шві

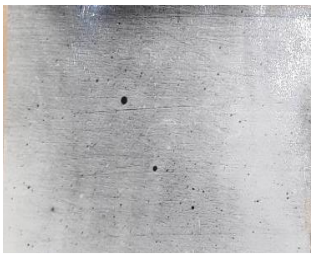
×100 Зразок 10

Рис. 3.26. Неметалічні включення у шві



×100 Зразок 16

Рис. 3.27. Неметалічні включення у шві



×100 Зразок 36

Рис. 3.28. Неметалічні включення у шві

Забруднення включено приблизно однаково (на перший погляд) у всіх зразках. Більш детальне дослідження показало, що є відмінності в наявності включень при наплавленні стаціонарної та модульованої дугою. Ці відмінності показані у табл. 3.3.

Аналіз включень газів, проведений для великої кількості зразків у усередненому вигляді представлений у табл. 3.4.

Результати аналізу включень різного походження дозволяють зробити висновок, що при використанні модульованих впливів вони помітно нижче, що є додатковим фактором забезпечення характеристик міцності (твердість, зносостійкість) наплавленого валика і зварного шва, виконаних під флюсом.

Можна частково припустити, а частково стверджувати, що зниження неметалевих, а також газових включень у металі шва при впливі модульованого струму відбувається за рахунок імпульсного (електродинамічного) впливу на розплавлену ванну, що дозволяє отримати коливання ванни і тим самим ініціювати дроблення неметалевих включень та забезпечити вихід газоподібних включень до поверхні ванни.

Таблиця 3.3 – Неметалічні включення в металі наплавленого валика

Об'ємна частка включень, %	
Стаціонарний режим	0,75
Режим із модуляцією параметрів	0,65

Усе це особливо важливо при зварюванні під флюсом, коли можливість переходу неметалевих включень зі складу флюсу особливо велика.

При використанні модуляції зварювального струму можна досягти майже 30 % зниження включень.

Цікавими є дослідження балу зерна при наплавленні під шаром флюсу, результати якого на ділянці перегріву представлені в табл. 3.5. Зразки за номерами № 1…6 наплавлені з модуляцією зварювального струму і мають бал зерна кращий, ніж початковий зразок. Це є ознакою кращих механічних властивостей наплавлених шарів із застосуванням модуляції, що підтверджується експериментальними даними при визначенні ударної в'язкості металу (табл. 3.6) шва наплавленого різними способами.

Таблиця 3.4 – Газові включення в металі наплавленого валика

Частка газових включень, %	
Стаціонарний режим	0,129
Режим із модуля цією параметрів	0,097

Таблиця 3.5 – Зерно на ділянці перегріву

Величина зерна на ділянці перегріву		
№ з/п	Номер зразка	**Величина зерна**
1	Початковий зразок	3-4
2	№ 1	5-6
3	№ 2	6-7
4	№ 3	5 біля кореня шва; 4 біля верху шва
5	№ 4	5 біля кореня шва; 4 - 3 у верху шва
6	№ 5	4 - 5 біля кореня шва; 3 у верху шва
7	№ 6	5 - 6 біля кореня шва; 3 у верху шва

Таблиця 3.6 – Ударна в'язкості металу при наплавленні

ВИЗНАЧЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ		
Спосіб зварювання	Ударна в'язкість при різних температурах виміру	
	-40^0 С	-60^0 С
Стаціонарна дуга	8,0, 42,0, 70,0 Середнє значення 40	4,0, 66,0, 11,0 Середнє значення 27
Модульований процес	66,0 91,0 70,0 Середнє значення 73,5	63,0, 74,0 98 Середнє значення 76

Електродугове механізоване і автоматичне багатошарове наплавлення з використанням модуляції силових параметрів. Часто для забезпечення необхідної величини покриття застосовують багатошарове наплавлення (зазвичай 2-3 шари).

Зазвичай зменшення частки основного металу в наплавленні застосовують режими дугового процесу зі зниженим зварювальним струмом, до величини забезпечує стійке горіння дуги. При одношаровому наплавленні використання таких режимів зменшує частку основного металу до 0,3…0,45. При поперечному коливанні електрода ця частка може бути зменшена до 0,25. При застосуванні модульованих режимів наплавлення цей показник може бути знижений. Для подальшого зменшення присутності основного металу в наплавленні її слід вести до 2…3 шарів.

Важливо помітити, що метал між наплавленими валиками, а також метал у різних зонах багатошарового покриття має особливу структуру. Ця структура має характер, у тому числі електродного матеріалу та неминучих включень неметалічних сполук. Така структура, на нашу думку, досліджена недостатньо щодо впливу способу наплавлення на характеристики наплавленого металу і вимагає розширення відомостей у цьому напрямку.

Є ще деякі інші особливості формування структури наплавленого металу, обумовлені модульованим впливом.

Зносостійке наплавлення підвищує термін служби виробів у кілька разів і дозволяє багаторазово відновлювати зношені деталі. При цьому багатошарове наплавлення забезпечує суттєве збільшення показників зносостійкості. До цього можна додати, що використання модульованих режимів наплавлення в багатошарових процесах відновлення та зміцнення вузлів і деталей дозволяють ще більше збільшити значення характеристик працездатності.

Деякі характерні результати досліджень на зносостійкість при наплавленні на різних режимах і різними способами представлена в табл. 3.7. У цій таблиці під номерами № 1 і № 6 наведено результати досліджень при наплавленні стаціонарною дугою в 1 і 3 шари відповідно, а решта результатів відповідають дослідженням модульованих процесів з різними параметрами модуляції. До кожного варіанта дослідження виконувалися відповідні виміри, деякі з яких представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати порівняльних досліджень зносостійкості при різних способах наплавлення

№ з/п	*Частота f, Гц*	*Скважність S*	*Кіл-ть слоїв n*	*Темп зносу (зразок № 1), мм³/км*	*Темп зносу (зразок № 2), мм³/км*	*Темп зносу (зразок № 3), мм³/км*	*Середній темп зносу, мм³/км*
1	-	-	1	6,8	7,5	7,6	7,3
2	1	3	1	3,8	4,0	3,6	3,8
3	2	3	1	6,5	6,9	6,4	6,6
4	1	5	1	4,4	4,1	4,1	4,2
5	2	5	1	5,9	5,4	6,1	5,8
6	-	-	3	3,5	3,7	4,5	3,9
7	1	3	3	3,1	3,3	3,2	3,2
8	2	3	3	3,9	3,2	3,1	3,4
9	1	5	3	2,8	2,5	2,8	2,7

Дослідження мікроструктури наплавленого металу проводилося на зразках наплавлених на режимах: стаціонарною дугою: струм наплавлення – 220-240 А, напруга – 24-26 В; швидкість наплавлення – 10 М/год.

Наплавлення модульованим струмом на режимах стаціонарного процесу з частотами пульсації 1,1 та 0,5 Гц. Наплавлення проводилося "гіркою" в 3 шари з перекриттям валиків за схемою 4-3-2 валиків. Ці характеристики вибиралися такими, щоб процес наплавлення протікав досить стабільно, а формування валиків мало задовільний характер.

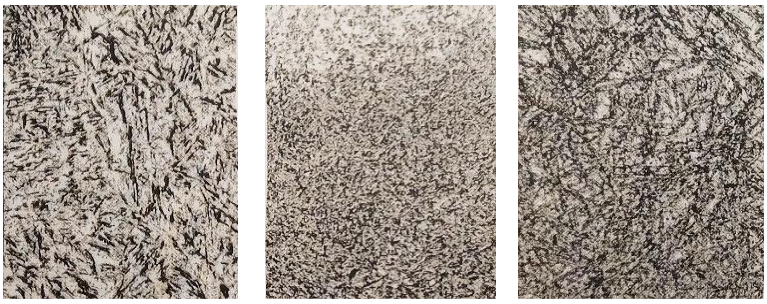
Зразки для досліджень готувалися на високошвидкісних полірувальних колах застосуванням алмазних паст різної дисперсності.

Виявлення мікроструктури поперечних перерізів наплавлених валиків проводилося шляхом хімічного травлення у 4 % розчині азотної кислоти у спирті.

Дослідження зразків здійснювалося на оптичних мікроскопах Neophot 21 та Polyvar зі збільшенням Х50 - Х500. Фотографії мікрошліфів виконували за допомогою цифрової камери Olympus.

З результатів аналізу досліджень, наведених у табл. 3.7, слід вивести, що наплавлення із застосуванням модульованого струму, в тому числі при багатошаровому наплавленні, забезпечує досить велике підвищення показників зносостійкості, забезпечується як шаруванням покриттів, так і певними параметрами модуляції. На рис. 3.29 представлені порівняльні характерні мікроструктури наплавленого металу в зоні пошарового формування металу.

Металографічні дослідження показують, що наплавлений у кілька шарів модульованим струмом з частотою 0,5 Гц метал, має структуру великоголчастого мартенситу. Ділянка з такою структурою ширша і розмір голок мартенситу більший, ніж у випадках *а, б* (рис. 3.30).



а б в

Рис. 3.29. Мікроструктура наплавленого металу в зоні пошарового накладання валиків (Х200):

а – стаціонарна дуга; б, в – модульований струм: б – частота 1,1 Гц; в – частота 0,5 Гц

Мікротвердість, згідно з ДСТУ ISO 6507-1:2007 в області накладання шарів з багаторазовим виміром наведена в табл. 3.8. Металографічні дослідження показали, що на пошарову неоднорідність впливає метод і режими наплавлення. Так, при наплавленні модульованим струмом із частотами 0,5 та 1,1 Гц змінюється область перекристалізації. Структура металу змінюється від дрібноголчастої до великоголчастої. На вигляд структури наплавленого металу (рис. 3.29), на нашу думку, впливає той факт, що шари взаємопідплавляються, тобто відбувається плавлення металу двічі. Можна зауважити, що формування структури наплавленого металу в шарах відрізняється своєрідністю та впливає на експлуатаційні властивості виробу.

а б в

×100

Рис. 3.30. Мікроструктура наплавленого металу в зоні перекриття валиків:

а - стаціонарна дуга; б – модульований струм: б – частота 1,1 Гц; в – частота 0,5 Гц

Таблиця 3.8 – Величини мікротвердості металу в зоні перекриття валиків по всій поверхні наплавлення

Режим наплавлення	*Мікротвердість, HV50, МПа*
Стаціонарна дуга	4310, 4380, 4490, 4670, 4260, 4280, 4480, 4760, 4880, 4680
Модульований струм 1,1 Гц	5220, 5140, 4990, 5140, 5140, 5150, 4980, 4980, 5120, 5019
Модульований струм 0,5 Гц	4780, 4690, 4580, 4570, 4580,

Зона перекриття наплавлених валиків становить особливий інтерес, оскільки формується як наслідок безпосереднього дугового процесу та і рахунок непрямого нагріву, який йде паралельно дуговому процесу. Від параметрів зони перекриття наплавлених валиків залежить, зокрема, і відстань між осями валиків, а отже, і продуктивність процесу наплавлення. Металографічні дослідження

області перекриття досліджувалися на зразках, вирізаних із середньої частини перекриття. Область перекриття валиків, наплавлених стаціонарною дугою і модульованим струмом, являє собою мартенситну матрицю із залишковим аустенітом у вигляді фрагментів вздовж меж кристалітів. Ширина перекриття при наплавленні стаціонарною дугою становить 250 мкм, а при наплавленні модульованим током при досліджених частотах 0,5 і 1,1 Гц збільшується до 300 мкм. Мікроструктура металу в зоні перекриття валиків представлена на рис. 3.30. Мікротвердість зони, виміряна багаторазово в різних точках, у тому числі по лініях зіткнення перекриття валиків, представлена в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Величини мікротвердості металу в зоні перекриття валиків

Режим наплавлення	*Мікротвердість, HV50, МПа*
Стаціонарна дуга	4590, 4960, 4960, 4880
Модульований струм 1,1 Гц	5420, 5140, 4880, 5140, 5140, 4880
Модульований струм 0,5 Гц	4380, 4690, 4480, 4210

Можна відзначити, що мікротвердість зони перекриття валиків залежить від параметрів модуляції, зокрема від частоти модуляцій режиму і може істотно перевищувати показники, які визначаються при наплавленні стаціонарною дугою.

Зона перекриття наплавлених валиків як стаціонарною дугою, так і модульованим струмом, характеризується змішуванням наплавлених металів, які піддалися при наплавленні попереднього валика, структурної зміни зі збільшеними показниками зносостійкості.

У технічній літературі, а також у наших дослідженнях зазначено, що зазвичай у місцях перекриття наплавлених валиків метал має неоднорідну твердість по довжині та глибині металопокриття, що знижує зносостійкість наплавлення стаціонарною дугою.

Для з'ясування впливу наплавлення з модуляцією режимів був проведений цикл цілеспрямованих порівняльних експериментальних досліджень із виявленням однорідності твердості наплавленого валика при різних способах і режимах наплавлення.

Вибір точок вимірювання мікротвердості проводився по всій поверхні місць перекриття наплавленого металу, причому розташування точок практично копіювалося для кожного зразка. Результати вимірювань показані в табл. 3.8. Аналіз даних, що наведені в табл. 3.8, дозволяє зазначити, що варіації величин мікротвердості металу при наплавленні модульованим струмом істотно нижче, ніж при застосуванні стаціонарного режиму. Це свідчить про дієвість впливу модульованого режиму наплавлення в зоні перекриття валиків.

Можна відзначити, що менший розкид твердості забезпечує більшу зносостійкість.

Це може мати велике значення, оскільки найчастіше при шліфуванні наплавленої поверхні саме зони перекриття забезпечують принаймні стабільну зносостійкість. Технологія наплавлення модульованим струмом із застосуванням

результатів викладених у цій роботі з вибору параметрів, що впливають на зносостійкість багатошарового покриття була з успіхом застосована при відновленні робочих органів екскаваторів, металопрокатного та суднового обладнання, а також сільськогосподарської техніки та ін.

Докладніше розглянемо проблеми забезпечення працездатності великогабаритних вузлів та деталей гірничодобувної та гірничопереробної техніки [7]. Завдання продовження ресурсу роботи дуже важливі, оскільки пов'язані зі значним енергоресурсоспоживанням. Так, вихід з ладу конуса дробильного агрегату, призначеного для отримання залізоутримуючої руди внаслідок зношування посадкових і різьбових місць веде до заміни самого конуса на новий, вартість якого може досягати кілька мільйонів гривень.

Рис. 3.31. Наплавлення вала напівавтоматом ПШ107В:
1 – блок модулювання швидкості подачі електродного дроту; 2 – напівавтомат; 3 – наплавлення порошковими дротами

Термін експлуатації дробарок становить кілька років. За цей період зношуються не тільки робочі, але й менш навантажені поверхні. До таких деталей належить вал конуса. Виходить з ладу і частина валу з різьблення, на якому підвішений конус. Спроби відновити такі деталі ручним дуговим наплавленням призводять до появи в наплавленому металі сітки тріщин. Наприклад, на рис. 3.31 показано робоче місце для багатошарового наплавлення із застосуванням напівавтомата ПШ107В, який розроблений в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України укомплектованого джерелом зварювального струму ВДУ506М.

Для наплавлення використовуються порошкові дроти, що дозволяють наплавляти зносостійкий метал з високими механічними показниками. Застосування модуляції при багатошаровому наплавленні дозволило додатково покращити процес формоутворення наплавлених валків – вони стали істотно більш рівномірними, що полегшує і прискорює процес їх механічної обробки. Виключено стікання металу при наплавленні горизонтальних валиків на вертикальній площині, що є досить складним завданням для зварника. Підвищено експлуатаційні властивості відновлених поверхонь.

На сьогодні відновлено валики, які успішно експлуатуються на гірничозбагачувальних комбінатах Криворіжжя. Витрати на відновлення валів конусів не перевищує 30 % вартості нових конусів, при цьому термін служби відновлених конусів не менше нормативного терміну служби нового конуса.

Література до розділу 3

1. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / И. А. Рябцев. – Киев : Екотехнологія, 2004. – 160 с.

2. Лебедев В. А. О выборе оборудования для наплавки пульсирующей дугой матриц штампов / В. А. Лебедев, В. А. Тищенко //Автоматическая сварка. – 1997. – № 8. – С. 51-52.

3. Лебедєв В. Особливості структуро утворення металу при електродуговому механізованому наплавленні з модуляцією режимів / В. Лебедєв, В. Тищенко, С. Лой // Технічні наука та технології. – 2022. – № 1. – С. 27-36.

4. Лебедєв В. О. Ефекти використання модульованих режимів роботи обладнання для дугового механізованого зварювання та наплавлення / В. О. Лебедєв // Міжнародна науково-технічна конференція. “Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій” (10-11 листопада 2022 р.). – Тернопіль, 2022. – С. 125-127.

5. Лебедєв В. О. Вивчення особливостей механізованого електродугового наплавлення з періодичною зміною режимів процесу / В. О. Лебедєв, В. О. Тищенко, М. М. Бриков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. – № 1. – С. 62-69.

6. Определение параметров импульсного механического воздействия на сварочного ванну для структуризации металла при автоматической дуговой наплавке / В. А. Лебедев, С. В. Драган, А. Ф. Галь, О. А. Козырко // Збірник наукових праць НУК. Обробка матеріалів у машинобудуванні. – 2016. – № 1. – С. 19-26.

7. Восстановление крупногабаритных деталей оборудования / Ю. М. Кусков, В. А. Лебедев, И. А. Рябцев, А. И. Поддубинский, Р. В. Шапран // Автоматическая сварка. – 2005. – № 10. – С. 60-62.

РОЗДІЛ 4
Реалізація імпульсних алгоритмів подавання електродного дроту. Системи механічні та електромеханічні

Загальні відомості про конструкції механізмів для імпульсного подавання електродного дроту. Механізм подачі електродного дроту разом з джерелом зварювального струму є основними складовими автоматів та напівавтоматів які забезпечують електродуговий процес встановлюють та регулюють його параметри [1].

Більшість механізмів та систем подачі, які розглядаються в цьому підрозділі, базується на великій чисельності розробок, які виконані в ІЕЗ ім. Є. О. Патона, які, наприклад, представлені в роботах [2], [3], [4], [5] та інших.

Усі відомі прості та складні конструкції механізмів для імпульсної подачі електродного дроту, який плавиться, з різними можливостями щодо технологічних впливів на процес зварювання можна узагальнено представити (класифікувати) у вигляді, наведеному на рис. 4.1.

Рис. 4.1. Основні типи механізмів подачі електродного дроту

Треба зазначити, що не всі механізми подачі широко застосовуються в механізованому та автоматичному обладнанні для зварювання та наплавлення. Проте всі вони в певному виконанні можуть бути задіяні для виконання технічних та технологічних завдань зварювального та відновлюваного виробництва. Деякі з них, завдяки відносно нескладній конструкції, можуть бути корисними, наприклад, у процесах, пов'язаних із керованим перенесенням електродного

металу. Це насамперед стосується простих механізмів для імпульсної подачі електродного дроту з обмеженими можливостями щодо формування імпульсів руху, їх характеристик. Такі механізми з успіхом використовувались для зварювання деталей з алюмінієвого сплаву із забезпеченням мінімальних дефектів у структурі метала шва й відповідних характеристик міцності.

Є більш досконалі механізми подачі електродного дроту з функцією забезпечення регульованої імпульсної подачі, які можуть використовуватись для рішення комплексних задач зварювального виробництва.

Механізми подачі з односторонніми захватами. До такого типу механізмів належить цілий клас пристроїв, який перетворює обертальний рух вала приводного електродвигуна у зворотно-поступальний рух захватів які переміщують електродний дріт. Саму функцію перетворення може виконувати простий ексцентриковий механізм, наприклад такий, що представлений на рис. 4.2, де ексцентриком є нахилена шайба. Рухається лише один захват, але конструкції такого типу механізмів, де рухаються два захвати в протифазні – назустріч один одному, а потім один від одного. При цьому досягається різний алгоритм руху дроту. У першому випадку за цикл рухів здійснюється один імпульс подачі дроту, а другому – два.

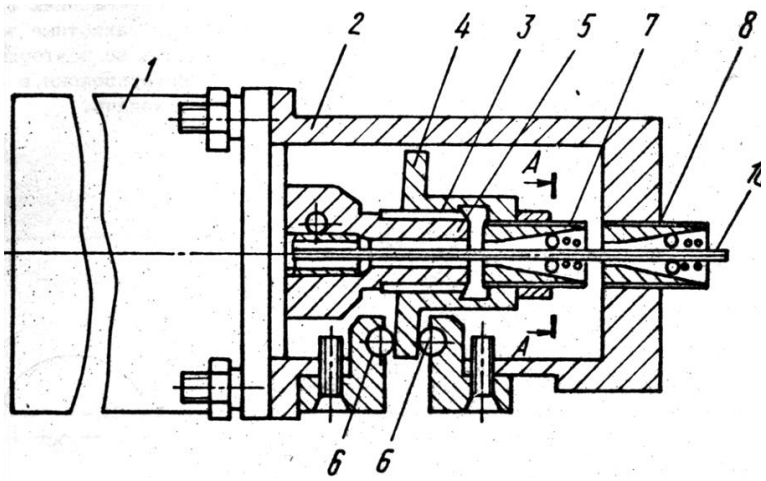


Рис.4.2. Механізм імпульсного подавання електродного дроту:
1 – електродвигун; 2 – корпус; 3 – шпонка, яка ковзає; 4 – похила шайба; 5 – вал приводного електродвигуна; 6 – опорні кульки, 7 – рухомий однобічний захват, 8 – нерухомий однобічний захват

Цікавою є конструкція механізму подавання коли захвати не рухаються, а дріт здійснює коливання спеціальним пристроєм поперек напряму подавання дроту, як це показано на реальному механізмі та схематично на рис. 4.3.

Є досить велика кількість запропонованих технічних рішень і реальних конструкцій односторонніх захоплень і практично всі вони працюють за одним принципом - заклинювання електродного дроту захватними елементами під час робочого ходу з неминучою зміною кроку подачі під час зміни опору руху електродного дроту, а основні завдання, що ставлять під час їхнього розроблення, такі:

- простота конструкції;

- можливість використання як захватних елементів промислових вузлів, наприклад, кульки й ролики підшипників тощо;

- забезпечення максимальних показників надійності, зокрема напрацювання на відмову.

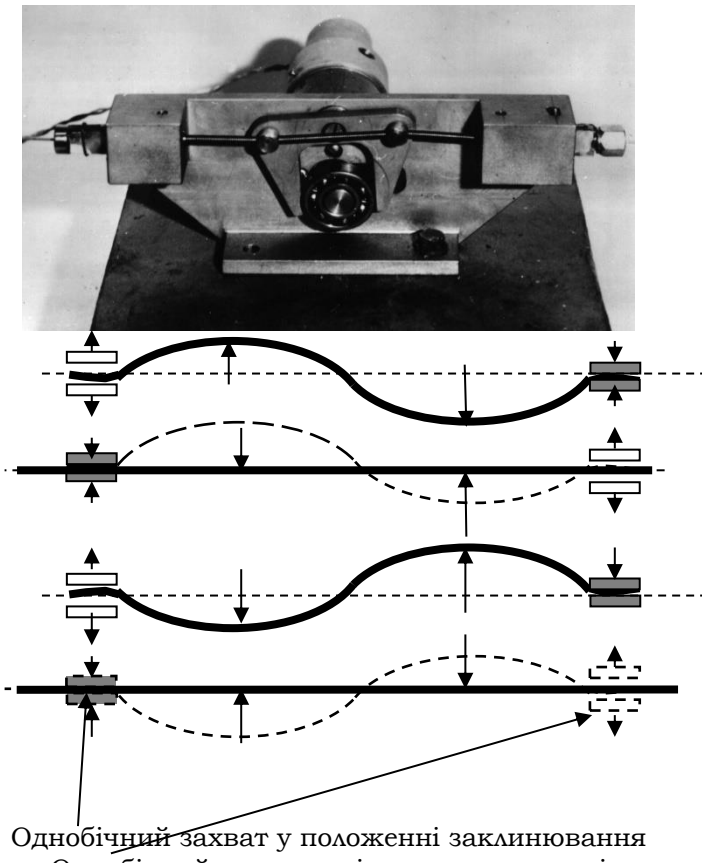


Рис. 4.3. Механізм імпульсної подачі електродного дроту з нерухомими односторонніми захватами

Застосування таких конструкцій односторонніх захватів, які забезпечують точність відтворення кроку імпульсної подачі або мінімально можливу його зміну за змін опору руху електродного дроту.

При цьому, на нашу думку та досвід, одним із найбільш досконалих є захват з багатогранних твердосплавних пластин (сплав ВК8 та подібні до нього), які використовуються як змінний ріжучий інструмент у різцях металоріжучих верстатів.

Вибір як захватних елементів саме цих деталей може бути зумовлений наступними міркуваннями: наявність у пластинах декількох кутів, кожен з яких може бути використаний як змінний для подачі електродного дроту при зносі попереднього; може бути обрані заготовки ріжучих пластин із висотами граней, що дозволяють при перевстановленні захватних кутів ріжучих пластин по висоті одержати кілька точок взаємодії з електродним дротом; можливе заточення кутів, які вже спрацювалися при подачі.

Усі ці можливості значною мірою підвищують ресурс роботи одностороннього захоплення із застосуванням заготовок ріжучих пластин із твердосплавних матеріалів. Реалізувати зазначені можливості дозволяє конструкція одностороннього захоплення із тригранними захватними елементами, представлена на рис. 4.4. Односторонні захвати такого типу дані в положенні без електродного дроту (рис. 4.4, *а*) та положенні з електродним дротом (рис. 4.4, *б*). Пластини *1* і *2* захоплення встановлені з можливістю повороту на осях *3* і *4*, які закріплені на платику *5*. Бічні грані пластин *1* і *2*

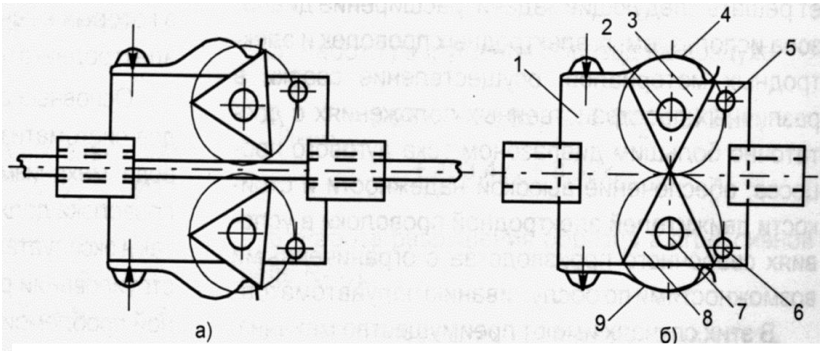


Рис. 4.4. Конструкція однобічного захвату з тригранними однобічними захватами

пружні щодо платика 5 пружинами *6* і *7*. Обмеження повороту пластин *1* і *2* і здійснюється постійними упорами *8* і *9*, закріпленими на платику 5. Пружини *6* і *7* забезпечують постійний контакт електродного дроту з кутами пластин *1* і *2*. Оцінити зміну кроку подачі при заклинюванні електродного дроту, а також вибрати основні конструктивні параметри одностороннього захоплення можна, розглянувши дію сил відповідно до розрахунків, представлених у [6].

Треба зазначити, що рух однобічних захватів може здійснюватися різними приводами, основні з яких це електродвигуни та електромагніти. Деякі характеристики порівняльні характеристики таких пристроїв укрупнено наведені в порівняльній таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристики механізмів з односторонніми захватами

Механізми імпульсної подачі електродного дроту з односторонніми захватами		
Тип приводу	*Переваги*	*Недоліки*
На основі електродвигуна	Промислово виробляється силовий вузол - електродвигун; широкі можливості регулювання частоти імпульсів подачі при відносно простих технічних рішеннях	Наявність проміжної ланки – перетворювача обертального руху валу електродвигуна у зворотно-поступальний рух односторонніх захватів; відносно великі масогабаритні показники механізму
На основі електромагнітів	Малі масогабаритні показники; великі прискорення імпульсів подачі електродного дроту Відсутність промислового виробництва електромагнітів із необхідними характеристиками; відносна складність регулювання частоти імпульсів подачі	Відсутність промислового виробництва електромагнітів з необхідними характеристиками; відносна складність регулювання частоти імпульсів подачі

Варіант механізму для напівавтоматичного зварювання з електромагнітами представлений на рис. 4.5.

Застосування механізмів з електромагнітним приводом має певні суттєві обмеження, що зазначені по деяких показниках у порівняльній таблиці (табл. 4.1).

Вибір приводу механізму імпульсної подачі електродного дроту повинен бути обумовлений конкретними обставинами як технічними, так і експлуатаційними. Однак при цьому основною проблемою розробки та конструювання механізмів, що розглядаються, стає вибір оптимальної конструкції односторонніх захоплень. У зв'язку з тим, що основний тип односторонніх захватів із самозаклинювальним ефектом, зусилля притиску його заклинюючих елементів P залежить від опору руху електродного дроту F. При цьому величина P повинна розраховуватися окремо для кожного з видів захватів за відповідними схемами, що діють при подачі сил.

Деформація електродного дроту Δd_1, внаслідок впливу на неї елементів, які заклинюють дріт викликає зменшення заданого значення кроку подачі Δt.

Для надійної подачі повинна виконуватись умова

$$Pf \succ F ,$$

де f - коефіцієнт тертя матеріалів дроту та елементів захвату

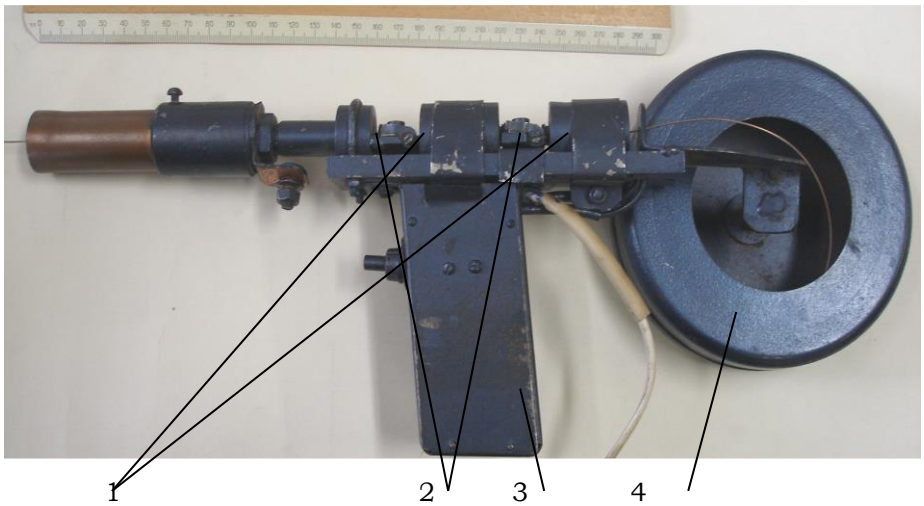


Рис. 4.5. Імпульсний механізм подачі:
1 – електромагніти; 2 – односторонні захвати; 3- рукоятка;4 - касета закритого типу

Матеріали, що використовуються як заклинювальні елементи, повинні мати високу твердість і зносостійкість. Так стійкість кулькових елементів, що заклинюють, зі сталі ШХ9 твердістю HRC 60…62 при подачі алюмінієвого електродного дроту становить близько 250 хв, а при подачі сталевого дроту менш як 100 хв. Стійкість шайбових захватів (взаємодія дроту із захватом гострою гранню шайби) з твердого сплаву Т14КВ твердістю до HRC 75 при подачі алюмінієвого дроту становила понад 300 хв, а сталевий - до 150 хв.

Можна вказати, що при роботі було отримано частоти імпульсної подачі механізмами з однобічними захватами в декілька десятків Гц.

Механізми подачі з квазіхвильовим перетворювачем руху (КХП). Незважаючи на наявні переваги механізмів імпульсної подачі з однобічними захватами, але враховуючи їх обмежене застосування був виконаний пошук нових систем з імпульсним алгоритмом роботи з надійною подачею дроту звичайними парами роликів.

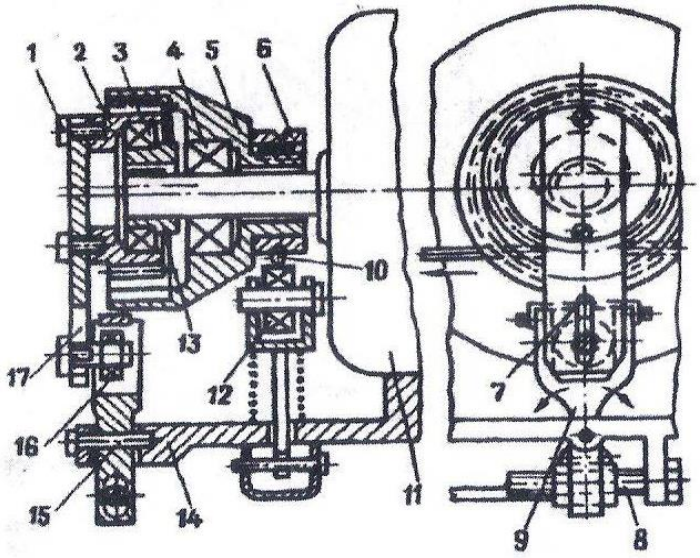


Рис. 4.6. Механізм подачі електродного дроту з КХП

Новий механізм подачі повинен мати більш широкі технічні та технологічні можливості, ніж механізми з однобічними захватами, з одного боку, а с другого – мав би високі показники надійності – не гірші, ніж наявні роликові механізми. Варіант конструкції такого механізму, який отримав назву КХП з однією парою шестерен із внутрішнім зачепленням, представлений на рис. 4.6, *а* розрахункова схема для визначення передаточного відношення дана на рис. 4.7.

Розглянемо принцип роботи такого механізму. При обертанні вала електродвигуна *11* сателіт *2* на ексцентриковій втулці *13* провертається та обкатується всередині центральної шестерні *5*. При цьому сателіт *2* через важіль *1* та опорний підшипник *16* взаємодіють з опорним елементом *9*, який змушує сателіт додатково повертатися на підшипнику *3*. Здійснюючи складний обертальний рух, сателіт *2* входить у зачеплення з центральною шестернею *5*, яка виконує імпульсний обертальний рух, який передається ролику подачі, який забезпечує імпульсний рух дроту *10*. Для забезпечення плавної подачі електродного дроту необхідно звільнити елемент *8* тоді поверхня опорного елемента *9* буде вільно повертатися на осі *15* на кут, який обмежений планкою *7*. При цьому додаткового повороту сателіта не відбувається, і центральна шестерня *5* з подавальним роликом *6* повертається плавно.

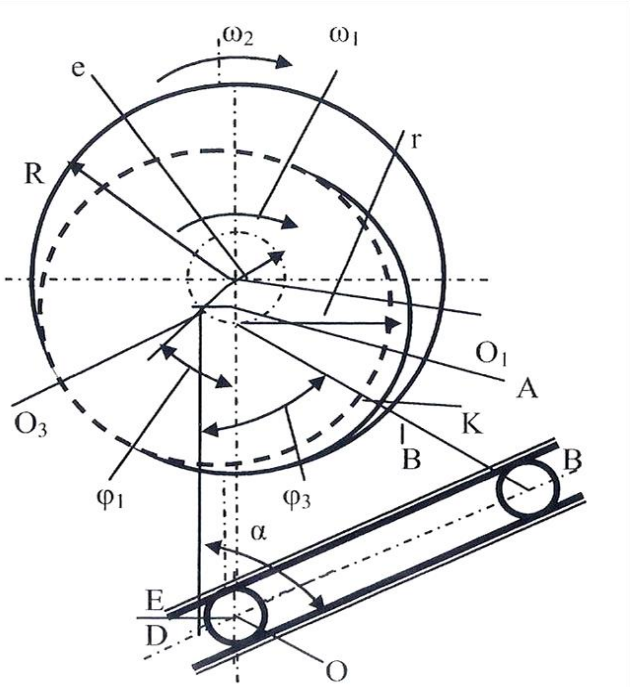


Рис. 4.7. Розрахункова схема імпульсного механізму подачі КХП

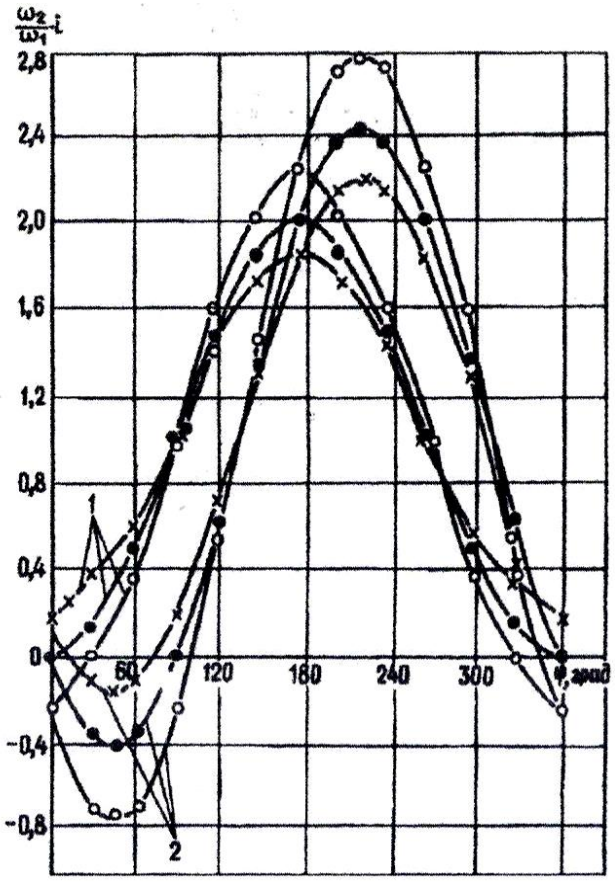


Рис. 4.8. Результат розрахунку форми імпульсів подачі механізму з КХП:
1 – α = 0⁰; α = 45⁰ ;
● – i = e / b; ○ – i = 0,8 e / b; + - i = 0,6 e / b

Закон руху ролика *6*, а відповідно електродного дроту можна визначити на основі розрахункової схеми на рис. 4.7 у вигляді

$$\varpi_1 = \omega(-\frac{e}{R} \pm \frac{e}{b}\frac{\cos(\varphi_1 - \alpha)}{\cos\alpha}), \quad (4.1)$$

де e – ексцентриситет; ϖ_1, ω – частота обертання ролика та валу електродвигуна відповідно; ϕ_1 – кут повороту ексцентрика; α – кут нахилу опорного елемента; R – радіус центральної шестерні.

На рис. 4.8 показані розраховані теоретично форми імпульсів подачі електродного дроту (обертання ролика, який подає *6*).

Аналізуючи рівняння (4.1) та графіки на рис. 4.8, можна бачити, що форма імпульсів подачі залежить від розмірів діючих вузлів механізму і ці характеристики можуть бути встановлені для отримання бажаного ефекту, наприклад, керування процесом перенесення крапель електродного металу та інше.

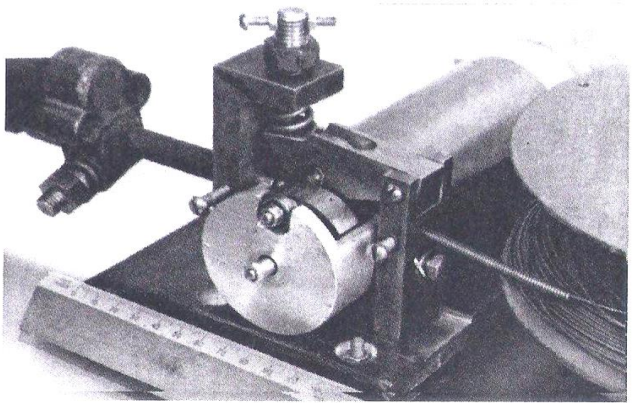


Рис.4.9. Конструкція механізму подачі електродного дроту з

Розроблено варіанти таких механізмів з КХП, які відрізняються деякими технічними особливостями та мають певні можливості з формування імпульсів руху електродного дроту. Є конструкції, які генерують декілька імпульсів подачі за одне обертання вала приводного двигуна.

Одна з конструкцій механізму з КХП наведена на рис. 4.9.

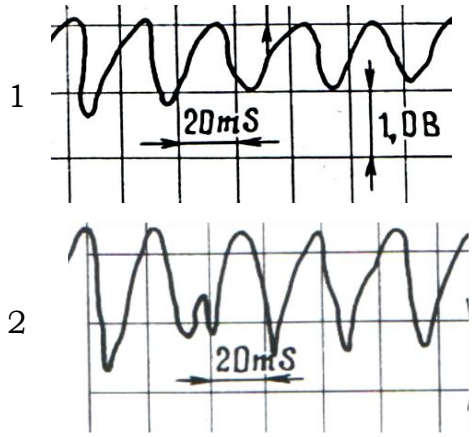


Рис. 4.10. Осцилограми імпульсів швидкості подачі дроту для різних співвідношеннях діючих елементів механізму з КХП

Осцилограми швидкості подачі електродного дроту механізмом з КХП наведені на рис. 4.10.

Осцилограми записані за допомогою спеціально розробленого пристрою на основі чутливого тахогенератора з фільтрацією пульсацій від його колектора.

Треба зауважити, що забезпечення імпульсного руху в зону горіння дуги має свої особливості. Це, зокрема, стосується вибору електродвигуна та направляючого каналу, по якому здійснюється подача дроту.

Що стосується каналу, то, як відомо, амплітуда імпульсів у ньому зменшується (затухає). При конструюванні обладнання для механізованого та автоматичного зварювання та наплавлення ці обставини треба враховувати, спираючись на розрахунки та рекомендації роботи [7]. Одна з таких рекомендацій – скорочення довжини каналу. Оптимізація інших характеристик каналу (внутрішній діаметр, показники тертя) також є дієвою.

Може бути достатньо ефективним вибір та встановлення кроку подачі зі збільшеним кроком на величину можливих втрат у каналі. Усе це встановлюється розрахунково або на основі експериментів.

Механізм подачі у складі напівавтомата базової моделі ПШ107 у варіанті системи з коротким каналом представлений на рис. 4.11.

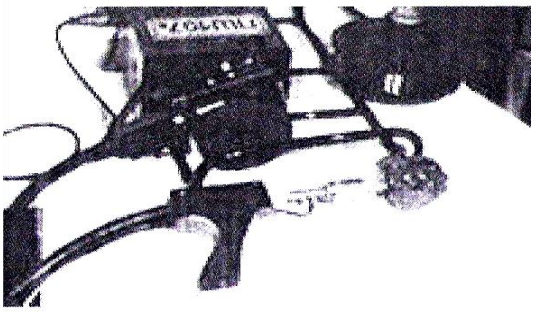


Рис. 4.11. Напівавтомат з механізмом з КХП

Силові характерники механізму подачі необхідні для реалізації імпульсної подачі суттєво відрізняються від тих які діють при подачі електродного дроту звичайними механізмами.

Відомо, що для забезпечення надійної подачі дроту по довгому гнучкому каналу механізм повинен подолати сукупність сил опору $F_{mг}$. Для звичайного механізму $F_{mг}$ визначається в вигляді

$$F_{mг} = F_к + F_m + F_n + F_c\,, \tag{4.2}$$

де $F_к$ – опір подачі в каналі; F_m – опір в струмопідводі; F_n – опір у роликовому рушії; F_c – опір змотуванню дроту з касети.

Треба вказати, що вібрація електродного дроту при імпульсній подачі суттєво впливає на опір руху дроту по каналу, зменшуючи його.

При імпульсній подачі роликами необхідно врахувати як зниження опору руху електродного дроту в каналі, так і деякі зміни в умовах роботи пари притискний ролик та ролик, який подає. Якщо подача неприливна (без імпульсів), то необхідно забезпечити зусилля стискання пари роликів $F_{cж}$.

$$F_{cж} \geq 2,5(F_к + F_m + F_n + F_c)\,. \tag{4.3}$$

Нові розробки механізмів імпульсної подачі електродного дроту. Механізоване зварювання та наплавлення з імпульсною подачею присадкового електродного дроту, що впливає на перенесення електродного металу, дозволяє суттєво розширити сфери застосування обладнання, знизити енерго- та ресурсозатрати, впливати на формування та якість металу шва.

Частковий прогрес у цьому напрямку був досягнутий при створенні механізмів імпульсної подачі на основі КХП (квазіхвильова передача) [8] з розширеними можливостями формування імпульсів руху. Розробка таких механізмів, їх дослідження в лабораторних умовах, дослідно-промислова перевірка та впровадження з суттєвими технологічними ефектами, оцінка та аналіз переваг та недоліків дозволили отримати досить велику інформацію щодо формування вимог до більш досконалих систем імпульсної подачі для механізованого зварювального. та наплавочного обладнання.

Нова розробка механізму імпульсної подачі дроту базується на застосуванні вентильного електропривода з комп'ютерною системою управління та регулювання спеціальної розробки з урахуванням специфіки мобільного зварювального обладнання.

Для забезпечення вимог технологічного процесу зварювання з імпульсною подачею електродного дроту електропривод повинен задовольняти таким вимогам:

1) надійність роботи;

2) точність підтримки заданої частоти обертання з широким діапазоном регулювання;

3) мінімальний час перехідного процесу розгону та гальмування;

4) можливість завдання необхідних алгоритмів (тахограм) руху валу електродвигуна;

5) мінімальне споживання електроенергії.

Однією з найважливіших завдань, розв'язаних при розробці та конструюванні такого електропривода, було отримання безлюфтової передачі обертального руху вала електродвигуна дроту. Тільки в цьому випадку буде забезпечено відтворення заданого алгоритму імпульсної подачі. Ефективне вирішення завдання стало можливим при встановленні подавального ролика, безпосередньо на валу електродвигуна, тобто був створений безредукторний механізм подачі дроту.

На рис. 4.12 показано розроблений механізм імпульсної подачі на основі вентильного електропривода у складі випробувального стенда, а також його регулятор, вмонтований у блок управління циклом зварювання.

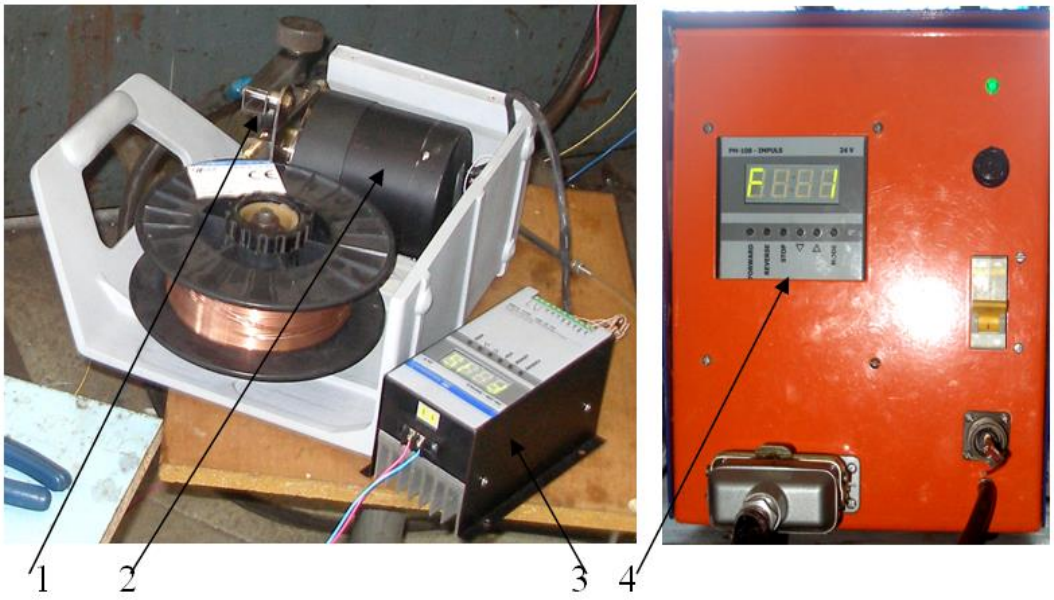


Рис. 4.12. Механізм імпульсної подачі на основі комп'ютеризованого вентильного електропривода:
1 – ролик, який подає, з механізмом притиску; 2 – електродвигун; 3 – регулятор електропривода; 4 – регулятор, вмонтований у блок керування напівавтомата

Вентильний електропривод (ВЕП) складається з безконтактного електродвигуна та системи керування.

Треба зазначити, що ця розробка є цілком українською, включно з унікальною конструкцією швидкодіючого вентильного електродвигуна, системою його керування та оптимального регулювання, а також алгоритмів функціонування.

Вентильний електродвигун має підвищену надійність роботи за рахунок відсутності ковзних контактів на роторі, а наявність постійних магнітів дозволяє отримати найкращі показники енергоефективності в режимах двигуна та керованого рекуперативного гальмування.

Для забезпечення високих динамічних та статичних показників ВЕП система управління виконана підлеглого типу з внутрішнім контуром струму та зовнішнім контуром швидкості, забезпечуючи роботу електропривода в усіх чотирьох квадрантах механічної характеристики. З огляду на те, що основний

режим роботи ВЕП – повторно-короткочасний, для поліпшення енергетичних показників в електроприводі реалізовано гальмування, що регулюється, з віддачею запасеної кінетичної енергії в джерело живлення.

Розглянемо питання встановлення (реалізація) параметрів всіх компонентів циклу імпульсного руху електродного дроту за алгоритмами, представленими у вигляді ідеалізованих тахограм на рис. 4.13.

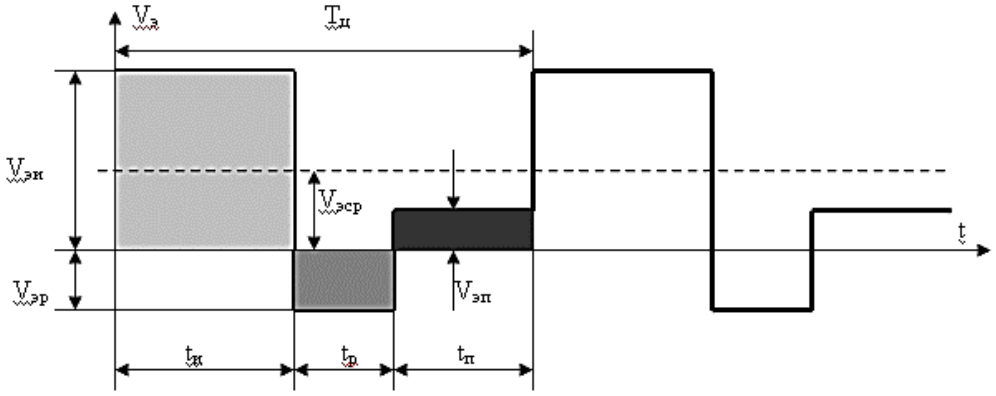


Рис. 4.13. Формалізовані епюри швидкостей подачі електродного дроту V_e:

V_{ei}, V_{en}, V_{ep} – швидкості в імпульсі, паузі та реверсі відповідно; t_i, t_p, t_n – часи імпульсу, паузи та реверсу відповідно; V_{ecp}-середня швидкість

Спочатку розглянемо двокомпонентні цикли імпульсного руху дроту.

При $t_p = 0$ визначимо середню швидкість подачі електродного дроту V_{cp} (найпоширеніший випадок), що визначає інтегральне значення струму за час циклу $T_ц$:

$$V_{cp} = \frac{h}{T_ц}, \tag{4.5}$$

де h – крок подачі за час $T_ц = t_u + t_n$.

Рівняння (4.5) перепишемо у вигляді:

$$V_{cp} = \frac{h}{t_i + t_n} = \frac{h}{\frac{n_{ei}h}{V_{ei}} + \frac{n_{en}h}{V_{en}}}, \tag{4.6}$$

де n_{ei} і n_{en} – частки кроку подачі зі швидкістю V_{ei} і V_{en} відповідно.

Важливим може бути такий висновок

$$V_{cp} = \frac{V_{ei}V_{en}}{n_{ei}V_{en} + n_{in}V_{ei}}. \tag{4.7}$$

Висновок рівняння справедливий для випадку $V_{ei} \neq 0$ і $V_{en} \neq 0$.

Для випадку $V_{эп} = 0$ (поширений випадок), коли подача дроту здійснюється тільки в імпульсі, рівняння (2) може бути записане у вигляді:

$$V_{ср} = \frac{h}{t_i + t_n} = \frac{V_{ei}\, t_i}{t_i + t_n}, \tag{4.8}$$

де t_n і t_i – часи імпульсу та паузи відповідно.

Можна зауважити, що подачі співвідносяться до частки часу в імпульсі й паузі. Тоді очевидно, що $t_i + t_n = 1$, а вираз (4.8) записується таким чином:

$$V_{ср} = n_{ei} V_{ei}. \tag{4.9}$$

Розглянемо тепер ще один варіант, коли замість паузи використовується реверс електродного дроту. Враховуючи, що швидкість – величина векторна, середнє значення швидкості подачі може бути визначено у вигляді:

$$V_{ср} = \frac{V_{ei} V_{ep}}{-n_{ei} V_{ep} + n_{ep} V_{ei}}, \tag{4.10}$$

де V_{ep} і n_{ep} – швидкість і частка кроку подачі в реверсивному русі дроту відповідно.

Були розглянуті найбільш використовувані алгоритми двокомпонентного керованого імпульсного переміщення електродного дроту, однак, при експериментах використовувалися алгоритми з введенням усіх трьох компонентів імпульсу. Визначення характеристик цих компонентів можна отримати за допомогою наступного виразу, отриманого на основі рівняння (4.10):

$$V_{ср} = \frac{h}{t_i + t_n + t_p} = \frac{h}{\frac{n_{ei} h}{V_{ei}} + \frac{n_{en} h}{V_{en}} - \frac{n_{ep} h}{V_{ep}}} = \frac{V_{ei} V_{en} V_{ep}}{n_{ei} V_{en} V_{ep} + n_{en} V_{ei} V_{ep} - n_{ep} V_{ei} V_{en}}. \tag{4.11}$$

Часто виникає потреба в організації трикомпонентного циклу. У цьому випадку рівняння (4.11) просто необхідно перетворити у відповідний спосіб.

Слід зазначити, що при налаштуванні параметрів компонентів імпульсного руху дроту ґрунтуються на такому:

1. Для заданого режиму зварювання при певному значенні струму вибирають відповідне цьому струму значення середньої швидкості подачі.

2. Встановлюють частоту імпульсів подачі.

3. Залежно від цілей, для яких використовується імпульсна подача (управління переносом електродного металу, вирішення завдань енерго- та ресурсозбереження, формування зварного шва або отримання узагальнених покращених показників процесу), вибирають необхідні компоненти імпульсної подачі й задаються в частинах (відсотках на пульті керування електродвигуном) часом дії кожного з компонентів.

4. Оскільки при будь-якому поєднанні компонент імпульс руху присутній завжди, то передусім слід задатися швидкістю подачі в імпульсі, а потім при двокомпонентному циклі за виразами (4.3), (4.5), (4.6) визначити швидкість подачі в паузі або при реверсі.

5. При трикомпонентному циклі подачі слід задавати значення швидкості для двох компонентів, а третій обчислювати з рівняння (4.10) або (4.11).

На рис. 4.14 для порівняння представлені характерні осцилограми швидкості подачі електродного дроту та напруги зварювання для випадку з імпульсною подачею та подачі без імпульсів.

З осцилограм очевидно, що при імпульсній подачі впорядковується перенесення електродного металу, що дозволяє стверджувати про керований характер цього процесу.

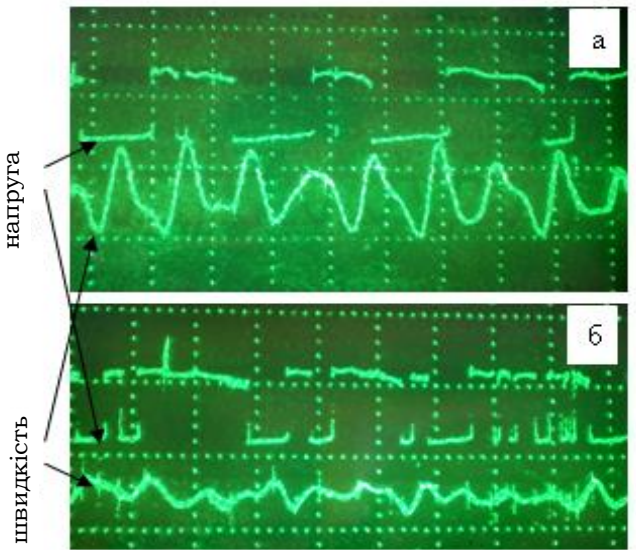


Рис. 4.14. Осцилограми швидкості та напруги зварювання при імпульсній подачі електродної дроту Св 08Г2С діаметром 1,2 мм:
а – імпульсна подача; б – звичайна подача. Струм зварювання 135…145 А

Слід зазначити ще одну важливу особливість електропривода – можливість забезпечити безімпульсну подачу електродного дроту в діапазоні швидкостей за ГОСТ 18130-79. Ця обставина дозволяє застосовувати такі механізми в широкому спектрі технологій дугового зварювання і наплавлення, у тому числі і для ефективної реалізації модульованих режимів роботи.

Зупинимося ще на одній особливості нової розробки вентильного електроприводу безредукторного механізму подачі.

Для забезпечення заданої швидкості переміщення електродного дроту необхідно або збільшувати частоту імпульсів подачі електродного дроту при заданому кроці переміщення дроту, або змінювати крок подачі при заданій частоті імпульсної подачі. Звичайно, можна змінювати обидва ці параметри одночасно, але це досить складний алгоритм керування імпульсним рухом. Очевидно, що ці два параметри є дуже важливими для отримання необхідного технологічного ефекту. Оскільки це одна з перших розробок подібних механізмів подачі й більшою мірою призначена для дослідницьких робіт з використанням електродних дротів різних діаметрів і типів (стальні суцільні, порошкові, алюмінієві), то в ній віддано перевагу програмному управлінню частотою обертання і швидкістю подачі дроту з довільним встановленням кроку подачі. Слід зазначити, що здійснити налаштування необхідного режиму імпульсної подачі з програмним завданням кроку подачі не представляє великої складності щодо вибору (програмування) всіх компонентів імпульсного переміщення електродного дроту різних діаметрів і типів для різних процесів.

У наступних розробках алгоритмів імпульсного управління переносом електродного металу, на нашу думку, необхідно відійти від понять, пов'язаних із характеристиками імпульсної подачі, а на основі експериментально-теоретичного досвіду перейти до зрозумілих для зварювальника-технолога характеристик: тип і діаметр електродного дроту, захисне середовище, зварювана або конструкція, що наплавляється, просторове положення та ін.

Рис. 4.15. Результати наплавлення з використанням зварювальних напівавтоматів з механізмами подачі:
1 – імпульсним; 2 – звичайним

З огляду на вищевикладене можна зробити висновок, що розглянутий безредукторний механізм подачі з мінімізацією його масогабаритних характеристик, витрат матеріалів, є універсальним і може бути в наш час при оптимізації способів і алгоритмів програмного налаштування запропонований промисловості для впровадження в системи подачі електронного та присадного дроту зварювального механізованого та автоматичного обладнання різного призначення та умов використання.

Розроблений новий механізм імпульсної подачі електронного дроту випробовувався в різних режимах зварювання і наплавлення. На рис. 4.15 наведено результати наплавлення сталевим електродним дротом типу Св08Г2 з діаметром 1,2 мм імпульсним механізмом з кроком подачі 2,0 мм і частотою 35 Гц.

Особливості вибору роликових систем подачі електродного дроту. Існує достатньо велика кількість технічних публікацій, наприклад [9], де викладено матеріал щодо вибору та розрахунку роликових механізмів подачі.

Останнім часом вимоги до конструкції саме роликів змінилися, і ця зміна зумовлена тим, що при електродуговому механізованому зварюванні дедалі частіше застосовуються системи з імпульсною подачею електродного дроту, які мають особливості реалізації цього алгоритму руху, пов’язані з динамічними явищами. Застосовуються електродні дроти, які мають схильність до деформування при стисканні роликами при забезпеченні їх надійного руху в зону горіння дуги тощо. В ІЕС ім. Є. О. Патона запропонована та впроваджена нова методика розрахунку конструкції роликів для подачі електродного дроту, яка враховує наявні та нові потреби до роликів:

1) забезпечення максимального зчеплення роликів з електродним дротом при мінімальній його деформації;

2) забезпечення можливості подачі електродних дротів різних діаметрів;

3) забезпечення зносостійкості роликів;

4) забезпечення можливості швидкого знімання та встановлення роликів для переналагодження або заміни.

Ці завдання можна вирішити різними способами. Це і спеціальне профілювання роликів з виконанням канавок різної форми, нанесення насічок різної орієнтації, виконання роликів у вигляді складових елементів, синхронізація обертання подавального і притискного роликів за допомогою додаткових шестерень або виконання роликів у вигляді шестерень зі спеціальним профілюванням поверхні взаємодії з роликами.

У цьому ж матеріалі, на основі експериментальних досліджень тягових характеристик роликів різних конструкцій, для різних типів і діаметрів електродних дротів і різних швидкостей їх подачі, показано, що для будь-яких із зазначених умов залежність

$$F_{тяг} = f(D_{р.под}),$$

де $F_{тяг}; D_{р.под}$ – тягове зусилля роликів, діаметр ролика, який подає.

Діаметр ролика носить значно зростаючий характер - з підвищенням діаметра ролика зростає тягове зусилля.

Це, очевидно, можна пояснити, використовуючи аналітичні висновки в такий спосіб. Розглянемо рис. 4.16, де показано взаємне розташування одного з роликів і електродного дроту, що подається ним. З геометричних побудов на цьому малюнку можна визначити залежність довжини контактного майданчика $l_{\hat{e}}$ від діаметра ролика $D_{р.под}$ у вигляді

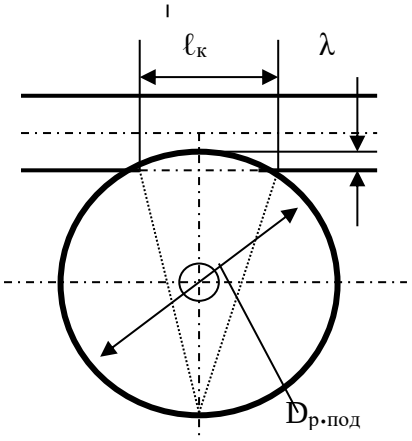


Рис. 4.16. Взаємне розташування електродного дроту й подавального ролика

$$l_k = 2\sqrt{D_{р.под}\lambda - \lambda^2}, \qquad (4.12)$$

де λ – величина деформації електродного дроту.

З (12) очевидно, що зі збільшенням діаметра ролика зростає величина контактної плями як наслідки деформації зазначеним роликом електродного дроту, а отже, зростає і коефіцієнт їх взаємного зчеплення. Результатом цього процесу є збільшення тягових можливостей вузла подачі, яке ще більше посилюється при спеціальному профілюванні ролика, а також при його рифленні. Це очевидно за умови, що незалежно від діаметра ролика величина деформації дроту λ залишається постійною. Зауважимо, що для забезпечення сталості величини λ необхідно зі зростанням діаметра ролика підвищувати значення зусилля притиску електродного дроту за умови пружних деформацій

$$\lambda = \alpha_3 \sqrt{\frac{P}{2\nu}\frac{R_{р.под} + R_e}{R_{р.под} R_e}}, \qquad (4.13)$$

де $R_{р.под}$, R_e – радіуси ролика, який подає, та електродного дроту відповідно; P – зусилля притиску; α – величина, яка залежить від співвідношення $R_{р.под} / R_e$

$R_{р.под}$ і слабо зменшується зі збільшенням зазначеного співвідношення; ν – коефіцієнт, що враховує пружні деформації та визначається у вигляді:

$$\nu = \frac{E_1}{1-\mu_1} - \frac{E_2}{1-\mu_2},$$

де E_1, E_2 і μ_1, μ_2 - відповідно модулі пружності і коефіцієнти Пуассона для ролика, який подає та електродного дроту.

З огляду на реальні значення $D_{р.под}\lambda >> \lambda$ та $D_{р.под} >> D_e$ і підставляючи вираз (4.13) в (4.12) отримаємо залежність

$$l_к = 2\sqrt{D_{р.под}} \cdot \sqrt[\alpha]{\frac{P}{\nu D_e}}. \qquad (4.14)$$

Аналіз рівняння (4.14) показує, що довжина контактного майданчика більшою мірою залежить від діаметра подавального ролика, ніж від зусилля притиску і діаметра електродного дроту. Це рівняння приблизно описує дійсні явища в зоні контакту електродного дроту й подавального ролика, проте для оціночних характеристик може бути використано. З вищевикладеного випливає, що для підвищення тягових характеристик роликового механізму подачі електродного дроту при мінімальній його деформації доцільно збільшувати діаметр подавального ролика.

Зважаючи на викладене запропонована нова концепція побудови роликового вузла.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патон НАНУ запропоновано новий підхід до проблеми конструювання роликового механізму подачі електродного дроту [10]. Цей підхід передбачає конструктивний поділ ролика, що подає, на два основні функціональні об'єкти. Перший – як приводного ролика, встановленого на вихідному вала редуктора. Другий - у вигляді приводного ролика, вільно встановленому на поверхні приводного ролика.

Конструкція запропонованого технічного рішення схематично представлена на рис. 4.17.

На вихідному валу редуктора жорстко закріплений приводний ролик *1*, виконаний у вигляді шестерні. На приводному ролику *1* вільно встановлений подавальний ролик *2*, який також виконаний у вигляді шестерні, але з внутрішнім зубчастим зачепленням, яке входить в зачеплення з зубчастим зачепленням ролика *1*. Притискний ролик *3* здійснює притиск електродного дроту *4* до подавального ролика *2*.

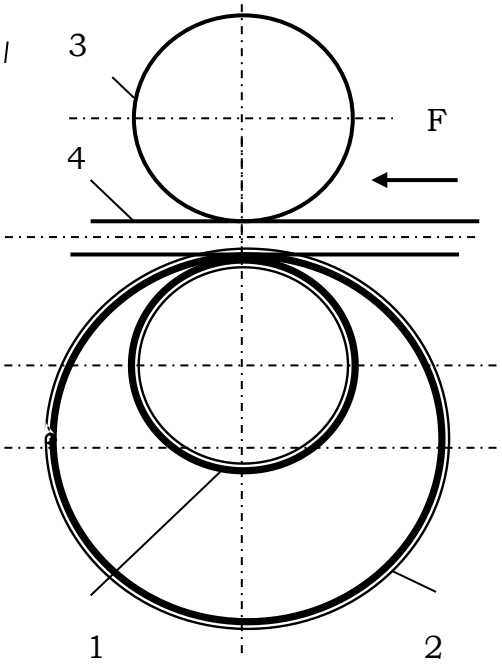


Рис.4.17. Принцип побудови механізму подачі з вільним роликом

При обертанні приводного ролика *1*, момент обертання з цього ролика через зубчасте зачеплення передається подає ролику *2*, який, будучи затиснутим між притискним роликом *3* і електродним дротом *4*, також отримує обертання та здійснює переміщення електродного дроту. Вісь обертання ролика *2* не збігається з віссю обертання приводного ролика *1* і механічно ні з чим не пов'язана, що і відрізняється запропонований механізм від традиційних із жорсткими прив'язками всіх осей обертання.

Очевидно, що швидкість подачі електродного дроту в аналізованому механізмі визначається частотою обертання і діаметром приводного ролика-шестерні *1* і не залежить від діаметра подавального ролика *2*. Частота обертання подавального ролика, n_{∂} залежить від співвідношення діаметрів ролика який подає ($D_{р.под}$) і приводного ($D_{р.прив}$) ролика й визначається у вигляді

$$n_{р.прив} = \frac{n_{п.прив} D_{р.прив}}{D_{р.под}},$$

де $n_{р.}$ – частота обертання приводного ролика.

Можна відзначити і той факт, що при зміні діаметра ролика, що подає, у конструкції моменту опору подачі, що передається на приводний електродвигун, залишається постійним і мінімальним (залежить лише від діаметра приводного ролика і товщини кільця, що утворює ролик, який подає).

Крім вищезгаданих переваг, які мають ролики, що подають, з підвищеними діаметрами, слід відзначити і ще одне - можливість швидкого знімання і установки при заміні.

Конструктивно механізм із вільним роликом, що подає, може бути різноманітним. Так, сам ролик, який подає, також виконується з двох основних деталей - шестерня з внутрішнім зачепленням і жорстко пов'язаний з нею знімний обід з відповідною для подачі електродного дроту поверхнею.

Можливе осьове зміщення подавального ролика може бути обмежене декількома технічними рішеннями. Найпростіше з них – обмежувальні шайби. Інше – виконання шестерні зчеплення з виступами й западинами, що забезпечує самоустановку і самофіксацію від осьового зміщення подавального ролика.

Особливо слід відзначити розглянуте технічне рішення як найбільш ефективний вузол для механізмів імпульсної, переривчастої і модульованої подачі, де виникають значні прискорення в імпульсному русі й потрібна при цьому надійна передача тягових зусиль від ролика, який подає, до електродного дроту.

У процесі експериментальних робіт із вільними подавальними роликами було виготовлено і випробувано кілька варіантів їх конструкцій. Один із варіантів пари приводного і притискного роликів із внутрішнім зубчастим зачепленням і діаметрами відповідно $D_{р.прив}$ = 24 мм, $D_{р.під}$ = 78 мм був встановлений у модифікованому напівавтоматі ПШ107В для подачі порошкових і алюмінієвих дротів з певним цілеспрямованим профілюванням канавок на елементі ролика. При дослідній експлуатації такої конструкції ролики відпрацювали понад 240 годин із забезпеченням високої надійності подачі.

Розгляд вищенаведеної конструкції механізму подачі дозволяє зробити такі висновки:

1. Тягові зусилля, довговічність, втрати в роликовому механізмі подачі, крім інших конструктивних параметрів, істотно залежать від діаметра подавального ролика. При підвищенні діаметра подає ролика тягові характеристики й термін його служби зростає, а втрати знижуються.

2. Запропонований новий варіант конструкції подавального ролика з вільний установкою на приводній його частині і взаємодіє з нею за допомогою зубчастого зачеплення дозволяє забезпечити інваріантність швидкості подачі електродного дроту від діаметра зазначеного ролика.

Нова конструкція подавального ролика з вільною установкою визначає нові методи вибору і розрахунку роликових редукторних механізмів подачі, де необхідно враховувати лише параметри приводної частини ролика.

Слід зазначити, що явище деформації електродного дроту супроводжується певними витратами енергії, які можна віднести до втрат на гістерезис. Ці втрати призводять до необхідності збільшувати потужність приводного електродвигуна пропорційно вираженню

$$Tp = P\left(\frac{f_1 d + 2f_2}{D_{p.np}}\right) + \frac{2f_2}{D_{p.под}} k_1 k_2 , \qquad (4.15)$$

де T_{∂} – втрати в роликовому вузлі подачі; $D_{p.под}$ – діаметр притискного ролика; f_1 – коефіцієнт тертя в підшипнику притискного ролика; d – середній діаметр підшипника; f_2 – коефіцієнт тертя кочення подавального ролика по електродному дроту; k_1 - коефіцієнт, що враховує тип роликів; k_2 до 2 – коефіцієнт, що враховує точність виготовлення роликів.

Аналізуючи вираз (4.15) можна зробити висновок, що втрати в роликовому вузлі подачі також залежать від діаметра роликів, причому зі збільшенням діаметра, наприклад, ролик, який подає, ці втрати знижуються

При імпульсній подачі рушіями – роликами необхідно врахувати як зниження опору руху електродного дроту в напрямному каналі (див. вище), так і деякі зміни в умовах роботи пари притискний та ролик, який подає, та їх конструювання відрізняється особливим підходом. Так, якщо при безперервній подачі в зоні контакту ролика з електродним дротом створюється зусилля зчеплення, що дорівнює опору подачі або перевершує його і забезпечується зусиллям стиснення роликів, то для механізмів з імпульсною подачею необхідно враховувати динамічні явища в зоні контакту, результатом яких є можливе часткове прослизання дроту щодо подавального ролика при прискоренні в імпульсі. Уникнути цього можна або шляхом виконання насічки по канавці ролика, що веде до утворення відповідних насічок на дроті і, як наслідок, до прискореного зношування каналу і струмопідведення, або до збільшення зусилля стиску до певної величини, яка може бути встановлена експериментально. Наприклад, величина такого зусилля при імпульсній подачі для дроту Св-08Г2С діаметром 1,2 мм і використанні як подавальний ролик –

ролика з гладкою канавкою, а як притискний – гладкий ролик, представлена на графіку залежності $F_n = f(F_{ст})$, F_n, $F_{ст}$ – зусилля проштовхування дроту та стиснення роликів з дротом (рис. 4.18).

З аналізу зазначеної залежності для імпульсного механізму подачі величина зусилля стиснення $F_{ст.\,імп}$ уточнюється виразом

$$F_{ст.\,імп} \geq (2...2{,}5)F_{ст.\,зв.}.$$

Таким чином, з огляду на раніше розглянутий матеріал можна здійснити вибір приводного електродвигуна по потужності практично для всіх типів і видів механізмів подачі електродного дроту напівавтоматів різного призначення.

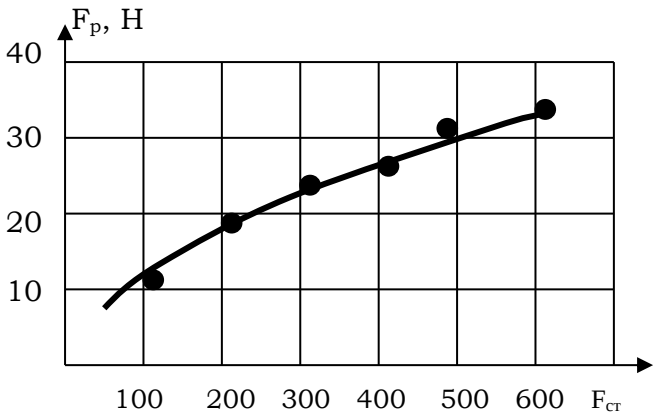


Рис. 4.18. Експериментальна залежність зусилля проштовхування роликом електродного дроту від його притискання при імпульсній подачі

З наведених вище визначень можна зробити такі узагальнені висновки розробників, конструкторів, виробників і споживачів механізованого дугового устаткування.

1. Імпульсна подача електродного дроту істотно впливає на вибір потужності приводних електродвигунів, а параметри подачі, як і тип застосовуваного перетворювача руху дроту, повинні обов'язково враховуватися при визначенні потужності та перевантажувальної здатності згаданих електродвигунів. Зниження опору в гнучкому напрямному каналі (особливо при довгих напрямних каналах) у разі імпульсної подачі не завжди призводить до зменшення потужності приводного електродвигуна, внаслідок необхідності її збільшувати саме через пульсуючі навантаження на його вал.

2. Вимоги підвищення значень зусиль притиску роликів до електродного дроту, що подається імпульсами, в механізмах з КХП призводять до необхідності компенсації зайвих поза осьових навантажень на вихідні вузла механізмів, реалізація яких можливо, наприклад, з вищезгаданого замикання цих зусиль на корпусних елементах. В іншому випадку можливе збільшення потужності приводного електродвигуна.

Планетарні механізми подачі. Планетарні механізми подачі є досить поширеним типом безредукторного механізму переміщення електродного дроту і до теперішнього часу застосовується, в основному в обладнанні, для напівавтоматичного зварювання, а також у спеціальному обладнанні. Ці системи подачі є інноваційними й постійно вдосконалюються, тому що мають певні цінні властивості.

Основу планетарного механізму подачі електродного дроту складають профільовані ролики, осі яких повернені симетрично щодо осі подачі електродного дроту на кут *α*, отже, визначення сил, що діють на дріт при його обкатуванні роликами, а також розрахунок оптимальних їхніх розмірів і є основним завданням під час конструювання такого типу механізму подачі [11].

Як приклад можливих конструктивних реалізацій планетарних механізмів подачі електродного дроту на рис. 4.19 наведено кілька розробок таких механізмів конструкцій. Відмінність цих механізмів один від одного полягає переважно у вирішенні задачі забезпечення притиску роликів до електродного дроту з регульованим зусиллям.

На рис. 4.19 схематично представлений механізм подачі, розроблений у Болгарії. У ньому притиск подавальних роликів *1* і *2* здійснюється за допомогою конічної деталі *3*, встановленої на валу електродвигуна *4* і впливає на осі зазначених роликів. На рис. 4.19 дано механізм ТД – 100 розробки ІЕС ім. Є. О. Патона, у якому ролики *1* і *2* зі своїми осями встановлені в повзунах *3, 4*, що переміщаються по клиноподібним напрямним, чим і забезпечується притиск роликів до дроту. За видом цих напрямних механізм отримав назву «клиноплан». Ще один вид планетарного механізму подачі розроблений в ІЕЗ ім. Є. О. Патона представлено на рис. 4.19 і відрізняється від попередніх тим, що його ролики *1* і *2* мають можливість переміщатися на своїх осях *3, 4* для притискання до електродного дроту. Регулювання зусилля притиску здійснюється через пружний елемент - пружину гайками 5, 6. Механізм є самозаклинювальним, тобто зі зростанням опору подачі електродного дроту зростає зусилля притиску роликів до дроту. На рис. 4.19, *г* дано планетарний механізм подачі електродного дроту (окремо і при встановленні на валу приводного електродвигуна), у якому робочі поверхні роликів, що подають, є внутрішніми поверхнями кілець *1* і *2*. У такому механізмі зусилля притискання роликів до електродного дроту доповнюється відцентровим тиском роликів. Складність такого механізму у виготовленні роликів. Цим не вичерпуються можливі конструкції планетарних механізмів подачі та кращі рішення в цьому напрямі ще попереду.

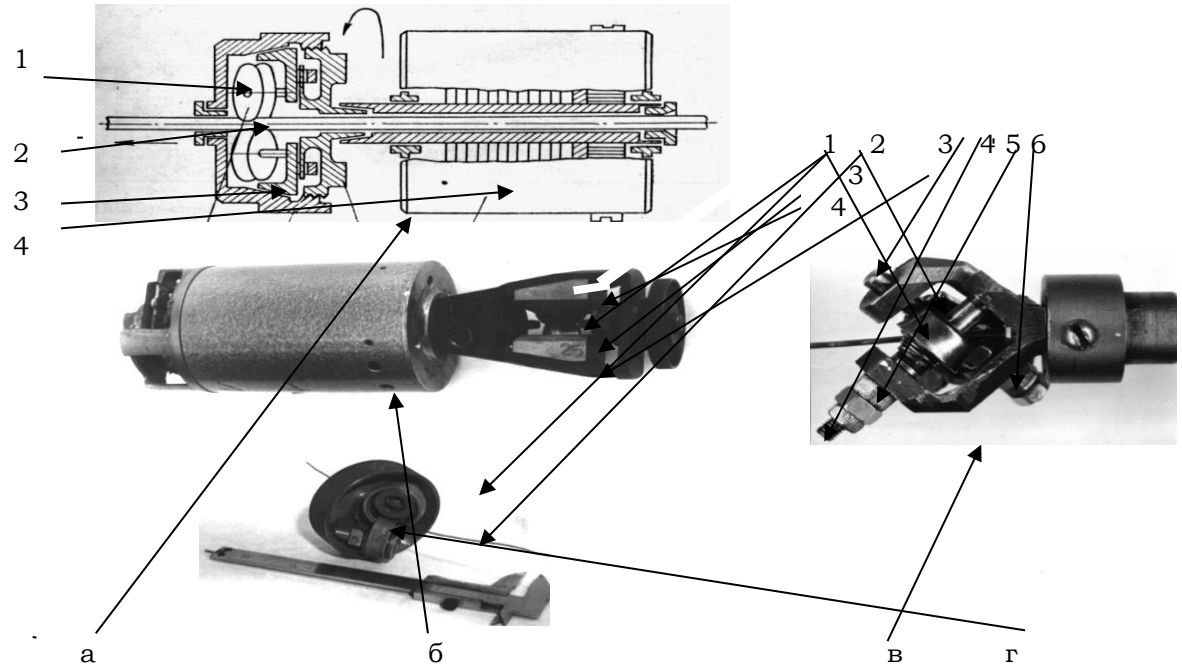


Рис. 4.19. Варіанти конструкцій планетарних механізмів подачі електродного дроту

Для більш наглядного представлення зони взаємодії електродного дроту з роликами планетарного механізму подачі на рис. 4.20 наведена така зона.

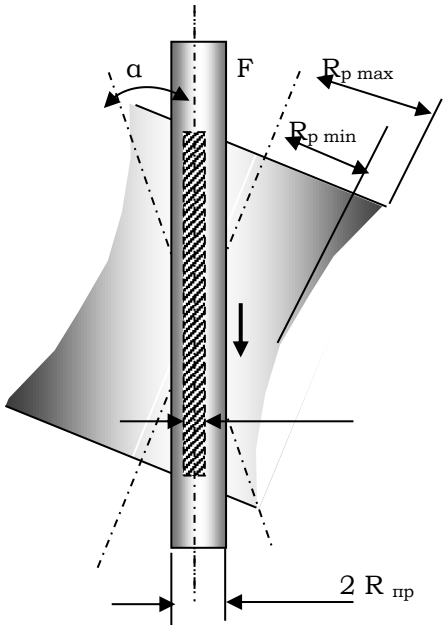


Рис. 4.20. Взаємодія електродного дроту з планетарним подавальним роликом

Планетарний механізм подачі досить простий у технічному виконанні, але потребує спеціальної підготовки вала електродвигуна, на який цей механізм встановлюється. Вал просвердлюється на діаметр, який дозволяє вільно проходити електродному дроту.

Планетарний механізм подачі має кілька важливих впливів на подачу дроту:

1) забезпечує зниження зусиль спротиву руху електродного дроту по каналу шлангового тримача внаслідок крутильних коливань дроту при його взаємодії з роликами;

2) можливість застосування електродвигунів меншої потужності і зменшення масогабаритних показників усього механізму подачі;

3) вирівнювання (правка) електродного дроту;

4) можливість застосування планетарних механізмів у системах «тягни – штовхай» та в системах із багатьма проміжковими механізмами подачі, які часто застосовують для подачі дроту на далекі відстані (до 20 м). Такі системи часто використовують при будівництві та ремонті суден та кораблів (роботи в трюмах).

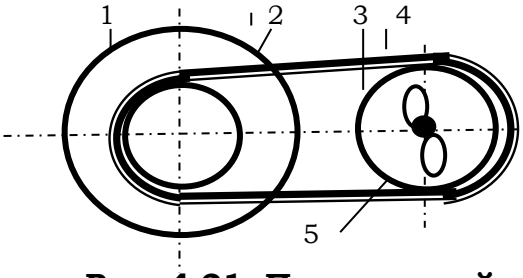


Рис. 4.21. Планетарний механізм подачі з використанням гнучкого елемента:
1 – електродвигун; 2 – шків на валу електродвигуна; 3 – шків планетарного механізму; 4 – гнучкий елемент - пасік; 5 – планетарний механізм

Треба зазначити, що є певні труднощі при застосуванні планетарних механізмів для подачі порошкових електродних дротів через їхні конструктивні особливості.

Для того, щоб уникнути цієї досить складної технологічної операції планетарний механізм мають у своєму розпорядженні збоку електродвигуна, забезпечивши будь-яким способом передачу на механізм крутного моменту. Зазвичай, така передача здійснюється гнучким елементом зі шківа на шків, як це показано схематично на рис. 4.21.

Автор розробки планетарного механізму подачі вказує на деякі напрямки розвитку цього механізму в роботі [12].

Література до розділу 4

1. Лебедев В. А. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, В. В. Смолярко // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 31-37.

2. Лебедев В. А. Новые механизмы для импульсной подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев, В. Ф. Мошкин, В. Г. Пичак // Автоматическая сварка. – 1996. – № 5. – С. 39-45.

3. Лебедев В. А. Современные механизмы подачи электродной проволоки в аппаратах для механизированной сварки, наплавки и резки / В. А. Лебедев, С. И. Притула // Автоматическая сварка. – 2006. – № 04. – С. 53-56.

4. Воропай Н. М. Электромагнитные механизмы импульсной подачи сварочной проволоки / Н. М. Воропай, О. Н. Савельев, С. С. Семергеев // Автоматическая сварка. – 1980. – № 1. – С. 46-49.

5. Устройство для импульсной подачи присадочной проволоки при аргонодуговой сварке / Н. М. Воропай, В. Н. Бучинский, Л. В. Котон, О.В. Лебедев // Автоматическая сварка. – 1989. – № 1. – С. 66.

6. Лебедев В. А. Захваты для импульсной подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев, В. П. Никитенко //Автомат. сварка. – 1984. – № 10. – С. 52-59.

7. Лебедев В. А. Влияние гибкого направляющего канала полуавтоматов для сварки и наплавки на параметры импульсной подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев //Автомат. Сварка. – 1999. – № 2. – С. 45-49.

8. Лебедев В. А. Механизмы импульсной подачи электродной проволоки с регулированием параметров импульсов / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, В. Б. Смолярко //Автомат. сварка. – 2001. – № 5. – С. 31-13.

9. Роликовые устройства для подачи проволоки в аппаратах дуговой и шлаковой сварки / М. Г. Бельфор, П. В Ливинский, В. Е. Патон и др. // Автомат сварка. – 1971. – № 12. – С. 29-35.

10. Лебедев В. А. Новый подход к конструированию механизма подачи электродных проволок / В. А. Лебедев, В. Г. Пичак //Автомат. сварка. – 2000. – № 4. – С. 35-38.

11. Лебедев В. А. Расчёт планетарных механизмов для подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев // Автомат сварка. – 1986. – № 5. – С. 62-64.

12. Samokovlisky D. A. Development of planetary wire feeder for MIG/MAG welding / D. A. Samokovlisky //Metal construction. – June, 1982. – Pp. 337-339.

РОЗДІЛ 5
Деякі результати виконання унікальних ремонтів зварювання з використанням керованої імпульсної подачі електродного дроту

Застосування механізмів з імпульсною подачею електродного дроту. У цій главі використовуються матеріали, які викладено в роботах [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Через великі службові навантаження, для деяких деталей використовують середньолеговані сталі, найчастіше зі змістом вуглецю понад 0,25 %. У більшості службових інструкцій для зварювання таких матеріалів передбачено попередній та супутній підігрів 200…300 C^0 для запобігання появі гарячих та холодних тріщин у металі шва і навколошовної зони основного металу, а також нижнє положення ванни розплавленого металу.

Запропонований механізм із системою керованої імпульсної подачі електродного дроту на основі КХП в порівнянні з традиційним обладнанням має такі основні переваги:

- зварювання та наплавлення виконуються в усіх просторових положеннях матеріалами, які зазвичай використовуються для нижнього положення;

- застосовуються практично будь-які джерела живлення дуги (з різними зовнішніми вольт-амперними характеристиками й навіть із різними джерелами струму), при матеріалах, рекомендованих тільки для постійного струму зворотної полярності і жорсткої зовнішньої характеристики;

- встановлена потужність джерела живлення дуги зменшується в 1,5…1,8 раза (відповідними зниженнями вартості та витрат на експлуатацію.

Це положення демонструє графік на рис. 5.1, де показано визначений експериментально коефіцієнт наплавлення $K_н$ порошкового електродного дроту типу ПП-АН170М2 діаметром 3,2 мм для різних струмів при його подачі в напівавтоматах;

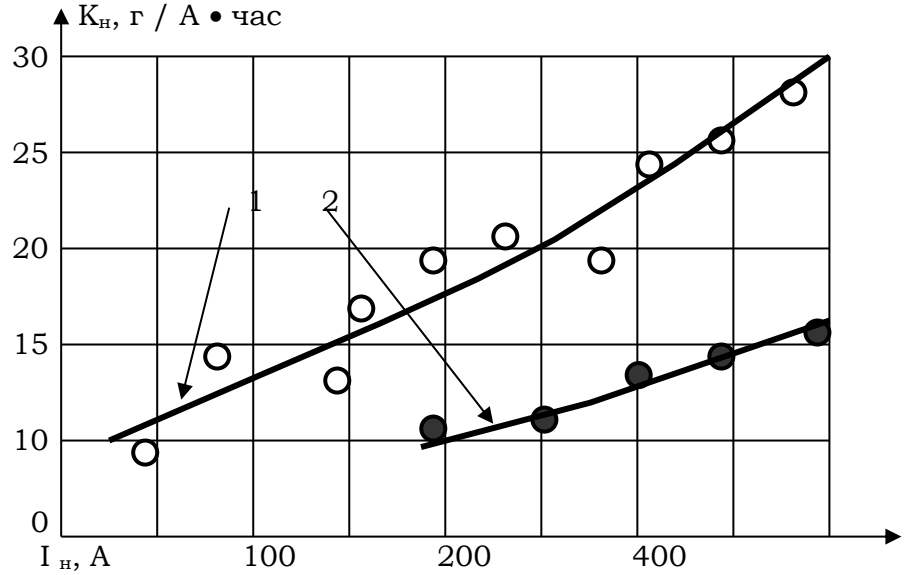


Рис. 5.1. Залежність коефіцієнта наплавлення від величини зварювального струму для напівавтомата ПДГ508 (1) та напівавтомата з КХП (2)

- є економія електроенергії 30…50 % на кілограм наплавленого металу, що ефективно відповідає вимогам ЄС від 2001 р.;

- спрощується навчання та перепідготовка персоналу (операторів-зварників та наплавників);

- суттєво зменшується вага обладнання та силової електротехнічної продукції (зварювальні кабелі, комутуючі вузли та ін.), завдяки чому вага обладнання на один пост зменшується в декілька разів.

Далі наведені деякі приклади використання напівавтоматів із механізмом імпульсної подачі з КХП при виконанні певних складних ремонтів великогабаритного обладнання безпосередньо на об'єктах на підприємствах різних галузей України.

Вигляд окремого механізму подачі з відповідним удосконаленням для успішного застосування представлений на рис. 5.2.

Відновлення «корита» дифузійного апарата типа Д16.

Дифузійний апарат забезпечує початкову стадію вилучення цукру з подрібненого цукрового буряку і являє собою металічну закриту похилу споруду завширшки близько 12 м і завдовжки 30 м. Нижня частина апарата підігрівається паровою рубашкою, тому швидко зношується і повинна бути замінена шляхом вирізання пошкодженої частини і проварювання нових листів та наплавлення.

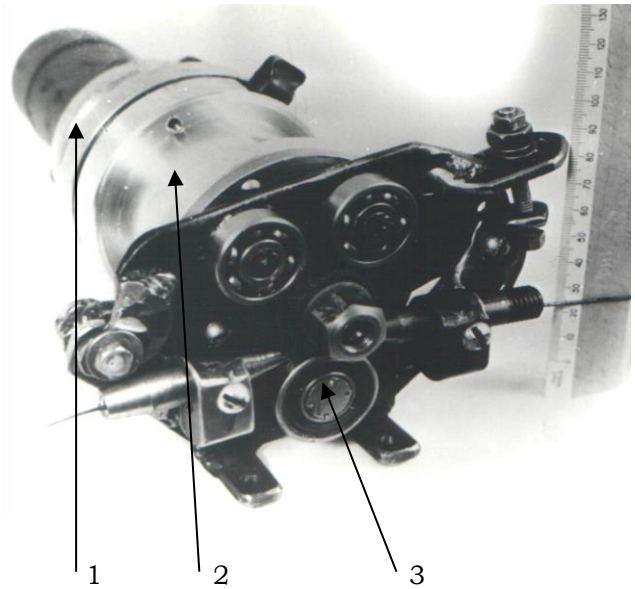


Рис. 5.2. Варіант конструкції механізму імпульсної подачі з КВП:
1- приводний електродвигун;
2-КВП; 3-пристрій притиску
з розвантаженням вихідного вала

Для порівняння, на ремонт (період перед запуском у роботу) було організовано та задіяно дві бригади – одна з двома напівавтоматами типу А547У (запас електродного дроту СВ08Г2С діаметром 1,2 мм – 120 кг), друга – два оператори з напівавтоматом ПШ107І, оснащеним механізмом основі КХП.

Унаслідок роботи при однаково витраченому часі бригада з напівавтоматом А547У виконала наплавлення 7,8 м^2 днища з мінімальною товщиною до наплавлення 2,8…3,2 мм. Друга бригада виконала наплавлення 40,2 м^2 з мінімальною товщиною металу до наплавлення в місцях близьких до ребер жорсткості 1,5…2,0 мм. При цьому другій бригаді в багатьох місцях доводилося наплавляти на 1-2 шари більше, ніж першій. Таким чином, очевидно, що друга бригада з імпульсним механізмом подачі на основі КХП наплавила майже вчетверо більше металу.

Приладовий струм на джерелах живлення дуги типу ВДУ504 і ВДУ506, якими комплектувалися напівавтомати А547У і ПШ107І, в обох випадках становив 180…200 А. При спробі інтенсифікувати роботу напівавтоматом А547У з використанням електродного дроту діаметром 1,2 мм відзначалися пропали листів завтовшки менше ніж 2,5…2,8 мм.

Після проведення робіт з відновлення наплавлення корита дифузійного апарату з керованою імпульсною подачею електродного дроту він повністю готовий до експлуатації. При проведенні наплавних робіт напівавтоматом А547У потрібні додаткові витрати на приведення наплавленої поверхні у працездатний стан (видалення приварених бризок і недогарків електродного дроту).

Відновлення зубів зірочок транспортної системи дифузійного апарату.

На кожному дифузійному апараті типу Д-12 працюють 4 зірочки діаметром 1900 мм масою 4,5 тонни. Дуже важливим є тимчасовий фактор, тому що для того щоб замінити зірочку, необхідно 7…8 діб. Термін служби зірочки 5-7 сезонів. Зважаючи на нерівномірність зносу й велику вартість робіт, на підприємстві обмежуються одноразовою заміною двох зірочок – по одній на кожному трубовалу. Є спроби відновлення зірочок методами механізованого наплавлення, але ця робота успішна лише у випадках демонтажу зірочки та створення комплексу умов для виконання такої операції, у тому числі зі створенням елементів обмеження розтікання розплавленого металу рідкої ванни.

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона розроблено технологію відновлення зубів без демонтажу зірочки. Технологія ґрунтується на використанні керованої імпульсної подачі електродного дроту із застосуванням напівавтоматів типу ПШ107І. У цьому випадку прецизійне наплавлення забезпечує рівноважний керований стан ванни рідкого металу. Досвід застосування такої технології дозволяє визначити час відновлення однієї зірочки за 4-5 діб бригадою з 4-5 осіб.

Відновлення корпусів дробарок.

На Північному гірничозбагачувальному комбінаті (ПівнГЗК) у м. Кривий Ріг проведено реставрацію двох корпусів дробарок масою по 48 тонн. На роботу з наплавлення витрачено по 0,6 тонни самозахисних порошкових електродних дротів типу ПП-АН7 та ПП-АН3 діаметрами 2,8 та 3,0 мм. Просторове положення швів – від нижнього до напівстельового, товщина шару від 2 до 25 мм. Таке наплавлення раніше неможливо було отримати й тільки використовуючи напівавтомати ПШ107І з механізмами імпульсної подачі типу ЛМ-50 і ЛМ-65, що забезпечують різні величини кроків подачі електродного дроту при однаковій інтегральній швидкості виявилося можливим наплавлення в різних просторових положеннях. Приладовий струм джерела живлення дуги типу ВС-632 становив 160…180 А, тобто був істотно нижчим за звичайно рекомендований для електродних дротів цього типу при постійній швидкості їх подачі. можна відзначити, що робота з наплавлення проводилася безперервно цілодобово змінами по 12 годин з трьома операторами на напівавтомат. При цьому забезпечувалася продуктивність наплавлення 50…60 кг електродного дроту за зміну. Механізм імпульсної подачі не виявив жодних відхилень у його роботі, тобто був високонадійний.

Відновлення зубів великомодульних шестерень.

На Південному гірничозбагачувальному комбінаті (ПівдГЗК) у м. Кривий Ріг були відновлені зубці вал-шестерень з параметрами $z = 17$ і $z = 19$; $m = 35$ мм; $\ell = 480$ мм, де z – число зубів; m – модуль; ℓ – довжина зуба. Матеріал шестерні – сталь 40ХГН. Основне завдання при наплавленні таких зубів - забезпечення

таких відновлених геометричних параметрів зубів, що подальша їх механообробка була мінімальною або не була потрібна взагалі. За розробленою технологією зношена сторона зуба наплавлялася назад ступінчастим методом з імпульсною подачею електродного дроту. При цьому досягалося утворення валика шириною 25...30 мм і валики прямували від ніжки до вершини зуба. У цьому випадку знадобилася досить точне налаштування механізму імпульсної подачі для забезпечення дозованого перенесення електродного металу в рідку ванну. Найбільш ефективним при використанні самозахисного порошкового електродного дроту діаметром 3,2 мм виявилося налаштування механізму з кроком подачі 2,2. Регулювання механізму досягнуто така подача, що в імпульсі руху електродного дроту відбувається частковий реверс (9,3 %) її швидкості. Саме реверсивний рух електродного дроту створює додаткове прискорення, що забезпечує кероване перенесення електродного металу в рідку ванну.

При реалізації цієї технології використовували напівавтомат ПШ107 з імпульсним механізмом подачі типу ЛМ-50 з модулем зубів m = 1,5. При цьому дуже важливим виявилося комплектування напівавтомата короткими шланговими власниками, як це показано в одній з моделей механізму імпульсної подачі на основі КВП на рис. 5.3. У такому компонуванні форма імпульсу подачі, генерована механізмом, практично не змінює своєї форми й дуже ефективна для управління перенесенням електродного металу. Самозахисний порошковий електродний дріт, що застосовується, мав такі параметри: межа міцності 85...90 кг/мм2; відносне подовження 20...25 %; ударна в'язкість щонайменше 90 Дж/см2 при +200 С. Після наплавлення механообробка не проводилася, крім зачистки абразивним колом випадкових дефектів. Через 100 мотогодин роботи була проведена оцінка зносу наплавлених зубів і вона виявилася в 3,5 раза нижча, ніж у ненаплавлених зубів.

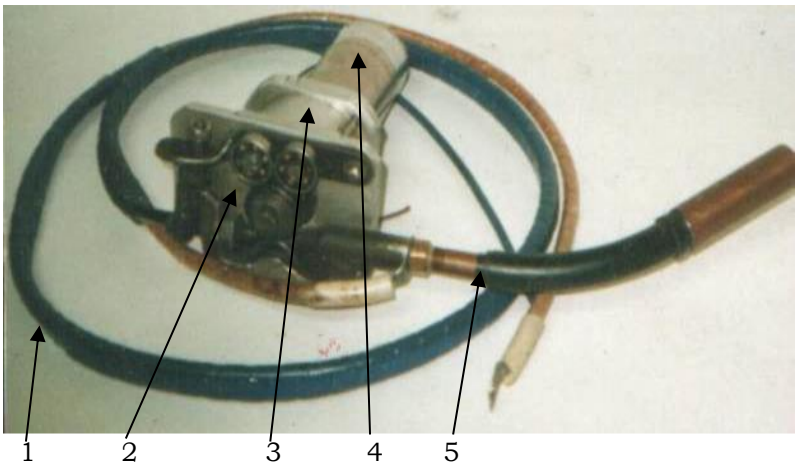


Рис. 5.3. Механізм імпульсної подачі на основі КВП з трактами переміщення електродного дроту:
1 – гнучкий напрямний канал; 2 – притискний вузол; 3- механізм з КХП; 4 – привідний електродвигун типу ДПР-72; 5 – шланговий тримач

До прикладів застосування напівавтоматів з КХП можна віднести наплавлення равликів земснарядів, вузлів шахтного обладнання, деталей потужної землерийної техніки та ін.

Вимагає деякого пояснення питання, пов'язані з досить низькими значеннями струмів приладів і потужностей, супутніх процесам зварювання і наплавлення з використанням регульованої імпульсної подачі електродного дроту. Ці пояснення, засновані зокрема на практичній роботі, дуже важливі й мають такий зміст:

1. Відомо, що в середньому на плавлення електродного дроту дугою витрачається 30 % потужності джерела зварювального струму, решта потужності витрачається на випромінювання та нагрівання провідників, у тому числі дроту. Відомо також, що зі зростанням струму продуктивність плавлення електродного дроту зростає (див. рис. 1), при цьому, наприклад, для порошкового електродного дроту ця залежність має непропорційно зростаючий характер. Це практично 300…450 (500) А. При імпульсній подачі за змінами в імпульсі руху електродного дроту буде змінюватися і зварювальний струм у межах, що обумовлений параметрами імпульсу, звідси випливає, що при відносно невеликих значеннях середнього (приладового) струму процесу – коефіцієнт наплавлення істотно вищий за те значення, яке слід очікувати при середньому значенні струму.

2. Істотне значення для підвищення продуктивності при дугових процесах зварювання та наплавлення має виліт електродного дроту. Особливо велике значення величина вильоту набуває при наплавленні порошковими самозахисними електродними дротами, де виліт для дроту діаметрами 2,5…3,0 мм зазвичай становить 50…70 мм, а в багатьох випадках для досвідчених операторів може бути збільшений до 150…180 мм. Таке збільшення вильоту, як показала практика, дає змогу знизити струм процесу на 30…40 % без зниження якості наплавленого шару. При цьому також відзначається зниження нагріву зварювальних кабелів. Підвищення ефективності процесу у разі застосування регульованої імпульсної подачі електродного дроту пояснюється додатковим нагріванням вильоту джоулевим теплом q, величина якого визначається таким виразом

$$q = 0{,}24 I^2 R t_i \,, \qquad (5.1)$$

де I – струм дугового процесу; R – електричний опір електродного дроту у вильоті; t_i – час нагрівання.

Оскільки основне нагрівання вильоту відбувається в режимі відсутності плавлення електродного дроту, то очевидно, що при перервах між імпульсами час $t_i \geq t_c$, *де* t_c *– час відсутності* горіння дуги при звичайній подачі електродного дроту. При цьому очевидно, що при імпульсній подачі відповідно до (5.1) нагрівання вильоту буде більшим, а отже, потрібні менші енергетичні витрати на плавлення електродного дроту.

3. Короткий час існування зменшеної за розмірами ванни рідкого металу при процесах з імпульсною подачею електродного дроту і прискорений рух крапель за рахунок інерції в імпульсному русі пояснюють, на нашу думку, також зниження чутливості наплавленого шару і звареного валика до пористості при будь-якій природі пороутворюючого газу.

Відновлення спеціального трубопровідного транспорту механізованим дуговим наплавленням з імпульсною подачею порошкового електродного дроту.

Прикладом раціонального застосування дугових механізованих процесів з імпульсною подачею електродного дроту є складне високоякісне реставраційне наплавлення такого важкого обладнання, як трубопроводи прохідницького

щита фірми WURTH, виконана за технологією та за участю фахівців ІЕС ім. Є. О. Патона у Києві. Щит призначений для прокладання тунелю метро діаметром 6,0 м, а шнековий транспортер із трьох секцій товстостінної труби завдовжки 4,0 м і внутрішнім діаметром близько 730 мм, відводить ґрунт, знятий ріжучою головкою у допоміжний транспортний засіб – вагонетки.

На фотографіях рис. 5.4 показано робоче положення труби та виконані її поверхні за допомогою спеціального комплексу механізованого дугового обладнання на валики широкошарового наплавлення, що відновлює.

а б

Рис. 5.4. Труба шнекового транспортера в робочому положенні (а). Внутрішня поверхня труби з нанесеними валиками широкошарової наплавлення, що відновлює, у робочому положенні (без демонтажу) (б)

Був обраний спосіб наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту, який дозволяє суттєво зменшити об'єм зварювальної ванни та забезпечити спрямоване вздовж осі електрода перенесення крапель. Технологічність способу наплавлення з керованою імпульсною подачею електродного дроту забезпечує якісне наплавлення, що відновлює, на внутрішню поверхню труби в різних її положеннях.

Відомо, що з-поміж компонентів шихти 6 і більше з високим коефіцієнтом заповнення (понад 35…36 %) неможливо отримати якісні порошкові дроти діаметром менш як 2,6…2,8 мм. Також відомо, що при постійній швидкості подачі наплавлення на вертикальній площині з необхідними характеристиками металу наплавленого можна здійснити порошковими електродними дроти діаметрами не більше ніж 2,0…2,2 мм. Такий ефект можливий унаслідок того, що при наплавленні з імпульсною подачею електродного дроту навіть діаметром 3,2 мм можна отримати малу ванну розплавленого металу, яка еквівалентна ванні, яка отримується при використанні дроту діаметром близько 2,0 мм. Це разом з керованим примусовим перенесенням електродного металу і забезпечує успіх використання наплавлення в положеннях, відмінних від нижнього.

У цей час, завдяки підвищенню коефіцієнта розплавлення електродного дроту при його імпульсній подачі, продуктивність наплавлення на малих значеннях струму процесу виявляється навіть трохи вище, ніж при наплавленні з постійної швидкості подачі.

На рис. 5.5 показаний комплекс напівавтомата для наплавлення, що відновлює трубопровідного транспорту. Комплекс високомобільнний і ця мобільність забезпечується малими габаритами системи імпульсної подачі електродного дроту та використанням інверторного джерела зварювального струму.

Рис. 5.5. Мобільний комплекс напівавтомата для відновлювального та зміцнювального наплавлення в місцях зі стисненими умовами роботи

Крім того, що розглянута технологія та напівавтомат з імпульсною подачею електродного дроту для її реалізації, дозволяють виконувати роботи з відновлення працездатності обладнання у вкрай несприятливих умовах, при цьому важливим і дуже актуальним є забезпечення високих показників енерго- та ресурсозбереження. Так, наприклад, при наплавленні порошковими електродними дротам типу ПП-АН-125 ПП-АН-170 на струмах близько 180...200 А з частотою імпульсів 30...40 Гц економія електроенергії в порівнянні з наплавленням при звичайній подачі може досягати 30...45 %. До переваг цього способу наплавлення слід віднести малі втрати металу на чад і розбризкування.

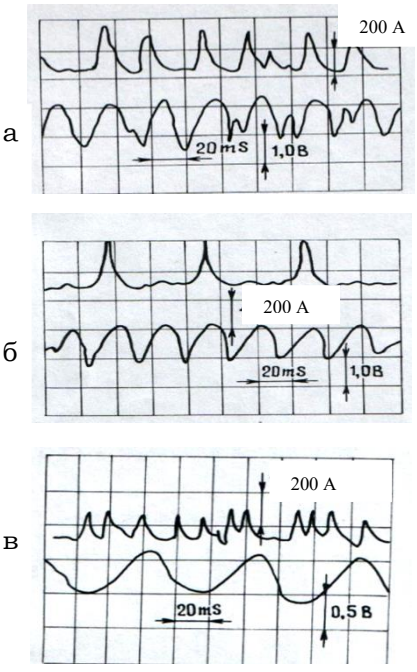


Рис.5.6. Осцилограми наплавлення з різними характеристиками імпульсної подачі дроту

На осцилограмах рис. 5.6 показано процеси дугового наплавлення. Верхні частини осцилограм – струми наплавлення, а нижні швидкості імпульсної подачі. Осцилограма рис. 5.6, *а* відповідає процесу з дрібнокрапельним перенесенням електродного металу, де кожен імпульс подачі відповідає одному циклу перенесення електродного металу. Осцилограма рис. 5.6, *б* належить до процесу з короткими замиканнями дугового проміжку з великокапельним перенесенням електродного металу, який зазвичай не характерний для процесів дугового наплавлення порошковими електродними дротиками підвищених діаметрів.

Осцилограма рис. 5.6, *в* описує процес наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту з невеликими значеннями прискорень в імпульсі. Такий процес упорядковує дрібнокрапельне перенесення електродного металу стабілізує наплавлення, але повного керування перенесенням не забезпечує. Розглянуті технологічні можливості регульованої імпульсної подачі дозволяють вибрати її конкретні параметри для вирішення різних завдань зварювання та наплавлення.

На фото рис. 5.7 показані зразки зовнішніх видів та макрошліфів валиків, наплавлених на фрагмент товстостінної труби шнека, отриманих при різних параметрах імпульсної подачі. Найкращий результат як із зовнішнього формування валика, так і по мінімуму переплавлення основного металу досягається у разі, коли використано режим наплавлення, що відповідає осцилограмі рис. 5.7, *а*.

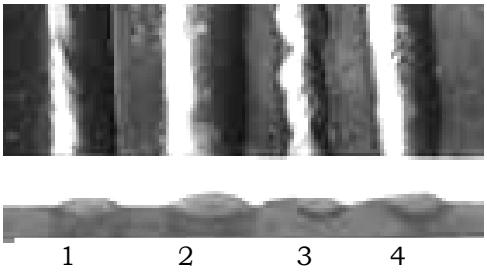


Рис. 5.7. Зразки наплавлених валиків металу при різних характеристиках дугового процесу з імпульсною подачею електродного дроту

Дугове точкове зварювання (ДТЗ) з використанням імпульсної подачі електродного дроту [7], [8]. Процес ДТЗ є ефективним способом з'єднання листових конструкцій з елементами рами при обшивці, наприклад, вагонів, малих суден, інших транспортних засобів та інших об'єктів подібного типу.

При ДТЗ в нижньому положенні здебільшого отримати якісне точкове з'єднання не викликає особливих труднощів. При зварюванні на вертикалі точкове з’єднання виконати набагато складніше, зокрема якщо зварюються листи завтовшки понад 1,0 мм.

Основні складності й дефекти, що виникають при виконанні точкового з’єднання, полягають у наступному:

- нестабільність повторення форми точкового з'єднання;
- жолоблення обшивального листа;
- наплив і навіть стікання металу (рис. 5.8);

Рис. 5.8. Дугова точка на вертикальній площині зі стіканням розплавленого металу та неоднаковим формуванням точкового з'єднання

- відсутність достатнього для забезпечення характеристик міцності проплавлення металу основи.

Причинами незадовільної якості точкового з'єднання, виконаного з використанням дугового процесу, згідно з виконаними дослідженнями, є:

- нестабільність параметрів процесу зварювання, що виникає внаслідок низки природних причин (зміни реального вильоту електродного дроту, зміни умов струмопередачі у струмопідвідному наконечнику), зокрема це стосується напруги на дузі;

- зміни умов подачі електродного дроту, що призводять до неконтрольованих коливань швидкості подачі, а отже, струму, що впливає на характеристики плавлення;

- нагрів металу від виконання попередніх зварних точкових з'єднань;

- відсутності регулювання тепловкладень у ванну розплавленого, для виконання точки металу.

Виключити основні чинники впливу формування точкового з'єднання можна, використовуючи способи управління переносом електродного металу, зокрема найефективніший – керована імпульсна подача електродного дроту. На рис. 5.9 представлено випробувально-дослідний стенд для відпрацювання режимів зварювання точок на вертикальній площині. Як механізм імпульсної подачі використано нову розробку безредукторного імпульсного механізму подачі на основі вентильного комп'ютеризованого електропривода з широким діапазоном управління параметрами імпульсного руху електродного дроту: крок, частота, шпаруватість, форма, при застосуванні якого до теперішнього часу було вже вирішено завдання з формування зварного з'єднання протяжними швами та енерго-, ресурсозбереження.

Рис. 5.9. Стенд для автоматичного зварювання точками на вертикальній площині з імпульсною подачею електродного дроту

Для роботи використовувалися, що використовуються в транспортному машинобудуванні поєднання товщин металів, що зварюються 1,0+4,0 мм і 2,5+7,0 мм. Зварювання велося дротом Св08Г2С діаметром 1,2 мм на рекомендованих витратах СО2 на режимах:

- для з'єднання 1,0+4,0 мм: напруга зварювання 26…28 В, середнє значення струму зварювання всім досліджених параметрів імпульсної подачі – 160 А;

- для з'єднання 2,5+7,0 мм: напруга зварювання 28…30 В, середнє значення струму зварювання всім досліджених параметрів імпульсної подачі – 200 А;

З наявного досвіду застосування імпульсної подачі електродного дроту використовувалися такі його регульовані параметри: частота, шпаруватість, крок, величина. Досліджувався вплив частот 1…10 Гц; 20 … 30 Гц; 40 та 60 Гц. При цьому експерименти проводилися зі шпаруватістю 0,5 і двома можливостями цієї шпаруватості:

1. 50 % часу імпульс, 40 % – пауза, 10 % – реверс;
2. 50 % часу імпульс, 50 % – пауза.

На осцилограмі рис. 5.10 представлена характерна осцилограма процесу дугового точкового зварювання, що виконується на вертикальній площині з частотою подачі імпульсної 40 Гц і шпаруватістю 0,5. Аналіз осцилограм свідчить про високий рівень стабільності процесу перенесення (один імпульс подачі – одна крапля електродного металу), а отже, про стабільність процесу в цілому.

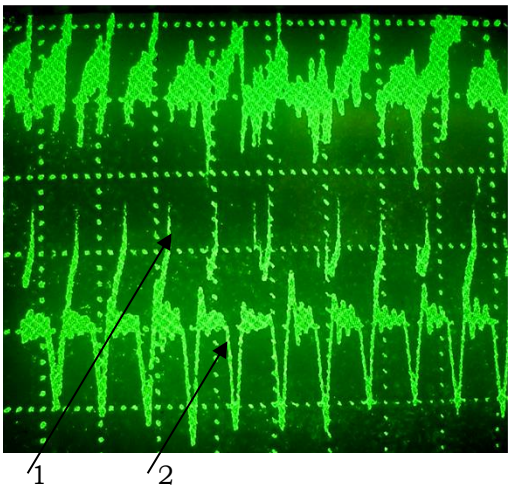


Рис. 5.10. Осцилограми процесу зварювання з частотою імпульсної подачі 40 Гц та шпаруватістю 0,5:
1 – напруга зварювання;
2 – швидкість подачі

На частотах у діапазоні 1-10 Гц отримати стабільний процес із формуванням зварної точки не вдалося – сильне розбризкування та підтікання металу з розплавленої ванни.

На частотах 20-30 Гц процес зварювання більш керований, зварна точка формується, але відбувається досить інтенсивне розбризкування електродного металу та металу ванни.

Рис. 5.11. Ряд точок, отриманих з використанням імпульсної подачі електродного дроту частотою 40 Гц

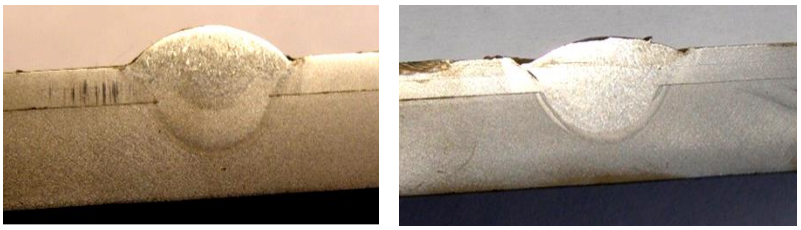
Найбільш якісне формування зварної точки отримано на частотах у діапазоні від 40...60 Гц, а при частоті 60 Гц процес зварювання має найкращі показники з мінімальним (не більше 2...3%) показником розбризкування. Результатом такого алгоритму функціонування механізму керованої імпульсної подачі є ряд точок без підтікання металу, представлений на рис. 5.11. Отримано точки діаметром 12 мм з гарним товарним виглядом, відхиленнями не більше ±0,7 мм та стабільним гарантованим проплавленням основного металу, що забезпечує високі механічні властивості зварного з'єднання (зусилля на зріз, відрив та ін.).

Поясненням незадовільного перебігу процесу зварювання точки на частотах подачі до 20 Гц є не показник частоти як такої, а надмірно великий крок подачі електричного дроту, який неминучий з умов забезпечення заданої інтегральної швидкості подачі, а отже, середній струм дугового процесу, який забезпечує нова розробка використаного сучасного комп'ютеризованого вентильного електропривода.

Слід зазначити, що у процесі роботи фіксувалися рівні прямих витрат електроенергії на ведення процесу зварювання. При цьому ці витрати порівнювалися для процесу з конвенційною подачею електродного дроту при тих самих витратах електродного дроту. Визначено, що при частоті імпульсної подачі 40 Гц і шпаруватості 0,5 пряма економія електроенергії становить 15...20 %, при цьому очевидно, що в цих межах відбувається зниження тепловкладень у ванну розплавленого металу, що для даної роботи є, як зазначалося, актуальним завданням.

Вплив параметрів імпульсної подачі формування зварного з'єднання і проплавлення можна оцінити по мікрошліфах поперечного перерізу зварних точок, порівняно представлених на рис. 5.12.

Експлуатаційні характеристики конструкцій з нікелевмісних сталей при механізованому зварюванні - наплавленні з модифікованою (дозованою) імпульсною подачею електродного дроту [9]. Зварювання нержавіючих, легованих дуплексних сталей унаслідок їх відмінності по теплопровідності повинно проводитися при встановленні параметрів процесу таким чином, щоб домогтися якомога меншого питомого тепловкладення, щоб звести до мінімуму термічні деформації, при цьому напруги, що виникають, можуть бути досить високими, що в поєднанні з робочими навантаженнями на зварний виріб може призвести до корозійного розтріскування конструкції.



1 2

Рис. 5.12. Макрошліфи зварного з'єднання листів 2,5+7,0 мм, отримані при поперечному розрізі точки, отриманої з використанням імпульсної подачі електродного дроту:
1 – частота 60 Гц; скважність 0,5;
2 – частота – 40 Гц; шпаруватість – 0,25

Питоме тепловкладення під час дугового процесу визначається як

$$Q = k\frac{UI}{v} \quad (кДж/мм),$$

де U, I – напруга та струм дугового процесу; v - швидкість переміщення зварювального інструменту; k – коефіцієнт узгодження систем подання величин.

Очевидно, що всі основні фізичні параметри дугового процесу впливають на питоме тепловкладення, а отже, на характеристики зварного шва та навколошовної зони.

Є рекомендації та технологічний досвід зі зварювання нержавіючих, легованих дуплексних сталей, де показано, що у дуговий процес небажано вкладати погонну енергію більше (2,5-3,2) кДж/мм, при цьому зварювання необхідно вести короткою дугою, що певною мірою знижує рівень вигоряння легуючих елементів.

Встановлено [10], що застосування імпульсної подачі електродного дроту з керованими параметрами, а також використання дозованої подачі у варіанті зі зворотним зв'язком по струму дугового процесу і цілеспрямовано встановленими вихідними параметрами процесу забезпечує стабільний перебіг процесу з автоматичним підстроюванням параметрів перенесення електродного металу. Це, у свою чергу, забезпечує рівномірні характеристики проплавлення та зовнішній вигляд шва або наплавленого валика.

Можна вести досить продуктивний процес зварювання-наплавлення із застосуванням систем дозованої подачі, але з меншими тепловкладеннями, ніж це зазвичай відбувається при зварюванні з плавною подачею електродного

дроту. При цьому може бути отримана сприятлива структуризація металу шва з подрібненням його структури, що підвищує міцнісні показники зварного шва або наплавленого валика.

Знижується розбризкування електродного металу, що, в тому числі є наслідком керованого перенесення крапель з певними керованими характеристиками, що також зумовлює рівень вигоряння елементів, що легують.

Вперше виконані порівняльні визначення технологічних характеристик зварних сполук легованої нікелем сталі в обсязі комплексного дослідження при застосуванні імпульсної дозованої подачі електродного дроту.

Додатково можна відзначити, що в деяких випадках застосування імпульсної подачі електродного дроту уникнути дозволяє уникнути необхідності післязварювальної термічної обробки при зварюванні нержавіючих сталей.

Необхідно особливо вказати на суттєве зниження викидів шкідливих аерозолів при дуговому зварюванні - наплавленні з імпульсними алгоритмами руху електродного дроту, яке докладно розглянуто в роботі [11] і це розширює сфери та умови використання цього виду технологічного процесу.

Досліджувалися технологічні особливості та можливість і умови застосування дозованої подачі електродного дроту для зварювання стикових з'єднань легованих сталей на прикладі нікелевмісної сталі А353 9 % Ni для застосування в умовах промислового виробництва.

Можливість отримання задовільних характеристик при зварюванні та наплавленні в більш складних умовах (низькі температури, положення відмінні з горизонтального) представляє науковий та практичний інтерес.

Критерії оцінки дугового процесу з різними видами подачі електродного дроту повинні включати такі показники: продуктивність зварювання, зниження рівня де шви бездефектні (пори, шлакові включення) і зменшення розбризкування, виключення гарячих тріщин, відповідність механічних властивостей зварних з'єднань.

Під час проведення експериментальних досліджень було прийнято:

1) зварне з'єднання: одностороннє стикове, з V-подібною обробкою, відповідно до вимог WPS № FC9N-H-1906;

2) положення зварювання нижнє (1G) та горизонтальне на вертикальній площині (2G). Зварювання виконується на керамічній підкладці;

3) захисний газ CO2, електродний дріт SW-9NiH діаметром Ø1.2 мм. Товщина пластин, що зварюються або наплавляються 20 мм;

4) погонна енергія зварювання – не більше 2.3…3,2 kJ / mm. Міжшарова температура – не більше ніж 150°C. Попередній підігрів відсутній;

5) полярність зварювання та наплавлення зворотна й виробляється в автоматичному режимі.

Управління та регулювання проводиться від універсального блоку подачі електронного дроту, спеціально розробленого на основі великої кількості системних досліджень у ДП “ОКТБ ІЕС ім. Є. О. Патона НАНУ”. Блок забезпечує велику кількість встановлюваних алгоритмів руху електродного дроту. Від незворушеної плавної до імпульсних зі складним режимом руху з частотами 50...60 Гц.

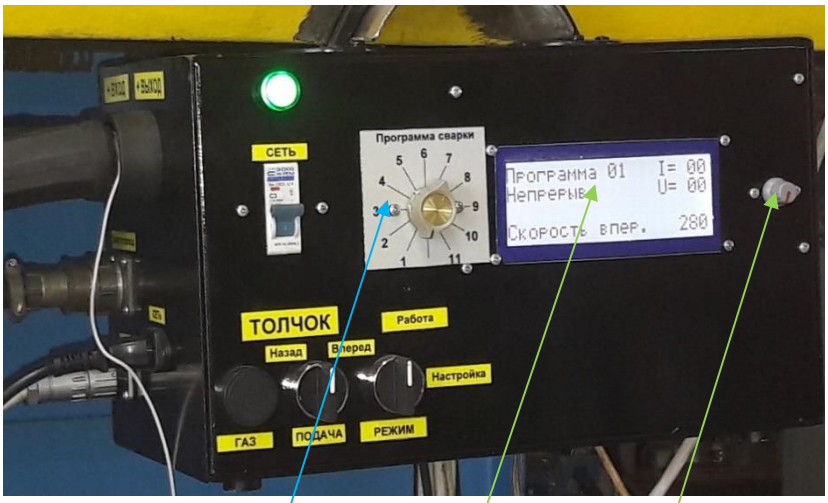


Рис.5.13. Універсальний блок керування подачею електродного дроту:
1 – перемикач вибору та встановлення вибраних способів подачі; 2 – дисплей; 3 – регулятор установки параметрів подачі

Дозована подача електродного дроту є одним із варіантів імпульсної подачі і, по суті, є способом синергетичного управління перенесенням електродного металу. Блок представлений на рис. 5.13 і дозволяє програмно здійснювати практично будь-який алгоритм подачі дроту, а також необхідні по процесу цикли зварювання - наплавлення. Графічний алгоритм імпульсної швидкості подачі дроту, реалізований універсальним блоком, представлений на рис. 5.14. При цьому відпрацювання зворотного зв'язку струмом дугового процесу графічно представлена на рис. 5.15.

Блок дозволяє контролювати, а в разі потреби документувати такі параметри дугового процесу:

- величина напруги $U_{зв}$, В;
- зварювальний струм (певне значення, а також максимальний струм I_{max} і мінімальний I_{min} - для процесу з дозованою подачею електродного дроту):
- тимчасові параметри імпульсу: tв, коли дріт рухається вперед, до зварювальної ванни, під дією механізму подачі, $t_п$ - час паузи, необхідний для плавлення електрода і $t_н$ - час руху дроту назад, від ванни.

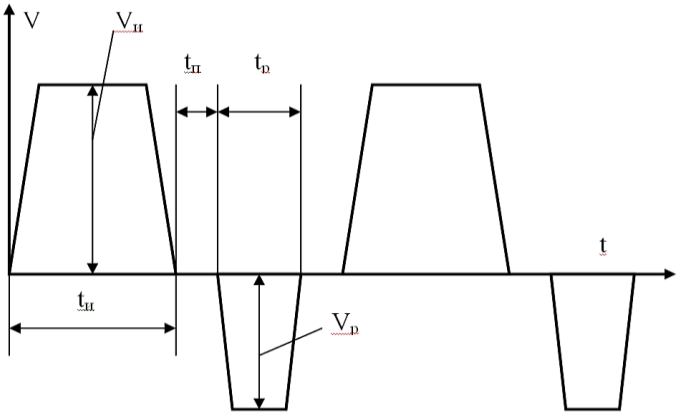


Рис. 5.14. Графічний алгоритм імпульсної швидкості подачі дроту V_i, $V_р$ - швидкості руху в імпульсі та реверсі; t_i, $t_п$, $t_р$ – часи руху в імпульсі, паузі та реверсі

Окремо має бути визначено (задано) апаратно: швидкість подачі зварювального дроту V_e; виліт електрода.

У процесі комплексного дослідження впливу способу зварювання з імпульсною подачею електродного дроту виконувались:

1) вивчення показників імпульсів;
2) оцінка величини розбризкування;
3) дослідження величини роботи удару для зварного шва і лінії сплавлення при температурі низької температури Т = - 196°С;
4) металографічні дослідження зварної сполуки із вимірами мікротвердості;.
5) рентгенографічний контроль зварних з'єднань.

Дослідження виконувались для трьох базових режимів (способи зварювання), які може реалізувати універсальний блок керування подачею електродного дроту:

1) конвенційна подача електродного дроту з ручним встановленням швидкості подачі та напруги джерела зварювального струму;

2) імпульсна подача електродного дроту з ручним встановленням будь-якого з параметрів імпульсного руху як це показано у вигляді загального алгоритму на рис. 5.15, а також напруга джерела зварювального струму;

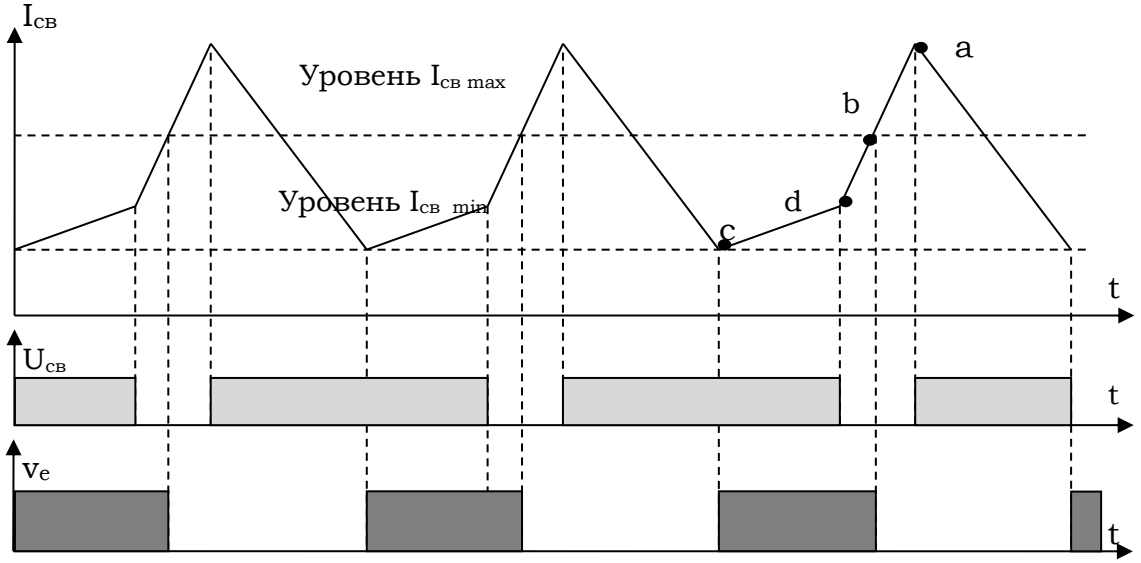


Рис. 5.15. Алгоритм роботи системи управління перенесенням електродного металу пов'язаний з параметрами струму дугового процесу:
$I_{зв}$ – струм зварювання; $U_{зв}$ – напруга зварювання; v_e – швидкість подачі електродного дроту; a – перехід краплі у ванну; b – пауза у швидкості подачі; c - пуск подачі; d – коротке замикання

3) дозована подача електродного дроту, алгоритмічно представлена на рис. 5.14, при цьому задаються лише два параметри у вигляді низького та високого рівня струму, які підтримуються зворотним зв'язком за параметрами процесу (струму дуги).

У таблиці 5.1 систематизовано можливості, переваги та недоліки способів зварювання та наплавлення, що визначаються видом подачі електродного дроту.

У процесі експериментальних робіт з електродугового зварювання був проведений спектральний вхідний контроль хімічного складу сталі А353 9 % Ni, наплавленого металу, застосовуваної в дослідженнях порошковим дротом SW-9NiH.

Нижче наведено деякі вибіркові результати використання зварювання та наплавлення з різними алгоритмами руху електродного дроту.

Таблиця 5.1 – Порівнювані за ефективністю режими зварювання-наплавлення

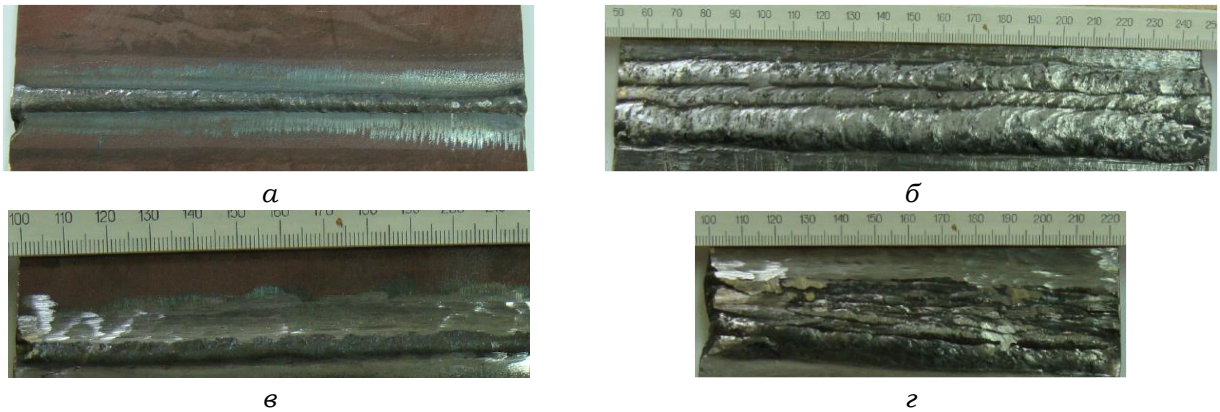
№	*Спосіб ведення процесу*	*Вибір режиму*	*Переваги*	*Недоліки*	*Примітки*
1	Класична подача	Ручне встановлення режиму зварювальної напруги та швидкості подачі	Простота встановлення та оперативної зміни режиму дугового процесу	Недостатня керованість електродуговим процесом	Наявність попередніх даних про режими
2	Імпульсна подача	Ручне встановлення зварювальної напруги та всіх параметрів імпульсної швидкості подачі	Забезпечення високоефективного процесу зварювання з керованим перенесенням електродного металу	Складність налаштування оптимального режиму імпульсного процесу	Наявність попередніх даних про режими
3	Дозована подача	Автоматична установка імпульсної швидкості подачі в залежності від встановлених мінімального та максимального струму процесу	Швидкий вибір, встановлення та зміна режимів зварювання, автоматична підтримка заданих режимів забезпечення якості процесу	Ускладнення апаратного обладнання для організації зворотного свята за параметрами дугового процесу	Наявність попередніх даних про режими

Були обрані такі оптимальні режими зварювання стиків А353 9% Ni (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Режим зварювання стику в положенні, імпульсна подача дроту (дозована)

Тип шва	*Напруга дуги, В*	*Струм зварювання, А*		*Середній струм (показник джерела зварювання), А*	*Швидкість подачі зварювального дроту, см/с*
		I_{max}	I_{min}		
Кореневий	31	200	150	125	13,9
Заповнення обробки, облицювальний	32	250	200	180	13,9

Фотографії зварних з'єднань, зварені в положеннях Flat (1G) та Horizontal (2G), для прикладу та порівняння представлені на рис. 5.16. Потік ванни металу на 2G швах немає. Видно, що за розмірами частини ширини шва мало відрізняються один від одного, що свідчить про практичну відсутність зсуву металу з вертикальної площини.



а *б* *в* *г*

Рис. 5.16. Формування зварного шва при застосуванні імпульсної подачі: *позиція 1G: а – кореневого шва на керамічній підкладці; б – облицювального шва; позиція 2G; в – кореневого шва на керамічній підкладці; г – облицювального шва*

Підтвердженням сказаного є визначення геометричних розмірів стикових швів, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Геометричні розміри стикових швів, виконаних зварюванням з імпульсною подачею

№ з/п	*Положення зварювання*	*Кількість проходів*	*Облицювальний шов*		*Корневий шов*	
			ширина, мм	*висота, мм*	*ширина, мм*	*висота, мм*
1	Нижнє, 1G	14	25,5-27,5	2-3	6-7	1-1,5
2	Горизонтальне, 2G	10	29-32	3-4	6-7	1-1,5

Необхідно відзначити гарне зворотне формування кореня шва в обох випадках.

Важливо відзначити, що прийнятне формування зварних горизонтальних швів та вертикальної площини, що представляє певні труднощі при застосуванні звичайних систем подачі дроту, спрощується в умовах дії імпульсних алгоритмів руху електродного дроту при оптимально обраних параметрах.

Рентгенографічний контроль зварних з'єднань показав, що вони мають високу якість. Існують лише окремі дефекти у вигляді окремих (1-2) пор діаметром Ø 1,5 мм для положення 2G. У разі зварювання в положенні 1G дефекти у шві були відсутні.

Отримані експериментальні дані, дозволили встановити наступні переваги застосування дозованої подачі порошкового дроту порівняно зі звичайним механізованим зварюванням у середовищі CO_2:

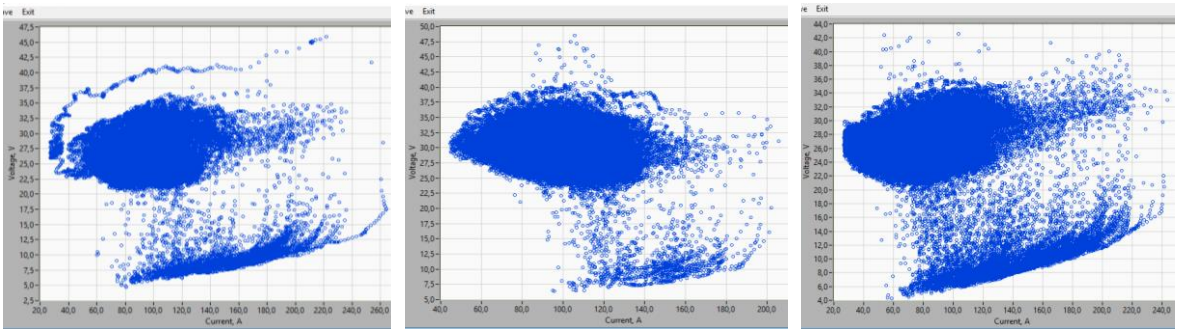
- дефектність швів менша, особливо це стосується наявності пор та шлаків;
- при цьому швидкість зварювання можна порівняти зі звичайним механізованим процесом;
- зварювальна дуга «пластична», горить стабільно, виведення шлаку та перемішування зварювальної ванни відбувається добре.

У процесі виконання робіт було проведено оцінку величини розбризкування металу дроту для положення 1G у разі застосування дозованої подачі дроту. Отримані такі результати за даними режимів наплавлення табл. 5.2:

- витрати зварювального дроту 7 метрів, вага 47,5-48 грамів; час горіння 45-46 секунд; маса наплавленого металу – 40 гр; вага пластини перед наплавленням – 1494,5 гр; після наплавлення - 1534,5 гр.

Аналіз результатів осцилографування, представлений у вигляді вольт-амперних характеристик на рис. 5.17, показує, що найбільш оптимальною зі стабільності перенесення розплавленого металу у зварену ванну застосування імпульсної (дозованої) подачі.

Аналіз експериментальних даних показує, що застосування дозованої подачі зварювального дроту і підібраних режимів зварювання забезпечує величину роботи удар по центру зварного шва, лінії сплавлення і на відстані 1 мм від лінії сплавлення з достатнім запасом (у 1,5-2 рази) стосовно нормативного. Результати експериментів стабільні, викидів немає.



а *б* *в*

Рис. 5.17. Вольт-амперна характеристика:
а – механізоване зварювання з імпульсною подачею електродного дроту;
б – механізоване зварювання з імпульсним (дозованим) подачею дроту;
в – традиційне механізоване зварювання

Металографічні дослідження проводили на мікроскопі NEOPHOT-32 за різних збільшеннях. Фотозйомка неметалевих включень і мікроструктури здійснювалася за допомогою цифрової фотокамери OLYMPUS. Вимірювання твердості за Віккерсом проводили на твердомірі М-400 фірми LECO при навантаженні 1 кг. Зміст феритної фази визначали на феритометрі FERRITGEHALTMESSER-1053.

При візуальному огляді багатошарових зварних з'єднань зразків 1G і 2G (рис. 5.18, рис. 5.19). тріщин, пір та інших макродефектів на досліджуваних поверхнях не виявлено. Дослідження неметалевих включень у зварних з'єднаннях з неполірованою поверхнею показало, що у швах спостерігаються однотипні неметалеві включення, а саме: основну масу включень складають оксиди - глобулярні включення сірого кольору, в темному полі оточені тонкою лінією – вюстит (рис. 5.20, рис. 5.21).

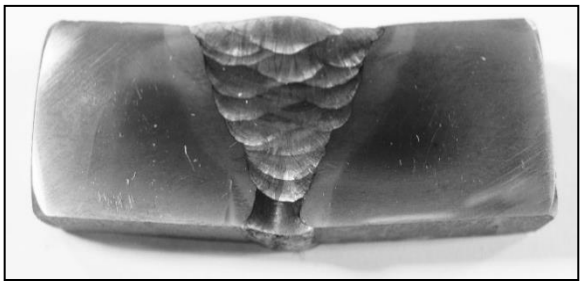


Рис. 5.18. Загальний вигляд зварного з'єднання, положення 1G

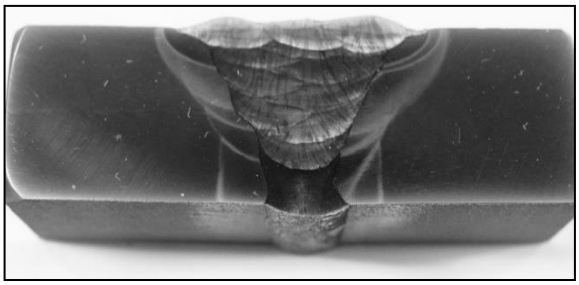


Рис. 5.19. Загальний вигляд зварного з'єднання, положення 2G

Забрудненість оксидами відповідає 2-3 балам за ГОСТ 1778-70. Розмір цих включень від 1 до 10 мкм, іноді від 15 і більше мкм (рідко). Також спостерігаються окремі дрібні силікати (SiO2) від 2 до 4 мкм.

Були досліджені всі зони шва, який зварений із застосуванням імпульсної подачі дроту. Для прикладу зазначимо, що мікротвердість лінії сплавлення та її розподіл у ЗТВ у разі зварювання в положенні 2G лінія сплавлення лицьового валика має підвищену твердість HV1 = 330...347 кгс/мм^2 порівняно зі зварюванням у положенні 1G, де аналогічна твердість має значення HV1=242...287 кгс/мм2.

На основі аналізу отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що застосування імпульсної подачі електродного дроту дозволяє отримати менше дефектів у шві (пори, шлак) і істотне менше розбризкування металу; швидкість зварювання при застосуванні дозованої подачі близька до механізованого зварювання без її застосування.

Застосування розробленої в ДП ОКТБ «ІЕС ім. Є. О. Патона НАНУ» універсальної системи подачі у вигляді з різними алгоритмами руху електродного дроту дозволяє при керованій імпульсній подачі, у тому числі й дозованій, проводити зварювання сталі А353 9 % Ni, легованих та інших сталей на оптимальному погонній енергії з реалізацією управління процесом перенесення для механізованого зварювання порошковим дротом. На відміну від управління переносом металу за рахунок застосування імпульсного впливу джерел зварювального струму, можна отримувати рівномірне плавлення оболонки порошкового дроту та її наповнювача, що позитивно позначається на структурі металу шва.

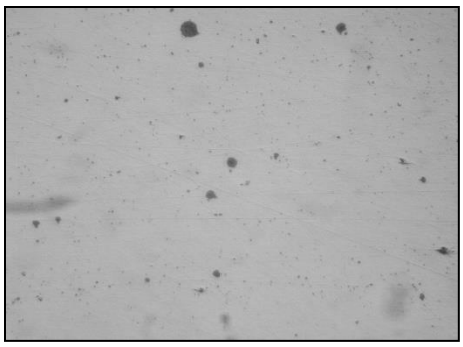


Рис. 5.20. Неметалічні включення в центрі шва, зразок 1G, ×500

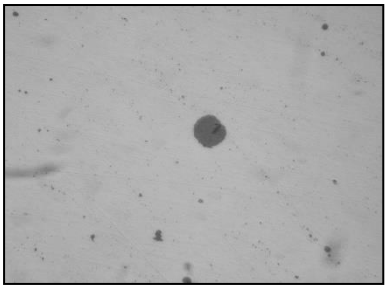


Рис. 5.21. Неметалічні включення, у шві біля сплавлення, зразок 1G, ×500 сплавлення

Параметри імпульсної подачі по-різному впливають на результати процесів зварювання і наплавлення, при цьому найбільш універсальною є дозована подача електродного дроту, у реалізації якого використовуються зворотні зв'язки дугового процесу, зокрема й по струму, який є ситуативним параметром.

Реалізація імпульсної подачі з керованими параметрами, у тому числі й дозованої в умовах виробництва не вимагає спеціальних зварювальних джерел живлення. Технологія дозованої подачі може бути вписаний у існуючий технологічний процес з мінімальними витратами. У цьому обсяг додаткової підготовки виробництва буде мінімальним.

Механізм дозованої подачі, розроблений ДП ОКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, має високі показники швидкодії та надійності, тому що в його електродвигуні відсутній щітковий вузол і знижувальний механічний редуктор.

Сфера застосування механізованого та автоматичного процесів зварювання та наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту дуже широка і включає в себе різноманітність застосовуваних електродних дротів як за складом, так і за типом, а також різні зварювані та наплавлені сталі та сплави алюмінію.

Література до розділу 5

1. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки / Н. М. Воропай //Автомат. сварка. – 1996. – № 10. – С. 3-9.

2. Бучинский В. Н. Опыт эксплуатации полуавтомата с электромагнитным механизмом подачи проволоки / В. Н. Бучинский, З. Д. Бенидзе, А. В. Котон // Автомат. сварка. – 1989. – № 11. – С. 73-74.

3. Лебедев В. А., Жук Г. В. Система управления дозированной подачей электродной проволоки при механизированной электродуговой сварке / В. А. Лебедев, Г. В. Жук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2018. – № 28. – С. 79–87.

4. Мозок В. М. Совершенствование технологии сварки и наплавки плавящимся электродом с применением механического модулятора сварочного тока / В. М. Мозок //Автомат. сварка. – 1996. – № 3. – С. 57-58.

5. Використання комбінації впливів та суміщення процесів при вдосконаленні техніки і технології дугового зварювання та наплавлення (огляд та пропозиції) // Вісті Академії інженерних наук України. – 2008. – № 3. – С. 3-11.

6. Практическое применение дуговой наплавки с импульсной подачей электродной проволоки / В. А. Лебедев, А. Е. Коротынский, В. М. Мозок, В. Г. Пичак // Автомат. сварка. – 2001. – № 2. – С. 37-41.

7. Новые возможности механизированной дуговой точечной сварки с применением импульсных воздействий / Л. М. Лобанов, В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов и др. // Автоматическая сварка. – 2012. – № 5. – С. 17-21.

8. Розробка технології та устаткування для дугового точкового зварювання у вертикальному положенні на основі керування процесом переносу електродного металу / Л. М. Лобанов, В. О. Лебедєв, С. Ю. Максимов та ін. // Вісник НУК імені адмірала Макарова. – 2012. – № 5. – С. 148-153.

9. Лебедєв В. О. Експлуатаційні характеристики конструкцій з нікельвмісних сталей при механізованому зваренні – наплавленні з модифікованою (дозованою) імпульсною подачею електродного дроту / В. О. Лебедєв, Г. В. Жук, М. М. Бриков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2022. – № 1. – С. 36-48.

10. Изучение особенностей воздействия импульсной подачи электродной проволоки на результаты механизированной электродуговой сварки – наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, Г. В. Жук, В. Г. Пичак // Технічні науки та технології. – 2020. – № 3. – С. 9-20.

11. Гігієнічна характеристика механізованого дугового зварювання з імпульсною подачею електродного дроту / О. Г. Левченко, В. А. Лебедєв, С. Ю. Максимов, А. О. Лук'яненко // Проблеми охорони праці в Україні. – 2015. – Вип. 29. – С. 81-88.

12. Лебедев В. А. Механизированная дуговая сварка и наплавка в разных пространственных положениях с управляемой дозированной подачей электродной проволоки различных типов / В. А. Лебедев, Г. В. Жук // Тяжёлое Машиностроение. – 2017. – № 6. – С. 19-23.

РОЗДІЛ 6
Системи зварювального обладнання та обладнання для наплавлення з коливаннями зварювального інструменту

Системи коливання зварювального електрода за рахунок систем самого обладнання. Системи коливань зварювального як інструменту, так і виробу, що зварюється та наплавляється, мають багато технічних і технологічних рішень [1], [2], [3], [4].

Низькочастотні коливання зварювального пальника у складі каретки забезпечують поперечне щодо зварного шва рух. Всі конструкції таких коливачів дають змогу ефективно вирішити задачу збільшення ширини шва, або, наприклад, при зварюванні у широку обробку, що забезпечує підвищення продуктивності процесу та впливає на якість шва та наплавленого шару через зниження час знаходження металу ванни в зоні перегріву, а це підвищує поверхневий натяг і в'язкість валика з отриманням його плоскої форми та знижує вимоги подальшої обробки, а також зменшує величину зерна основного металу в зоні оплавлення, що сприяє формуванню дрібнозернистої структури наплавленого шару.

Для виконання таких коливань потрібний спеціальний механізм. Зазвичай частотний спектр таких коливань лежить у діапазоні 0,2...5,0 Гц.

У цьому розділі будемо переважно використовувати розробки, які виконані в ІЕЗ ім. Є. О. Патона та у співпраці з іншими організаціями.

На сьогодні розроблено спосіб зварювання з високочастотними поперечними коливаннями електродного дроту, для отримання комбінованого керуючого впливу, при якому реалізуються умови управління перенесенням металу й геометрією наплавленого шару при автоматичному наплавленні під шаром флюсу.

Експериментально підтверджено, що для певного діаметра електродного дроту, де залежно від частоти коливань f та їх амплітуди можна отримати такі виражені ефекти: забезпечити управління товщиною рідкометалевого шару на торці електрода; реалізувати мікрокрапельне перенесення металу в результаті гравітаційно-капілярного розпилення; управління перенесенням металу та продуктивністю плавлення електрода, впливати на проплавлення. Високочастотні коливання електрода сприяють розосередженню теплового потоку і зміні геометрії наплавлення. При наплавленні на низьковуглецеву сталь дугою потужністю 7 кВт збільшення амплітуди поперечних коливань до 20 мм призводить до зниження глибини проплавлення на 50 % порівняно з наплавленням без коливань. Встановлено, що при наплавленні з коливаннями частотою 250 Гц максимальна температура з відривом 6 мм від осі валика перевищує температуру металу без коливань на 15 %.

Встановлено доцільність використання магнітострикційного генератора для створення поперечного коливання електрода. Така робота ведеться в ІЕЗ ім. Є. О. Патона. НАН України.

Необхідно згадати процес вібродугового наплавлення з низкою позитивних ефектів, але складність реалізації цього способу обмежили його застосування.

Зварювання з коливаннями електрода в обмежених умовах без застосування спеціальних механізмів, а за рахунок приводу механізму подачі дроту як приклад оригінального технічного рішення виконано в ДП ІЕЗ ім. Є. О. Патона для приварки заглушок всередині труби діаметром 157 мм і товщиною стінки 10 мм у рідкому середовищі мокрим способом на глибині понад 200 м. Рішення застосовано в автоматах для глибоководного зварювання і використане у Великій Британії при виконанні заслінок теплових насосів.

Коливання зварювального електрода за рахунок додаткових систем. Існуюча технологія автоматичного наплавлення під флюсом, незважаючи на тривалий період розвитку, привертає увагу розробників, через наявний потенціал підвищення якості наплавленого шару та продуктивності. Повною мірою розкрити можливості такого наплавлення можливо при застосуванні різних методів управління перенесенням електродного металу та властивостями наплавленого шару. Найбільш активно для цього використовують електричний, механічний та магнітні методи, а також їх комбінації [4; 5]. Комбінація кількох методів дозволяє підібрати найбільш ефективні параметри керуючого впливу, проте такий підхід вимагає зазвичай великих витрат. Близького ефекту, але з меншими витратами можна досягти при використанні електромеханічного методу, що реалізується за допомогою генератора високочастотних імпульсних переміщень [3; 4] у поєднанні із серійним зварювальним обладнанням.

Сутність цього методу полягає в управлінні процесом перенесення електродного металу за рахунок періодичного примусового видалення рідкометалевого шару з торця електрода у вигляді крапель, маса яких визначається частотою вібраційного впливу. Вібраційна дія, створювана генератором імпульсних переміщень за допомогою ударника і прикладається до електрода на ділянці вильоту.

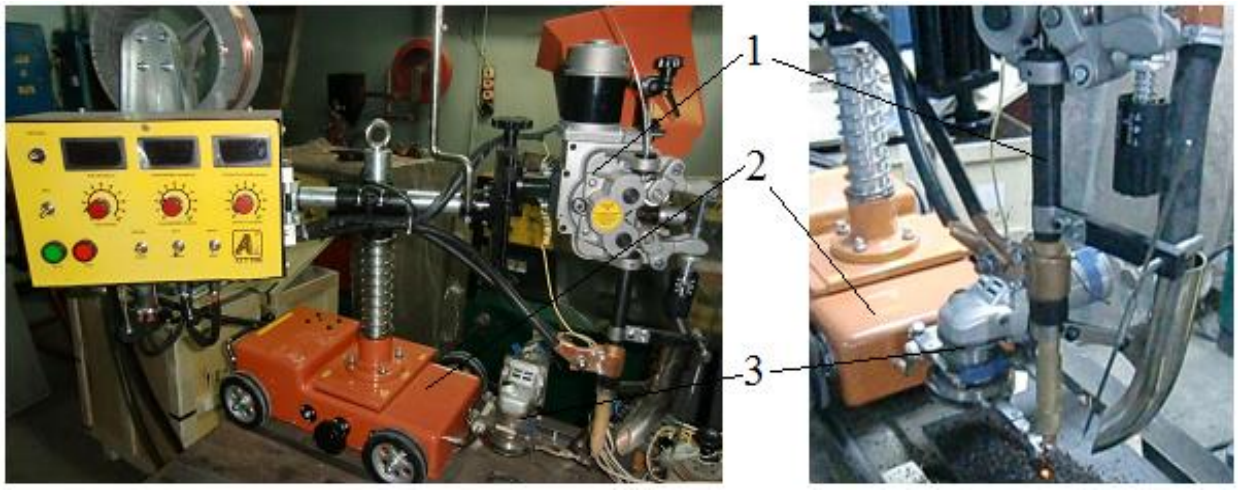
Поперечний високочастотний (до 10 кГц) механічний імпульсний вплив на електродний дріт дозволяє керувати розмірами наплавленого валика і продуктивністю процесу при автоматичному наплавленні під флюсом. Дослідження показали, що в цьому випадку глибина проплавлення та частка участі основного металу (ДІМ) у наплавленні може бути знижена втричі, а коефіцієнт розплавлення електрода – збільшений на 10…20 %.

Мета цієї частини роботи – експериментальна оцінка впливу поперечних високочастотних коливань електрода на технологічні характеристики процесу автоматичного наплавлення під флюсом вузлів і деталей, схильних до інтенсивного зношування (кранові колеса, шківи гальмівних барабанів і т. ін.), що виготовляються з конструкційних сталей.

Програму експериментальних досліджень та оцінку отриманих результатів виконували з використанням можливостей ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України та НУК ім. адмірала Макарова.

Дослідження проводили на стенді, що складається зі зварювального комплексу АСТ 1000 (інверторне джерело живлення формує падаючу вольт-амперну характеристику і зварювальний трактор) і генератора високочастотних імпульсних переміщень електрода (рис. 6.1), закріпленого на зварювальній

головці, оснащеної системою регулювання дуги шляхом на швидкість подачі дроту. Застосування стабілізованого джерела живлення дозволило виконувати наплавлення з коливаннями електрода (додатковим збурюючим впливом) на мінімально допустимій силі струму при збереженні високої стабільності процесу і швидкості, рекомендованої нормативними документами.



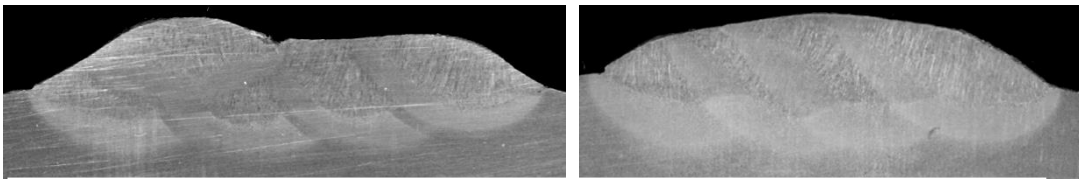
а *б*

Рис. 6.1. Варіанти розміщення на зварювальному тракторі генератора імпульсних переміщень електродного дроту:
а – поперек валика, що наплавляється; б – уздовж валика;
1 – зварювальна головка; 2 – каретка трактора; 3 – механічний генератор

Стабільність процесу наплавлення та вплив коливань електрода на характер перенесення металу оцінювали за допомогою осцилограм струму та напруги дуги, що реєструються за допомогою електронного USB-осцилографа, та статистично оброблених за допомогою пакету прикладних програм Lab View 2013.

Наплавлення валиків виконували на зразки розмірами 500×200×10 мм з конструкційної сталі ВСт3сп. Як зварювальні матеріали використовували такі поєднання: дріт Св-08А + флюс ОСЦ-45, дріт Св-08Г2С + флюс АНК-18. Параметри режиму наплавлення встановлювали: d_e = 2 мм; $I_{зв}$ = 200…250 А; $U_д$ = 27…30 В; $V_{зв}$ = 18…22 м/год. Високочастотні імпульсні переміщення в усіх випадках прикладалися впоперек осі електрода, але вздовж плавка, що наплавляється, параметри режиму коливань торця електродного дроту змінювали в межах: частоту $f_к$ = 250…9000 Гц, амплітуду Ак = 0,5…3 мм.

В усіх випадках критеріями вибору ефективних параметрів режиму коливань служили технологічна стабільність процесу якість формування наплавленого шару. Стабільність дугового процесу оцінювали за допомогою осцилограм струму й напруги, якість формування наплавлених валиків - зовнішнім оглядом та вимірюванням. Коефіцієнт наплавлення визначали за стандартною методикою, геометричні параметри наплавлених валиків за макрошліфами (рис. 6.2).



а *б*

Рис. 6.2. Макрошліфи наплавленого шару, виконаного:
а – без коливань електрода; б – з високочастотними коливаннями електрода

Для оцінки впливу механічних високочастотних коливань електрода на стабільність процесу наплавлення осцилографування струму й напруги проводили безперервно, починаючи процес без коливань електрода, а потім продовжуючи його з коливаннями.

Слід зазначити, що особливістю управління перенесенням металу за допомогою поперечних коливань електрода є відсутність змін довжини дуги й пов'язаних з цим коливань напруги, зумовлених самим процесом управління, на відміну, наприклад, від процесу при подачі імпульсного дроту. Зазначений факт ускладнює ідентифікацію впливу коливань електрода на перенесення металу. У зв'язку з цим наплавлення проводили на режимах, для яких характерний досить чітко видимий на осцилограмах (рис. 6.3) процес великокрапельного перенесення металу.

На представлених осцилограмах (рис. 6.3) розрізняються ділянки підпалу дуги, наплавлення за відсутності коливань, перехідного процесу (при включенні генератора імпульсних переміщень), наплавлення з коливаннями електрода і гасіння дуги.

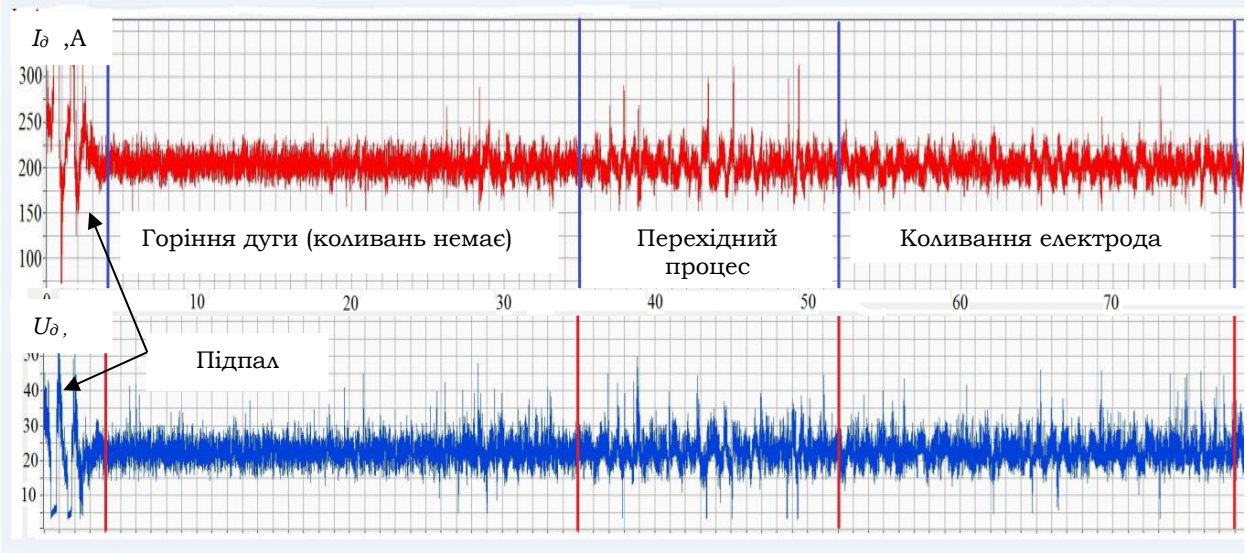
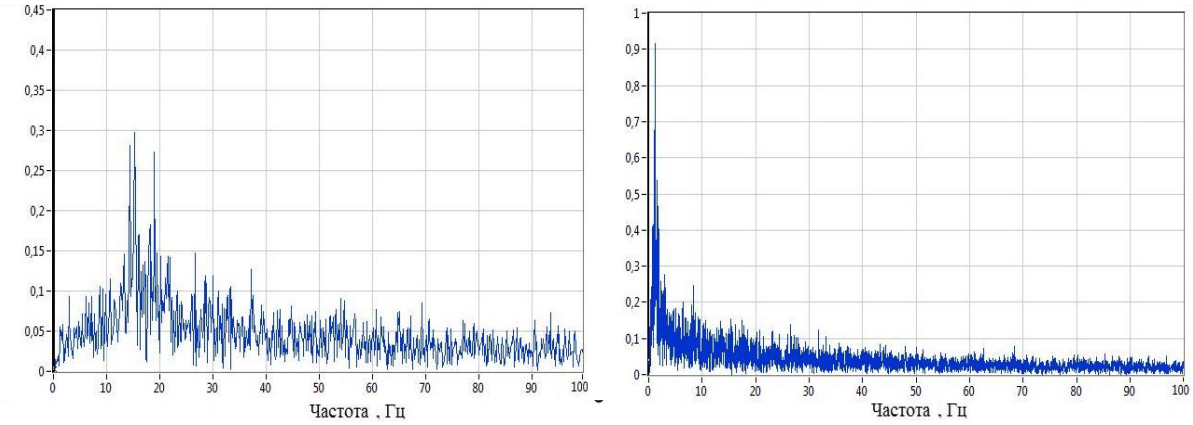


Рис. 6.3. Осцилограми напруги та струму дуги при наплавленні
($d_е$ = 2 мм; $l_в$ = 50 мм; $I_{зв}$ = 200 А; $U_д$ = 30 В; $V_{зв}$ = 21 м/ч; $f_к$ = 320 Гц)

При наплавленні з коливаннями електрода, незважаючи на деяке збільшення амплітуди коливань струму та напруги, стабільність процесу залишається високою. Спостерігаються характерні періодичні зміни досліджених

параметрів, що свідчать про наявність керованого процесу видалення рідкометалевого шару з торця електрода. Підтвердженням цього є результати, отримані шляхом обробки осцилограм за допомогою перетворення Фур'є (рис. 6.4).



а *б*

Рис. 6.4. Частотні спектри напруги дуги відносні значення напруги):
а – наплавлення без коливань електрода; б - наплавлення з коливаннями

Аналіз осцилограм показує, що коливання напруги дуги з частотою f_e = 15...20 Гц (рис. 6.4, *а*), характерні для природного краплинного перенесення металу, перетворюються на спектр частот без яскраво виражених піків (рис. 6.4, *б*), що пов'язано зі зменшенням впливу подрібнених високочастотними коливаннями крапель на напругу та силу струму в дузі. Поява піків напруги із частотою 1…2 Гц (див. рис. 6.4, *б*) пов'язані з високоамплітудними коливаннями (Ак > 3 мм), створюваними генератором імпульсних переміщень.

Дослідження впливу частоти високочастотних коливань електрода на продуктивність процесу наплавлення показало, що збільшення частоти керуючого впливу до 320 Гц призводить до зростання коефіцієнта наплавлення з 15,0 г/А·год до 22,6 г/А·год. Вплив частоти коливань електрода на продуктивність наплавлення представлено в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Залежність коефіцієнта наплавлення від частоти коливань електрода

Частота коливань, Гц	0	250	305	320
Коефіцієнт наплавлення, г/А·ч	$\frac{15{,}0-15{,}2}{15{,}0}$	$\frac{17{,}9-18{,}2}{18{,}2}$	$\frac{19{,}6-20{,}0}{19{,}7}$	$\frac{22{,}4-22{,}8}{22{,}6}$

Така зміна коефіцієнта наплавлення пов'язана з тим, що в міру зростання частоти коливань електрода зменшується товщина рідкометалевого шару на торці електродного дроту і середня температура крапель, що відокремлюються. Унаслідок цього підвищуються ефективний ККД розплавлення електрода дугою, швидкість плавлення електрода і продуктивність наплавного процесу. При цьому змінюється і геометрія наплавленого шару (рис. 6.5): глибина проплавлення основного металу h і ширина валика знижуються, а висота валика g – збільшується.

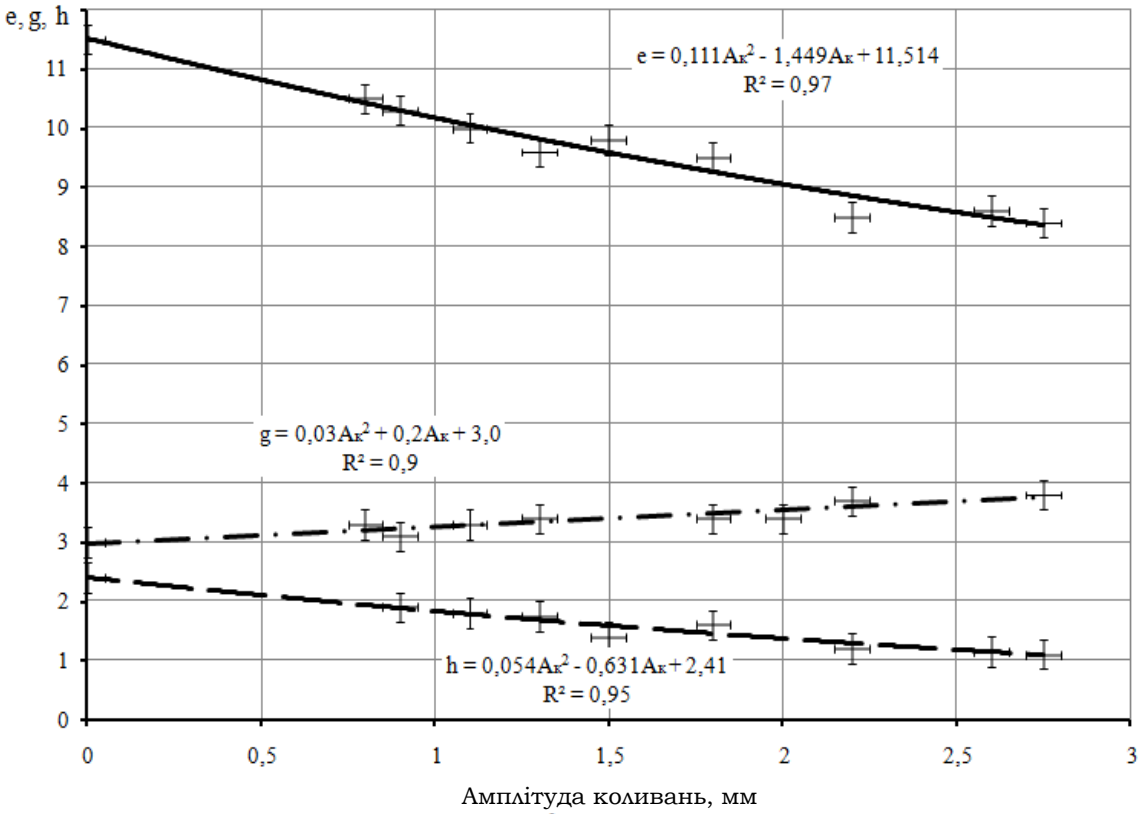


Рис. 6.5. Вплив амплітуди високочастотних (*f* = 250...9000 Гц) коливань електрода на геометричні параметри наплавленого валика

Основним фактором, що визначає розміри наплавленого валика при високочастотних коливаннях електрода, є амплітуда коливань його торця. Регулювання амплітуди коливань торця електродного дроту при використанні розробленого генератора імпульсних переміщень досить просто здійснюється шляхом вибору точки докладання імпульсного впливу на вильоті електрода і зміною частоти імпульсних переміщень. Крім того, регулювати амплітуду коливань торця електрода можна шляхом зміни довжини вильоту, однак таке можливе тільки в тих випадках, коли довжина вильоту може бути відносно вільно змінена (наплавлення дротом збільшених діаметрів 4…6 мм, зі сталей із низьким питомим опором).

Зі збільшенням частоти амплітуда коливань пропорційно зростає, теплова та силова дія дуги та крапель електродного металу на зварювальну ванну знижуються, внаслідок чого глибина проплавлення та участь основного металу в наплавленому шарі зменшуються. Так, при наплавленні з 30 % перекриттям валиків без коливань електрода становить 0,25, а при наплавленні з коливаннями – 0,14, що є позитивним фактором економії зварювальних матеріалів при наплавленні.

З метою кількісної оцінки впливу амплітуди коливань на розміри валика при наплавленні з високочастотними коливаннями електрода експериментальні дані (див. рис. 6.5) з достатньою для практики точністю (величина середньоквадратичного відхилення R2 ≥ 0,9) апроксимовані поліномами другого ступеня. Ці рівняння можуть бути застосовані в технологічній практиці для визначення наслідків застосування технології, яка розглянута при визначенні параметрів шва чи валика.

Отримані результати дають підставу вважати, що технологія автоматичного наплавлення конструкційних сталей під флюсом з високочастотними коливаннями електрода є раціональною при ремонті жолобників гребних валів і реборд кранових коліс відповідно до вимог РД 212.0080-87 (поширюється на деталі та механізми техніки портів та гідротехнічних споруд).

Слід підкреслити, що виявлено при 30 % перекритті валиків спостерігається зниження частки участі основного металу в наплавленому з 0,25 до 0,14 та звернути увагу на те, що зі збільшенням частоти коливань пропорційно зростає амплітуда коливань електрода, досягаючи 3,0 мм при частоті 320 Гц. При цьому коефіцієнт наплавлення підвищується з 15,0 до 22,6 г/А год без зниження стабільності дугового процесу, глибина проплавлення знижується втричі, висота наплавленого валика зростає на 30 %.

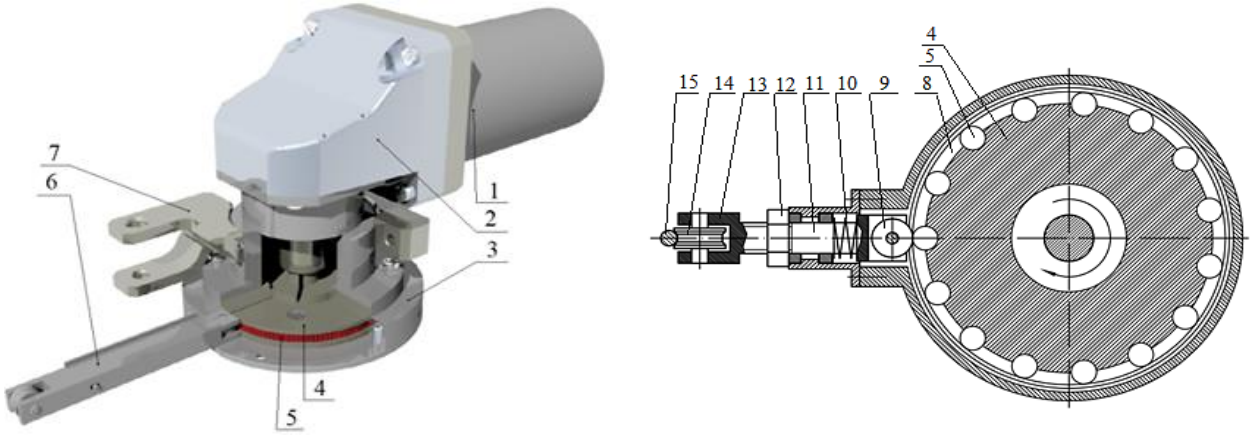
Імпульсне переміщення, що прикладається до електродного дроту і своєю чергою викликає високочастотні коливання торця електрода, дозволяє управляти технологічними характеристиками процесу й геометричними характеристиками валика при автоматичному наплавленні конструкційних сталей під флюсом.

У теперішній час ведуть дослідження щодо застосування процесів із високочастотними коливаннями електродних дротів в інших технологіях електродугового механізованого зварювання та наплавлення.

Розробка технічних засобів для автоматичного наплавлення під флюсом з поперечними високочастотними коливаннями електродного дроту та деякі особливості їх застосування. В основу розробки нового способу зварювання і наплавлення при реалізації технології автоматичного наплавлення під флюсом при ремонті великогабаритних деталей суднових машин і механізмів, а також інших видів вузлів і деталей покладено описаний вище спосіб з поперечними високочастотними коливаннями електродного дроту, що дозволяє істотно поліпшити техніку, а також економічні показники результатів проведення електродугових процесів.

Для створення коливань з широкими діапазонами регулювання частоти та амплітуди розроблений механічний генератор (рис. 6.6), який може бути легко встановлений на стандартному зварювальному обладнанні автоматичного типу, наприклад, зварювальному тракторі.

Конструкція механізму достатньо проста і принцип її дії не потребує додаткового пояснення. Механізм має регулювання частоти коливань електродного дроту, яке здійснюється за рахунок зміни частоти обертання валу приводного електродвигуна. Керування електродвигуном здійснюється додатковим електроприводом. Амплітуда коливань регулюється механічно системою шток *11* та регулювальна гайка *12*. Частота коливань електродного дроту помножується від частоти обертання валу електродвигуна на кількість роликів *5*, які встановлені в сепараторі *8*.



а *б*

Рис. 6.6. Зовнішній вигляд а і конструкція б механічного генератора для поперечних коливань електродного дроту:

1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – корпус; 4 – приводний диск; 5 – ролик, що задає; 6 – ударний механізм; 7 – кріплення; 8 – сепаратор; 9 – ударний ролик; 10 – зворотна пружина; 11 – шток; 12 – регулювальна гайка; 13 – вилка; 14 – натискний ролик; 15 - електродний дріт

Амплітуда коливань встановлюється попередньо за допомогою регулювальної гайки й залишається незмінною в процесі наплавлення.

Частота коливань у разі потреби може підстроюватись плавно в процесі ведення електродугового наплавлення.

Залежно від технологічних цілей наплавлення - управління геометрією наплавленого валика або підвищення продуктивності процесу наплавлення - конструкція генератора дозволяє реалізувати два діапазони частоти f_k й амплітуди A_k коливань електродного дроту діаметром d_e = 2 мм: 1 діапазон – f_k = 10...100 Гц, A_k = 5...15 мм. Такі параметри забезпечують управління геометрією валика та кількістю електродного менаду у ванні; 2 діапазон – f_k = 100...1000 Гц, A_k = 0,1...7,0 мм. У цьому випадку можливе керування складом дугового газу та продуктивністю наплавлення.

Перехід від одного діапазону параметрів до іншого здійснюється шляхом заміни сепаратора і задають роликами.

Для налаштування генератора на відповідний режим роботи розроблена діаграма (рис. 6.7), на якій представлені області, що відповідають різному характеру впливу поперечних коливань торця електрода на геометрію проплавлення і характер перенесення металу.

При цьому граничні значення параметрів коливань для управління геометрією валика, що наплавляється, обмежені вибором розрахункової схеми джерела нагріву залежно від лінійної швидкості переміщення дуги, а для управління продуктивністю наплавлення – механізмом відділення крапель розплавленого металу з торця електродного дроту.

Значення амплітуди коливань, що визначає вибір схеми джерела нагріву, пов'язане з частотою коливань співвідношенням

$$A_к = \sqrt{2\frac{Pe}{f_к}m},$$

де m – коефіцієнт температуропровідності металу; $Pe = \frac{vl}{m}$ – критерій (число Пекла). Тут v – швидкість переміщення джерела нагріву в бік наплавки, l – характерний лінійний розмір джерела нагріву, прийнятий рівним A_k.

Якщо критерій $Pe = 0$ джерело вважається нерухомим, при $0 \le Pe \le 1$ – повільно рухомим, при $Pe \ge 10$ - швидко рухомим. Для зварювальної дуги, що коливається з частотою понад 10 Гц поперек напрямку наплавлення з амплітудою понад 1 мм, значення $Pe \ge 10$ і тому її можна розглядати як джерело тепла, що швидко рухається, з лінійним розміром, рівним амплітуді коливань. У цьому випадку внаслідок розосередження теплового потоку під впливом високочастотних коливань електродного дроту глибина проплавлення основного металу та частка його участі в наплавленому шарі знижуються, що підтверджено розрахунками та експериментально [6[, [7]. Підвищення продуктивністю наплавлення досягається за рахунок подрібнення крапель, що переносяться через дуговий проміжок при збільшенні частоти коливань. При цьому розміри крапель, що відокремлюються в результаті руйнування рідкометалевого шару на торці електродного дроту, залежно від амплітуди коливань, визначаються дією двох силових механізмів: механізму інтегрального силового балансу і гравітаційно-капілярного розпилення. Дрібнокрапельне перенесення металу, при якому забезпечується більш висока ефективність передачі тепла від дуги до електрода, реалізується переважно в результаті дії механізму гравітаційно-капілярного розпилення.

Треба окремо зазначити, що гравітаційно-капілярне розпилення як явище при зварюванні з застосуванням певних коливань електродного дроту в стадії горіння зварювальної дуги розглянуте та пояснено вперше. Також вперше визначено ефективність такого застосування і можливості ефективного застосування з розробкою спеціальних практичних техніко-технологічних вказівок.

На діаграмі (рис. 6.7) цифрами позначені області, у межах яких вплив дії високочастотних коливань електродного дроту при наплавленні під флюсом призводить до таких результатів:

1 – управління перенесенням металу неможливо. Керувати геометрією наплавленого валика можна шляхом зміни траєкторії коливань зварювальної дуги.

2 – можливе комбіноване управління геометрією наплавленого валика та характером перенесення електродного металу залежно від співвідношення між частотою та амплітудою коливань електрода діаметром d_e:

а) $f_k \ge f_{рмш}$, де $f_{рмш}$ – частота створення рідкого металевого шару на торці електродного дроту; $A_k < d_e$ – забезпечується керування процесом примусового відриву крапель при зменшенні товщини рідкого металевого шару на торці електрода;

б) $f_k \geq f_{гкп}$, де $f_{гкп}$ - частота гравітаційно-крапельного перенесення металу з торця електродного дроту; $A_k < d_e$ – можливий перехід до мікрокраплинного перенесення металу у результаті дії механізму гравітаційно-крапельного перенесення;

в) $f_k \geq f_{епм}$, *де* $f_{епм}$ – частота перенесення крапель без застосування дії високочастотних коливань; $d_e \leq A_к \leq e_o$ досягається управління характером перенесення електродного металу та продуктивністю процесу наплавлення (e_o – ширина шва при наплавленні без високочастотних коливань електродного дроту);

г) $f_k \geq f_{пм}$, $e_o \leq A_к$ – забезпечується управління геометрією наплавленого валика без зміни траєкторії коливань зварювальної дуги.

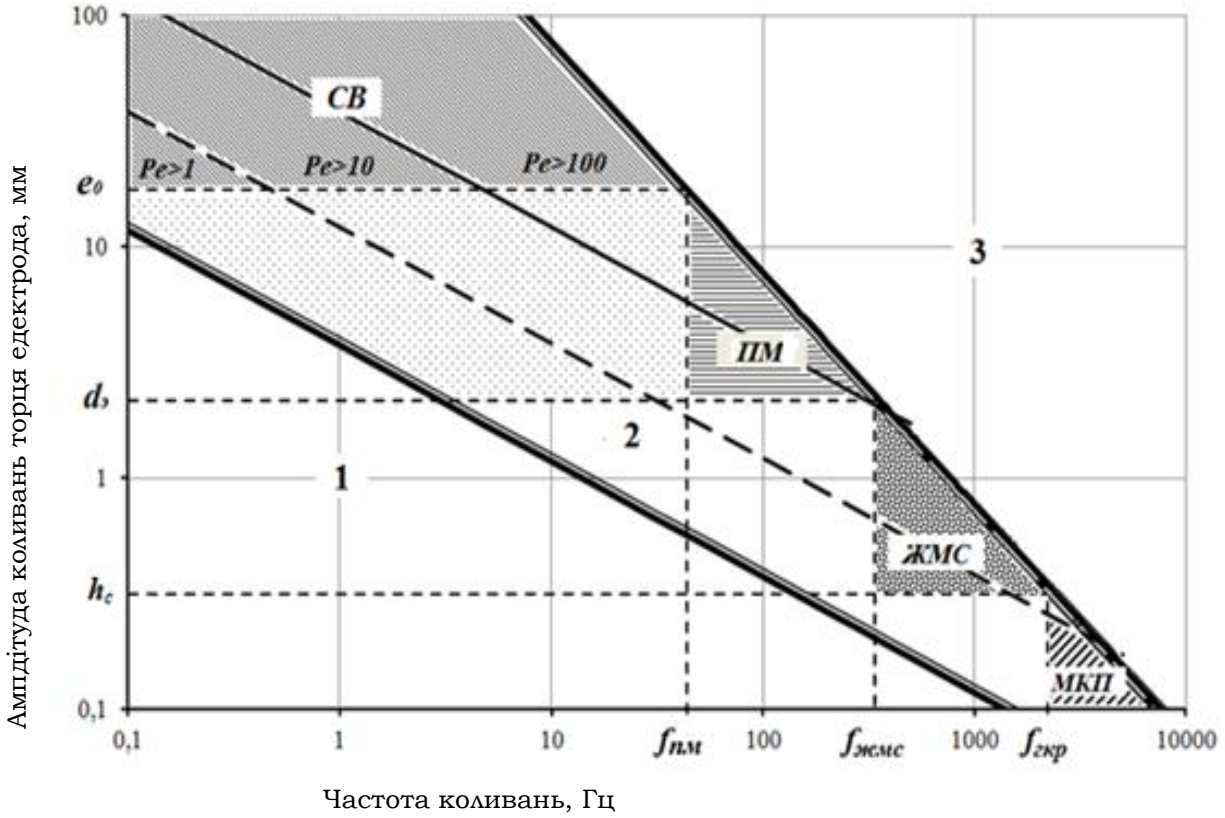


Рис. 6.7. Діаграма для попереднього вибору параметрів поперечних коливань електрода

З – нестабільне горіння дуги та погіршення якості формування наплавленого шару внаслідок надмірно високої швидкості коливання електрода.

Робочі параметри коливань електрода призначаються з використанням розробленої номограми (рис. 6.8), що дозволяє також прогнозувати деякі показники технології автоматичного наплавлення.

Залежно від цілей наплавлення (режими наплавлення відповідають вимогам РД 212.0080-87).

Залежно від мети наплавлення (відновлення, зміцнення тощо) (режими наплавлення відповідають вимогам РД 212.0080-87).

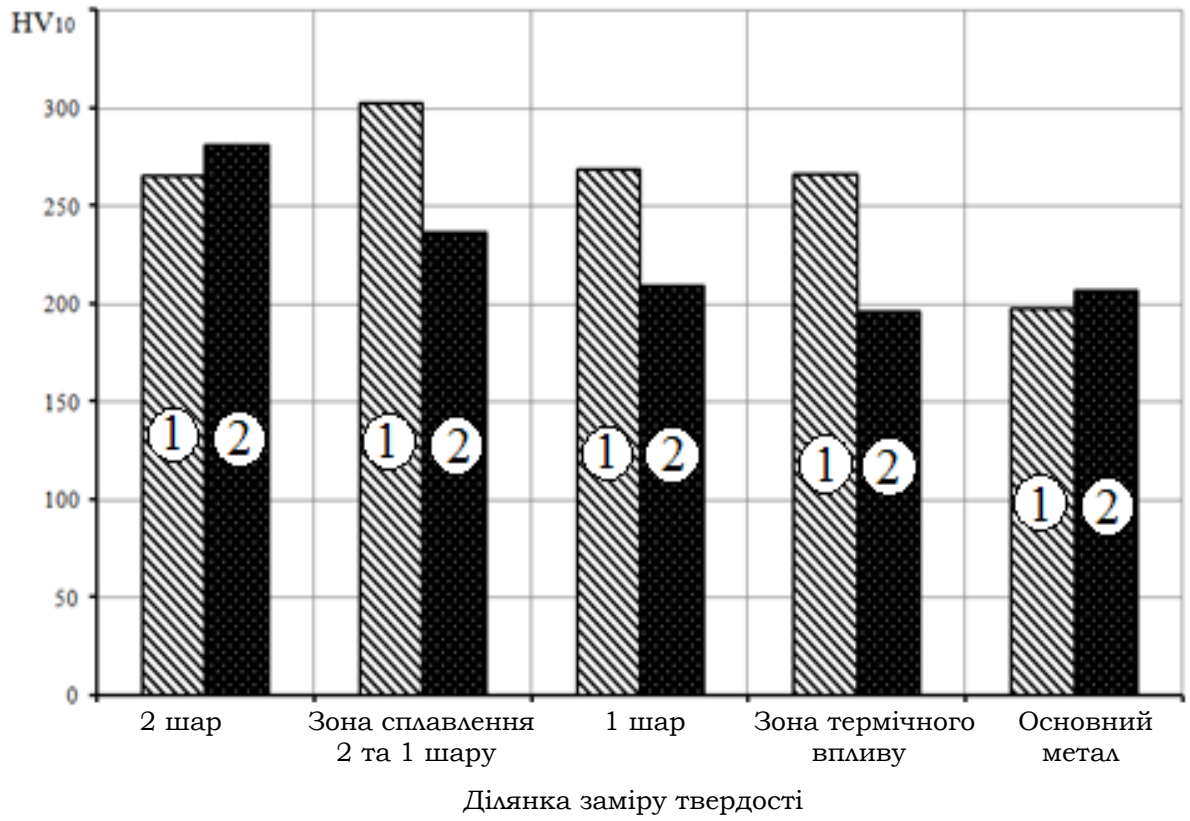


Рис. 6.8. Вплив високочастотних коливань електрода на твердість наплавленого шару:

1 – наплавлення з коливаннями частотою f_k = 200 Гц;
2 – наплавлення без коливань

Робота з номограмою для визначення параметрів наплавлення виконується покроково відповідно до ключа, вказаного стрілками.

Крок 1. Залежно від технологічних цілей наплавлення в I квадранті вибирається необхідне значення керованого параметра (наприклад, для наплавлення шару з максимальною продуктивністю - ширина валика e, для заповнення глибокого оброблення або наплавлення шару певної товщини - висота валика g, при наплавленні корозійно стійкого шару – частка основного металу γ). Для вибраного значення параметра відповідної осі визначається амплітуда коливань $A_к$.

Крок 2. За знайденим значенням $A_к$ за допомогою амплітудно-частотної характеристики струмопідведення головки наплавлення (II квадрант) визначається керуюча частота f_k.

Крок 3. За величиною f_k за допомогою регулювальної характеристики генератора (III квадрант) знаходиться напруга $U_д$, яку слід подати на електродвигун механічного генератора коливань.

Крок 4. Визначається (за потреби) приріст продуктивності плавлення електрода ΔG, зумовлений впливом високочастотних коливань електродного дроту (IV квадрант).

Дослідну перевірку технології автоматичного наплавлення з високочастотними коливаннями електродного дроту проводили на зразках з конструкційної сталі ВСт3сп шляхом двопрохідного наплавлення валиків дротом Св08Г2С під флюсом АНК-18. Зварювальні матеріали та параметри режиму наплавлення вибирали відповідно до вимог РД 212.0080-87 «Керівний документ зі стандартизації. правила. Автоматичне наплавлення сталевих циліндричних деталей вуглецевою та корозійностійкою сталлю під флюсом. Основні положення». Параметри режиму наплавлення: d_e = 2 мм; $I_д$ = 200...250 А; $U_д$ = 27...30 В; $V_{зв}$ = 18...22 м/год. Параметри коливань торця електродного дроту змінювали не більше ніж у діапазоні: f_k = 50...200 Гц, $A_к$ = 5...10 мм.

Вимірювання твердості наплавленого шару показали (рис. 6.8), що в результаті зниження частки основного металу, який наплавляється, у першому проході твердість наплавленого металу підвищується на 50 HV10 порівняно з наплавленням, виконаним без коливань, досягаючи 300 HV10. При наплавленні за стандартною технологією така твердість досягається лише у другому шарі.

Розроблена технологія наплавлення з ВКЕ може бути поширена на шар на гребні валу діаметром до 400 мм (без обмеження їхніх конструктивних особливостей коло вузлів та деталей відповідних конструкцій та габаритів), наприклад, деталі суднових машин та механізмів із вуглецевих та конструкційних сталей та впроваджена у виробництво на деяких суднобудівних підприємств.

Роботи з підготовки, відновлення та контролю якості деталей після автоматичного наплавлення з високочастотними коливаннями електрода виконуються за розробленими технологічними інструкціями.

Слід зазначити, що розглянутий вище механізм високочастотних коливань електродної проволоки не є єдиною конструкцією. На сьогодні є досить велика їх кількість, у тому числі з електромагнітним приводом. Розглядається можливість їх застосування у зварювально-наплавочному напівавтоматі.

Розроблена інженерна методика, що дозволяє за допомогою номограми оперативно призначати параметри високочастотних коливань електродного дроту для управління геометрією наплавленого валика і прогнозувати продуктивність процесу автоматичного наплавлення під флюсом конструкційних сталей та застосувати цей спосіб зварювання безпосередньо у виробничому процесі автоматичного наплавлення під флюсом конструкційних сталей із використанням стандартного зварювального обладнання.

Попередня дослідна перевірка розробленої технології автоматичного наплавлення з механізмом який забезпечує високочастотні коливання електродного дроту з необхідними параметрами показала можливість використання її при виготовленні та ремонті різних вузлів та деталей, у тому числі суднових машин та пристроїв.

Деякі способи забезпечення коливань електродного дроту для виконання різних техніко-технологічних задач. Зазначимо, що коливання електродного дроту в зварювальному обладнанні, що не збігається з основним напрямком ведення дугового процесу, здійснюється з єдиною метою – забезпечення відповідного переміщення джерела нагріву та плавлення – електричної дуги.

Існує ціла низка способів та пристроїв для них, які забезпечують коливальний рух електродного дроту і також рух по складній траєкторії. Це насамперед застосування різних додаткових систем механічних пристроїв. Поширеними та описаними в технічній літературі, наприклад [3], [4], є, як уже зазначалося, системи із застосуванням додаткових пристроїв.

Останнім часом з'явилося певне коло завдань, де виникає необхідність використання автоматичного дугового зварювання різних об'єктів під водою з використанням мокрого способу та застосування спеціальних електродних порошкових дротів [1]. Одним із таких завдань є приварювання спеціальних конструктивів у трубі на глибинах 200 і більше метрів. Крім великої глибини, на якій виконується процес, завдання ускладнюється обмеженими умовами зварювання, наявністю досить великих зазорів між зварюваними конструктивами з товщинами порядку 10 мм, неможливістю точного апаратного контролю положення зварювального пальника щодо зварного шва.

Наявність великих зазорів у конструкціях, що зварюються, виникає через технологічну необхідність транспортування приварюваного елемента всередині труба на зазначену вище відстань і наявність певних (досить великих) допусків на овальність і внутрішній діаметр труби.

Метою цієї частини роботи є отримання надійного з’єднання елементів конструкції зі збільшеним зазором при автоматичному зварюванні в умовах обмеженого контролю положення пальника щодо зварного шва та розробка обладнання для вирішення такого, досить складного завдання.

Слід зауважити, що при техніко-технологічних дослідженнях та створенні обладнання були використані розробки ІЕЗ ім. Є. О. Патона як за самим способом зварювання та зварювальних матеріалів, так і по вузлах і конструкціях механізованого обладнання загального і спеціального призначення, у тому числі і для підводного зварювання мокрим способом, виконаним на рівні винаходів, реалізованих у вигляді низки напівавтоматів, що випускалися в промисловості серійно.

Були випробувані різні способи зварювання на різних режимах, а також різні конструкції забезпечення мінімального зазору постійної величини і пристрою стеження за стиком. Жодне з пропонованих технічних рішень із сукупності вищезазначених причин не привело до отримання шва з необхідною щільністю та необхідними механічними властивостями. Причина – нерівномірність зазору, складність застосування систем для стеження, характеристики об'єктів, що зварюються (товщина, матеріал, взаємне положення) та ін.

Напрошується рішення, пов'язане зі збільшенням режиму зварювання, яке дозволить захопити велику зону проплавлення, збільшення погонної енергії, неминуче призведуть до перевитрат як матеріалів, так і енергетичних ресурсів із

суттєвим перегріванням металу в зоні зварювання з більш потужними характеристиками процесу. При цьому основна проблема, що виникає при збільшенні тепловкладення в основний метал, зокрема при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей, пов'язана з надмірним зростанням зерен на ділянці перегріву металу навколошовної зони. Крупнозерниста структура металу на цій ділянці перегріву може призвести до зниженої ударної в'язкості і малої стійкості проти переходу в крихкий стан, коли сталь погано витримує динамічні навантаження і непридатна для виробів більшменш відповідального призначення.

Позитивні результати з прийнятними характеристиками зварного з'єднання були отримані при застосуванні коливань зварювального пальника щодо зварного шва перпендикулярно до осі шва, так і під деяким кутом. Післядії виявилося необхідним для забезпечення компактності пристрою у зварювальному апараті загалом.

У результаті комплексу пошукових робіт було запропоновано оригінальну, компактну конструкцію коливача зварювального пальника з приводом безпосередньо від механізму подачі електродного дроту, схема якого у спрощеному вигляді представлена на рис. 6.9.

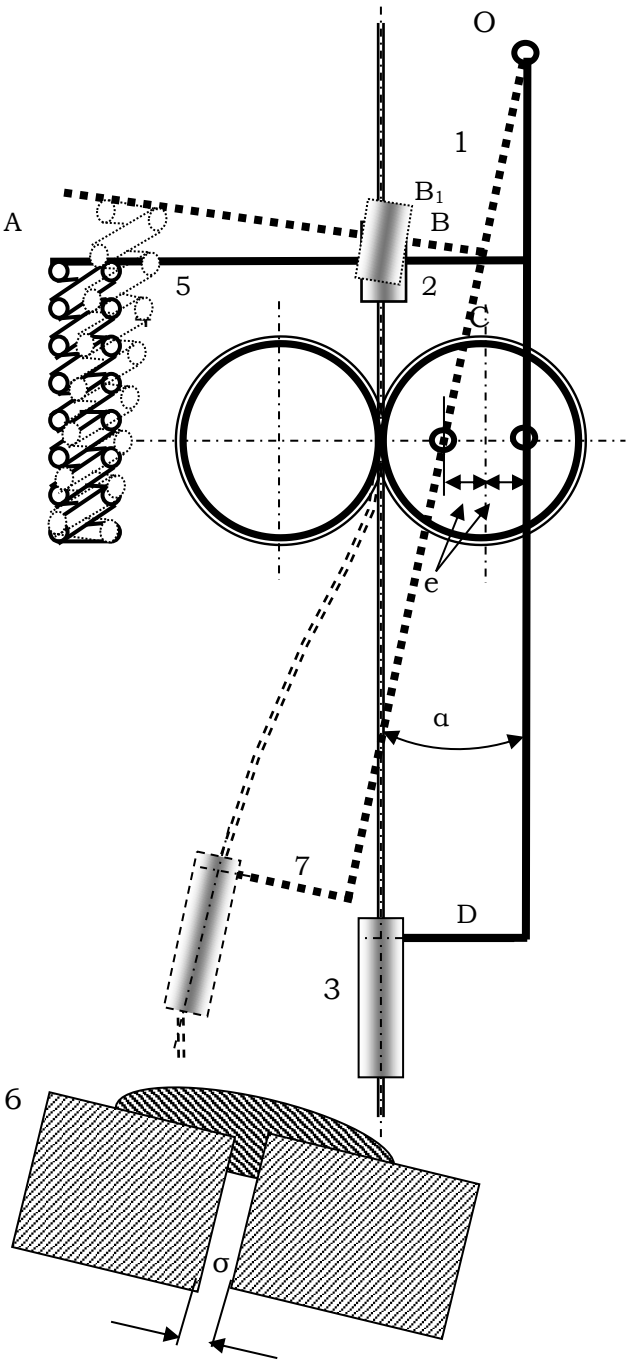


Рис. 6.9. Схема коливача зварювального пальника:
1 – важіль; 2 – притискний ролик; 3 - зварювальний пальник; 4 – пружина стиснення; 5 – подавальний ролик; 6-елементи конструкції (умовно); 7 – електродний дріт

На нашу думку, спираючись на схему коливача, не важко уявити його роботу. Ефективна передача руху на притискний ролик, який пов'язаний із важелем коливача та зварювальним пальником можлива лише при подачі електродного дроту.

Складність створення такої конструкції коливача полягає в отриманні суцільності шва при обмежених параметрах регулювання частоти коливань пальника. Іншим важливим завданням були обмежені енергетичні ресурси приводного електродвигуна, який повинен витрачати певну додаткову потужність на

позаосьові переміщення (коливання поперек шва) електродного дроту і ділянки направляючого каналу, по якому дріт подається в зону горіння дуги, а також подолання зусилля пружини.

У цій конструкції частота коливань зварювального пальника f визначається частотою обертання притискного ролика і залежить від швидкості подачі електродного дроту v_e та діаметра притискного ролика $d_{пр}$ і відповідає виразу

$$f = \frac{v_e}{\pi d_{пр}}. \qquad (6.1)$$

У конструкції пальника коливання складне з підсумковим синусоїдальним законом руху, то умову суцільності зварного шва за аналогією і деякими перетвореннями можна записати в такому вигляді

$$v_e = bf\tau, \qquad (6.2)$$

де b – розмах коливань торця електродного дроту; τ – параметр, який визначається з трансцендентного рівняння по згаданому визначенню та своєю чергою залежить від величин l – ширина шва та $t = \frac{2fx}{v_e}$ (x – шлях, який проходить дуга в подовжньому напрямку).

Сила P, що викликає лінійне пружне переміщення каналу з дротом, у зоні взаємодії роликів і дроту може бути з рядом припущень (пружність, форма, переріз та ін.), але з достатньою для конструктивних рішень точністю знайдена зі співвідношення

$$P = \frac{3eEJ}{l_к^3} \pm P_{пр}, \qquad (6.3)$$

де $P_{пр}$ – зусилля пружини; e – величина ексцентриситету притискного ролика; $l_к$ – довжина частини каналу з дротом, що згинається; E – модуль пружності зв'язки дріт-канал (у нашому випадку враховувався модуль пружності каналу, оскільки дріт, що вільно знаходиться в каналі, практично не згинається); J – момент інерції перерізу згинальної частини каналу з дротом.

При цьому знайдене значення сили має максимальне значення при стисненні пружини та враховується при визначенні моменту на валу електродвигуна механізму подачі

На рис. 6.10 представлена реальна конструкція коливача електродного дроту у складі автомата для зварювання мокрим способом в обмежених умовах. Підкреслимо, що коливач у комплекті з механізмом подачі дроту за габаритами вписується в діаметр до 110 мм.

Розглянутий механізм у складі автомата випробовувався як у лабораторних умовах при зварюванні на глибині понад 200 м, що імітується в барокамері, і в процесі дослідно-промислової експлуатації на глибинах до 230 м показав надійність роботи й високі техніко-технологічні показники.

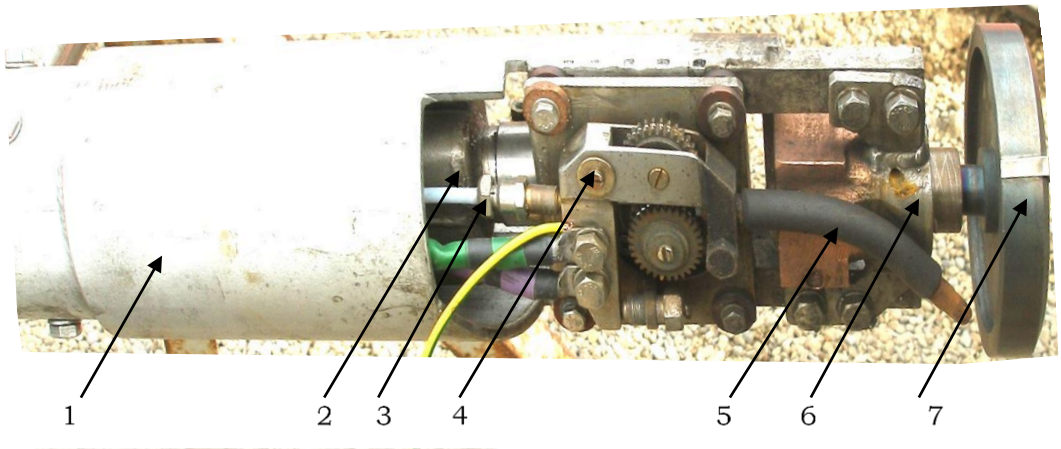


Рис. 6.10. Автомат для зварювання у стиснених умовах на великій глибині:
1 – корпус; 2 – механізм обертання; 3 – напрямний канал; 4 – подавальний механізм з коливачем мундштука; 5 – мундштук; 6 – кріплення та елементи струмопередачі на денце; 7 – приварюване денце

На рис. 6.11 представлені порівняльні результати зварювання з коливаннями і без коливань струмопідвідного наконечника за наявності зазору до 4 мм у водному середовищі при тиску понад 200 Аті. Середні значення струму зварювання $I_{зв}$ = 230 А, напруги зварювання $U_{зв}$ = 29,3 В. Швидкість зварювання 6...7 м/год. При зварюванні без коливань струмопідвідного наконечника, як це видно по рис. 6.11 є провали зварювальної ванни з наступним непроваром конструкції. Показані порівняльні результати зварювання «в кут» у горизонтальній площині. Осцилографування процесу зварювання, результати якого представлені на рис. 6.12, показує, що процес з коливаннями більш стабільний з чіткими позначеннями періоду коливань (частота коливань у межах 1,2 Гц).

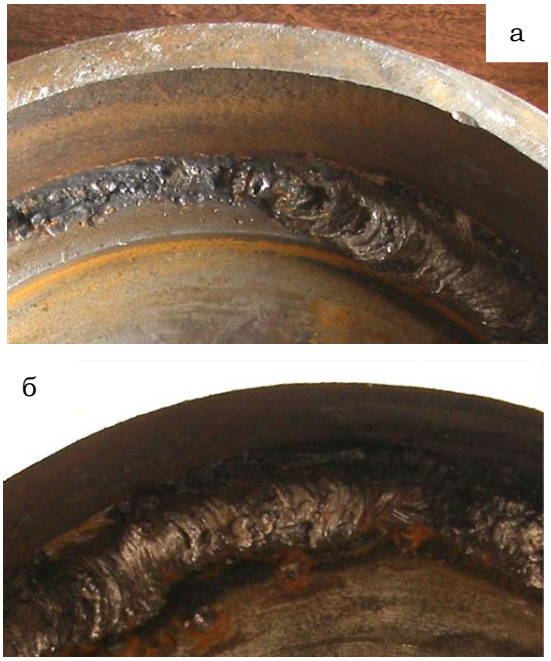
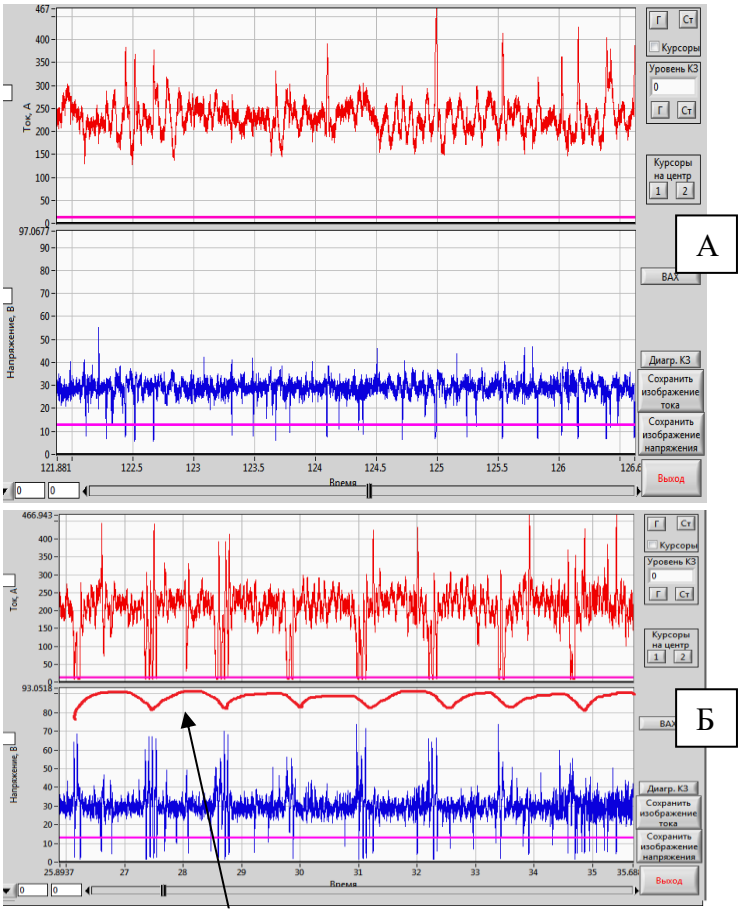


Рис. 6.11. Зварювання елементів конструкції:
а – без коливань;
б – з коливаннями струмопідводу

Слід зазначити, що за необхідності частота коливань може бути збільшена без зміни параметрів зварювального процесу та зміни кінематичної схеми малогабаритного комплектного пристрою. Збільшення частоти коливань може бути досягнуто при застосуванні коливача з кінематичною схемою, представленою на рис. 6,13, де як збудник коливань встановлено ексцентрично (з вищеописаним ефектом) додатковий ролик, за необхідності, фігурною поверхнею забезпечує велику кількість видів коливань від гармонійних до коливань із зупинками та ін.



Коливання струмопідводу

Рис. 6.12. Осцилограма струму та напруги процесу:
А – звичайний процес;
Б – з коливаннями струмопідводу

Можна зазначити, що робота такого вдосконаленого механізму не потребує додаткових особливих пояснень і цілком зрозуміла з наведеного рис. 6.13.

Можливості такого механізму суттєво ширші, ніж раніше розглянутого, хоча його конструкція дещо складніша. Методика розрахунку такого механізму практично не відрізняється від вищенаведеної.

Можна вважати, що розглянута конструкція коливача, поєднаного з елементами конструкції та кінематичної схеми механізму подачі, може бути застосована в інших системах автоматизованого зварювального обладнання та можуть використовуватись у різних сферах зварювального виробництва та при операціях з наплавлення.

Ще раз підкреслимо що при застосуванні поперечних коливальних рухів електродного дроту можна досягти досить багато впливів на дуговий процес. Це підвищення ефективності перенесення крапель електродного металу та продуктивності наплавлення.

Поперечні коливання електродного дроту сприяють зміні форми та структури наплавленого шару металу. Довжина шару зменшується, а ширина збільшується і це знижує час перебування рідкого металу в зоні перегріву та впливає на структуру металу зони термічного впливу основного металу. Підвищенню якості наплавленого шару сприяє і те, що при переміщенні джерела теплоти – дуги в крайні положення температура менаду в протилежній стороні шару понижується, що своєю чергою підвищує його поверхневе натяжіння та в'язкість.

Відомо, що при електродуговому наплавленні метал наплавленого шару складається зі стовпчастих дендритів. Зменшуючи довжину шару рідкого металу за рахунок поперечних коливань можна скоротити перебування зони перегріву і це скорочує величину зерна основного металу в зоні оплавлення що сприяє формуванню дрібнозернистої структури наплавленого металу. Виникає міцна дезорієнтована структура наплавленої поверхні.

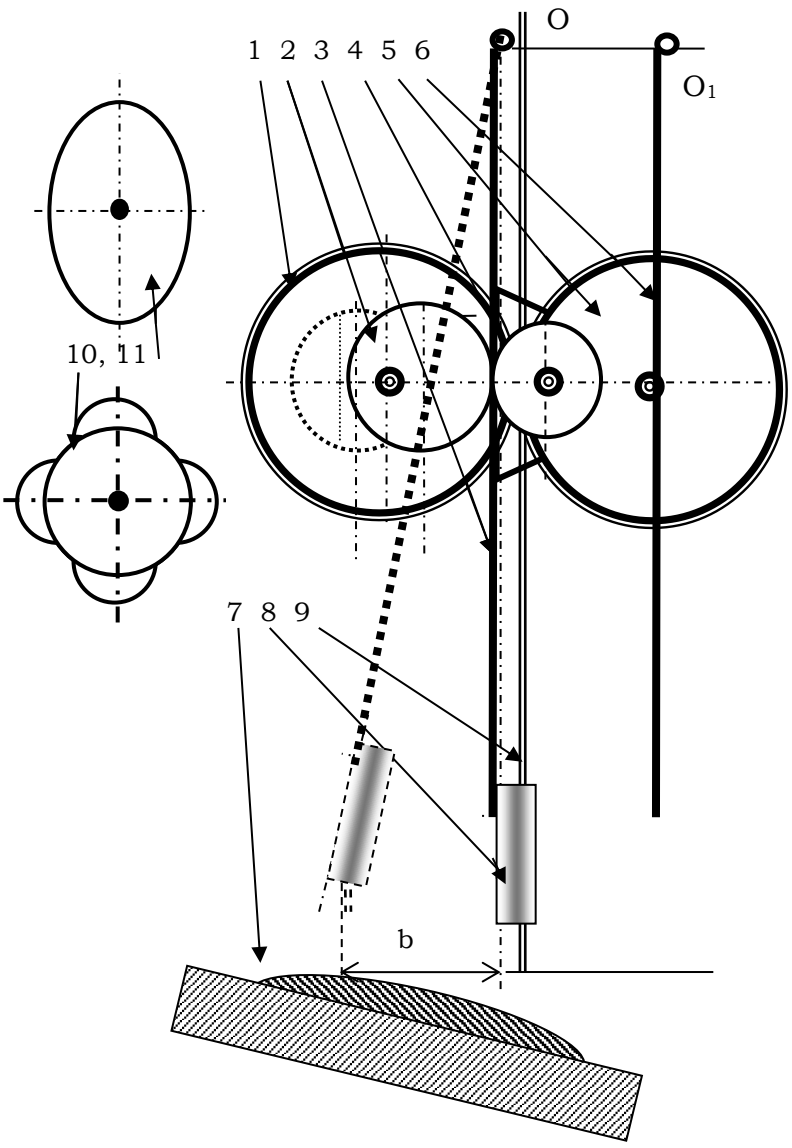


Рис. 6.13. Варіант конструкції механізму подачі з коливачем від додаткового ролика:
1 – подавальний ролик; 2 – ролик привода коливача; 3 – важіль коливача; 4 – ролик коливання; 5 – притискний ролик; 6 – притискний важіль; 7 – виріб; 8 – зварювальний пальник; 9 – електродний дріт; 10, 11 – варіанти роликів збудників коливань

Як уже зазначалося, поперечні коливання електродного дроту можна отримати за рахунок цілеспрямованої різних фізичних чинників – механічних, пневматичних, ультразвукових, магнітних. На теперішній час переважає застосування механічних збудників коливань, приклади яких в оригінальному вигляді розглянуті вище. Проте найбільш поширеними є системи з кривошипно-шатунним меланізмом, які описані в численній літературі. Застосування таких систем у широкополосному наплавленні зумовлено відносною простотою їхніх конструкцій та використанням.

Для стабілізації дуги при процесах з використанням поперечних коливань закладається принцип забезпечення автоматичного підтримання постійності величини міжелектродного простору.

Є окремі розробки систем з поперечними коливаннями електродного дроту які стосуються додаткових можливостей цього процесу. Це, наприклад, системи електродугового зварювання та наплавлення зі стеженням за стиком, коли електрод, а рівно й дуга примусово коливається від однієї кромки стику до іншої. Система керування зварювального автомата фіксує зміну електричних параметрів дуги й коректує положення зварювальної головки відповідно до зміни траєкторії шва.

Окремо згадаємо можливості, які надає використання магнітних полів для здійснення коливань електродного дроту за рахунок впливу на переміщування зварювальної головки зі струмопідвом або безпосередньо дуги, яка, як відомо, є провідником зі струмом.

Взагалі застосування магнітного поля при електродуговому зварюванні може мати різні направлення; вплив на формування та структуру металу шва, що буде розглянуто в наступних главах, вплив на деякі техніко-технологічні задачі економічного направлення, впливи на рішення задач широкошарового наплавлення, забезпечення умов для стеження. Усі ці впливи та можливості об'єднуються поняттям зварювання магнітокерованою дугою.

У цій главі приділимо увагу деяким особливостям цілеспрямованого здійснення коливань дуги за допомогою магнітного поля.

При дії керуючих магнітних полів можна впливати на гідродинаміку рідкого металу ванни шляхом коливальних відхилень дуги з частотою магнітного поля в напрямку, яке є нормальним до його силових ліній на відстань яка пропорційна амплітудному значенню його індукції. Це насамперед впливає на перемішування ванни рідкого металу з поліпшенням його структури після охолодження.

Найбільш ефективними є впливи, які засновані на використанні знакозмінних радіальних керуючих магнітних полів для подовжніх та поперечних коливань дуги. При подовжніх коливаннях періодичні зміни швидкості потоку розплаву в напрямку фронту кристалізації дозволяють усунути дендритну та забезпечити рівновісну структуру швів. Це відбувається по центральній частині ванни і це можна вважати недоліком цього способу впливу магнітного поля.

Поперечні коливання дуги (9…12 мм) сприяють стабілізації її горіння, усуненні напливів на посиленні швів, забезпечують рівномірне формування зворотного валика. При цьому збільшується в 1,5…2,5 раза коефіцієнт форми шва при зростанні його ширини на 20…25 % його ширини та зменшенні на 10…50 % глибини проплавлення. Ці ефекти посилюються при збільшенні частоти коливань, що зумовлено зменшенням тиску дуги на розплав. Ці зміни параметрів формування швів діють на подрібнення зерна біля зони сплавлення. Крім вказаного, при наплавленні з застосуванням цього процесу забезпечення однакової глибини проплавлення дозволяє підвищити на 100…300 А значення струму процесу, що впливає на збільшення швидкості плавлення електродного дроту та продуктивності виконання роботи зі зварювання та наплавлення.

Зупинимося коротко на деяких негативних факторах, які супроводжують процес з застосуванням керуючих електромагнітних полів. Під дією полів їх взаємодія зі струмом дуги приводить до того, що дуга як джерело нагріву розподіляється і це призводить до зменшення на 20…30 % глибини проплавлення, що в деяких випадках може бути небажаним. Особливо це впливає на результати зварювання. При зварюванні електродом, який плавиться, керуюче магнітне поле взаємодіє зі зварювальним струмом в обсязі крапель, може привести до їх відхилення від траєкторії звичайного руху і це спричиняє підвищення рівня розбризкування металу електродного дроту.

Зовсім виключити вплив керуючих магнітних полів на дугу в процесі перенесення електродного металу практично неможливо. Цей вплив можна лише зменшити оптимальним вибором параметрів впливу.

Література до розділу 6

1. Макара А. М. Поперечные перемещения дуги как фактор улучшения структуры и свойств сварных соединений / А. М. Макара, Б. Н. Кушнеренко // Автоматическая сварка. – 1967. – № 1. – С. 31-35.

2. Tewari S. P. Effekts of Oscillation on Impact Property of Weldments / S. P. Tewari // ISIJ International. – 1999. – № 8. – Pp. 809-812.

3. Рябцев И. А. Высокопроизводительная широкослойная наплавка электродными проволоками и лентами (Обзор) / И. А.Рябцев // Автоматическая сварка. – 2005. – № 06. – С. 36-49.

4. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А. М. Болдырев, Ю. С. Ткаченко, Н. П. Тололконников [и др.] // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С. 70–71.

5. Размышляев А. Д. Производительность расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под флюсом с воздействием поперечного магнитного поля / А. Д. Размышляев, М. В. Миронова, К. Г. Кузьменко, П. А. Выдмыш // Автоматическая сварка. – 2011. – № 5. – С. 48-51.

6. Симутенков, И. В. Стабильность дугового процесса при автоматической наплавке под флюсом с высокочастотными колебаниями электрода / И. В. Симутенков, С. В. Драган, Ю. А. Ярос // Зб. наук. пр. НУК. – 2014. – № 4. – С. 43-48.

7. Драган С. В. Выбор параметров высокочастотных механических колебаний электрода при автоматической наплавке под флюсом / С. В. Драган, И. В. Симутенков, О. В. Игнатенков // Вісник ДДМА. – 2012. – № 3. – С. 124–129.

РОЗДІЛ 7
Зварювальне та наплавляюче обладнання з коливаннями ванни

Загальні відомості щодо використання керованих коливань зварювальної ванни. Одним зі способів підвищення технологічної міцності зварних конструкцій є управління кристалізацією зварювальної ванни. Об'єктом управління є зварювальний інструмент або розплав зварювальної ванни, на який накладається періодичний вплив у вигляді коливань або вібрацій із певними параметрами.

Кристалізація металу зварювальної ванни в таких умовах сприяє формуванню дрібнозернистої структури металу зварного шва та спрямованого (обмеженого) зростання кристалів, що зумовлюють отримання високих механічних властивостей, що зазначено в роботі [1] та в багатьох інших.

Треба зазначити, що коливання зварювальної ванни можуть бути супутніми (природними) та примусовими які можуть бути додані до природних.

До супутніх коливань можна віднести ті, які виникають унаслідок гідродинамічних процесів при плавленні електродного дроту, переходу крапель металу у ванну, переміщення зварювального інструменту та інші впливи. Форма цих коливань може бути різна, тому що вони здебільшого мають випадковий характер.

Методом накладання коливань (вібрацій), можливо механічних, коли зварювальна ванна або розглянутий вище (глава 6) зварювальний інструмент дає ефект, який здійснює коливальний рух у процесі зварювання або наплавлення та впливає на розплав зварювальної ванни, наприклад, зварювальна дуга або лазерний промінь.

Примусові коливання здійснюються зовнішніми збудниками для досягнення певної мети, яка вказана вище. Такі коливання ванни можуть мати різні направлення, інтенсивність і залежать від можливостей збудника і є керованими. На сьогодні найбільш відомі такі основні способи отримання коливань ванни рідкого металу (зварювальної ванни):

1) за рахунок механічного впливу;
2) дією магнітних полів;
3) введенням ультразвуку;
4) комбіновані впливи.

Однак найбільш простим і дешевим способом управління структурою металу, що кристалізується, зварювальної ванни, що не вимагає дорогого і складного обладнання, залишається механічний метод накладання зовнішніх коливань. Для цього можна використовувати звичайні вібростоли. Такий спосіб коливання зварювальної ванни може бути ефективно застосований навіть при напівавтоматичному зварюванні. Його дія поширюється по всьому об'єму ванни.

Застосування магнітного поля достатньо ефективне, але потребує достатньо складного обладнання. За допомогою магнітних полів можна здійснити цілеспрямоване керування перемішуванням металевої ванни з отриманням суттєвих впливів на структуру метала та формування ванни. Коливання рідкої ванни металу піл час зварювання має досить локальний характер впливу.

Коливання ванни, яке здійснюється за рахунок ультразвукового впливу, може бути ефективним, але його застосування складне як апаратне, так і способом введення коливань у рідку ванну під час ведення електродугового процесу і також має локальний характер якщо не застосовувати кілька систем таких коливань, що здійснити технічно дуже складно.

Підкреслимо, що всі розглянуті способи здійснення коливань зварювальної ванни з поліпшенням якості зварювання та наплавлення здебільшого можна реалізувати при автоматичних способах зварювання та наплавлення [2], [3].

В ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України виконано аналіз систем, застосування яких забезпечує кероване коливання ванни та ефектів, які можуть бути отримані при формуванні структури металу та економічні аспекти, що виникають при розробці та впровадженні таких систем. Взято до уваги сучасні можливості технічних засобів для формування електромеханічної програмно керованої системи коливань виробу, який наплавляється, та відповідно ванни металевого розплаву. Усе це викладено в роботах [4], [5], [6], [7], [8], [9] та інших.

На рис. 7.1 представлено комплекс для здійснення зварювання – наплавлення з керованими по частоті та амплітуди коливаннями ванни розплавленого металу, який у частині коливального процесу є сучасною розробкою з можливостями, які забезпечують коливання по всьому об'єму розплавленого металу [4].

Процес здійснюється відповідно до розробленої моделі [5] і являє собою механізоване наплавлення електродом, що плавиться в середовищі вуглекислого газу. Як електрод, що плавився, застосовувався сталевий обміднений дріт, що подається за допомогою напівавтомата зварювального *1* через пальник безпосередньо в зону горіння дуги. Струм наплавлення регулюється за допомогою швидкості подачі електродного дроту. Швидкість подачі дроту здійснюється як плавно, і дискретно через відповідні тумблери на панелі напівавтомата. Величина струму наплавлення визначалася амперметром, розташованим на лицьовій частині джерела живлення *2*. Джерело живлення являє собою випрямляч для ручного та автоматичного зварювання, що забезпечує максимальний струм до 400 А. Механічне прямолінійне переміщення зварювального пальника здійснюється за допомогою рухомої станини з переміщенням тумблером *3* переміщенням з плавним регулюванням швидкості. Заготовка, що зварюється, закріплюється на рухомому столі *4*, який переміщається по дузі кола в напрямку, перпендикулярному напрямку наплавлення. Коливання столу генеруються за допомогою крокового двигуна *5*. Амплітуда й частота коливань задаються безпосередньо через пульт управління двигуном *6*. Максимальна частота, коли двигун працює в стабільному режимі, становить 4,5 Гц. Амплітуда, при якій можливе стійке формування наплавленого валика, не перевищує 7 мм. Стіл приводиться в коливальний стан після 5–7 с від моменту початку горіння дуги за допомогою блока керування *7*. Подача та регулювання вуглекислого газу подається з газового балона *8* за допомогою редуктора.

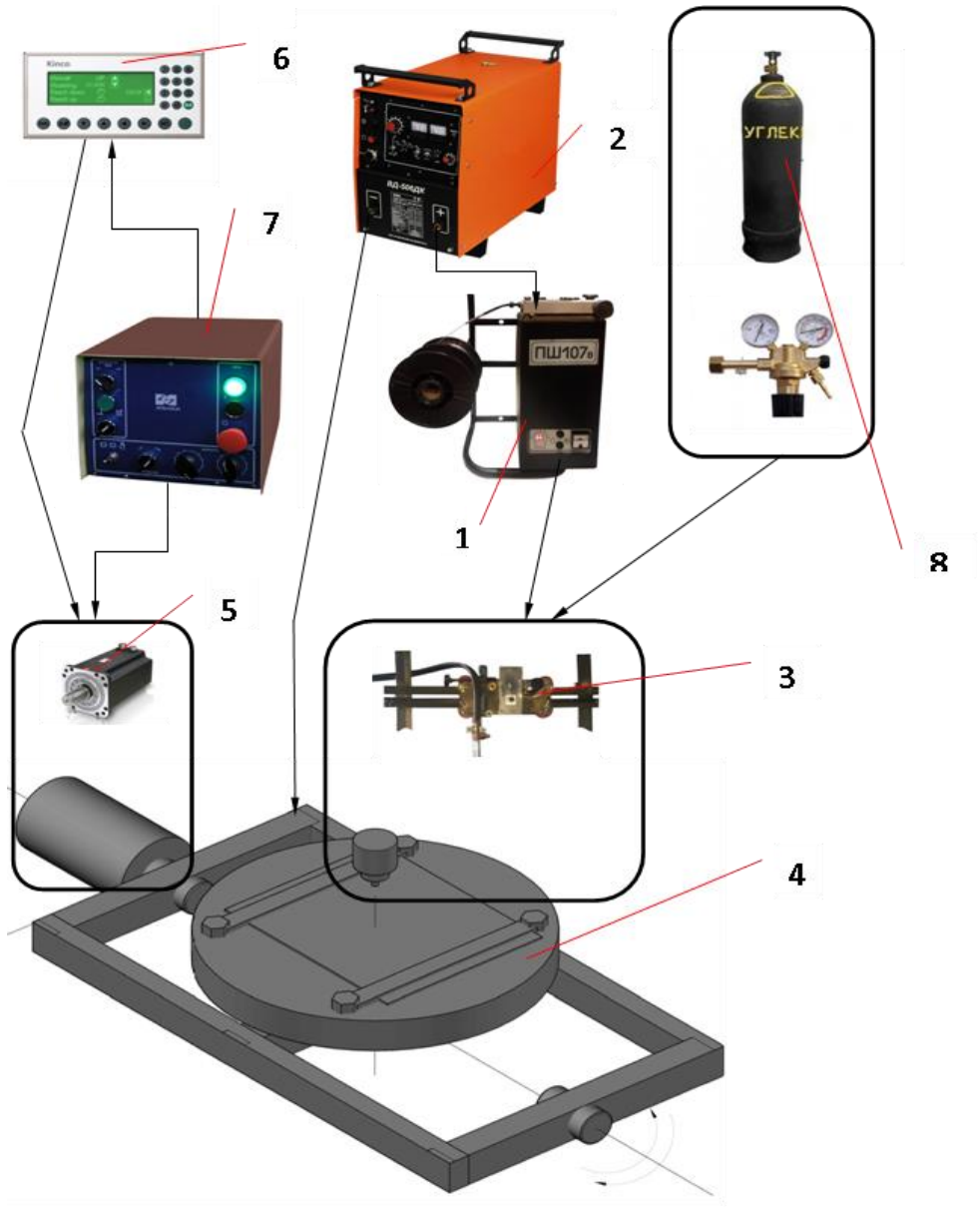


Рис. 7.1. Комплекс для керованого коливання виробів при наплавленні

Як приводний двигун для здійснення коливального руху був задіяний серійний крововий двигун Kinco 2S86Q – 051F6 який обирався за динамічним моментом коливальної системи за певною методикою. Відповідно до значень фазного струму та напруги живлення крокового двигуна було обрано драйвер Kinco 2M880N та джерело живлення Mean Well DRP-240-24. Запуск крокового двигуна, його зупинка, контроль, програмування та обробка режиму роботи здійснювалось відповідним блоком керування на базі контролера ПЛК Kinco – K306 – 24AT. Введення параметрів роботи двигуна здійснюється завдяки пульту програмування Kinco MD 224L.

На рис.7.2 представлена схема коливань столу при виконанні наплавлення. Параметри коливань встановлювалися за методиками, які викладені в роботі [6].

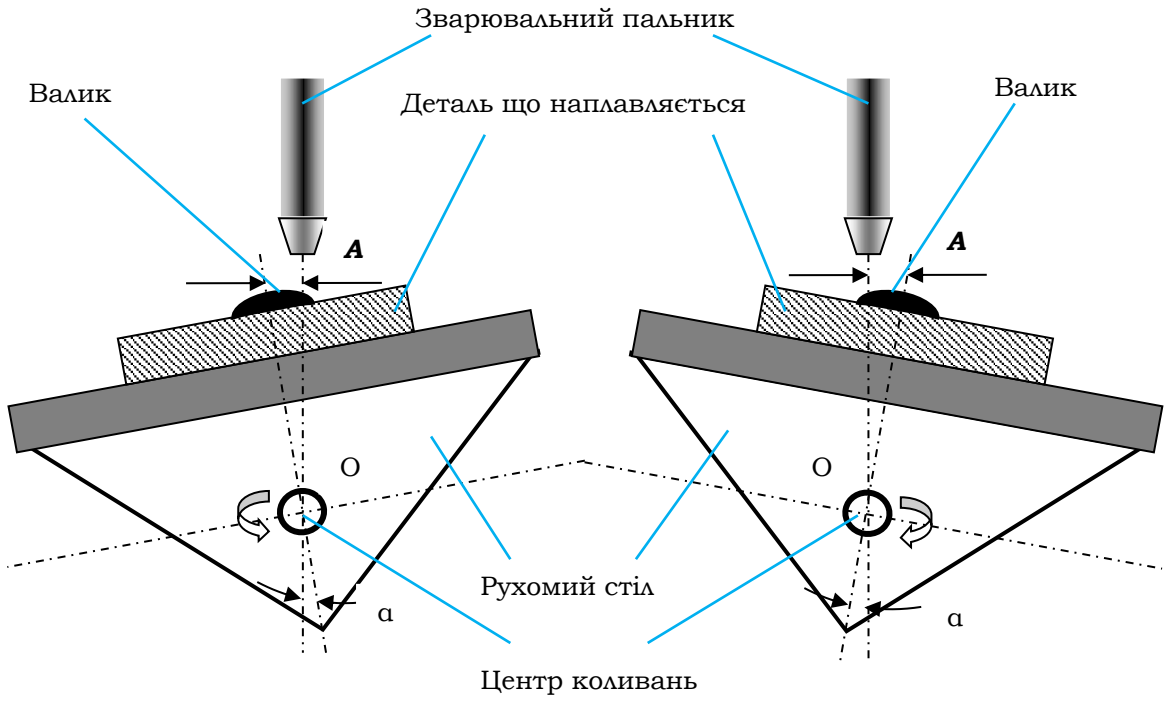


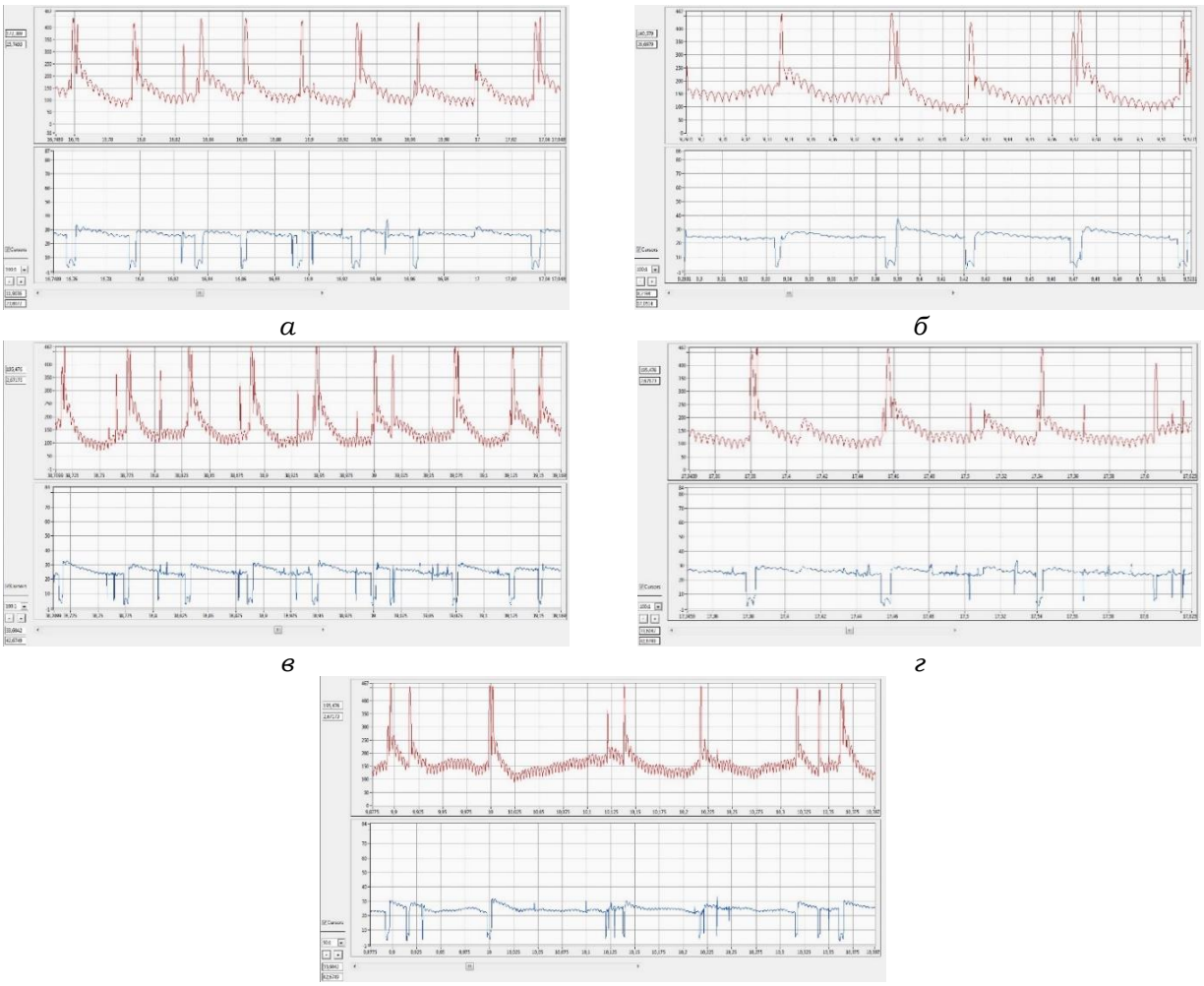
Рис. 7.2. Схема поперечних коливань рухомого столу:
А – амплітуда коливань, α – кут відхилення від осі наплавлення, О – центр коливань

З метою визначення впливу коливань на перенесення електродного металу було проведено осцилографування процесів наплавлення при одному технологічному режимі наплавлення: витрати CO_2 – 9 – 12 л/хв, I_i = 125 А, U = 24 ÷ 26 В, V_i = 14 м/г та коливальних режимах: $À$ = 0,007 м, f = 3 Гц; $À$ = 0,003 м, f = 3 Гц; $À$ = 0,003 м; f = 4,5 Гц; $À$ = 0,007 м, f = 4,5 Гц, а також без коливань (рис. 7.3).

З аналізу осцилограм було встановлено, що частота впливає на перенесення рідкого металу у зварювальну ванну по-різному: значення періоду горіння дуги збільшується всього до 0,041 – 0,042 с на частоті коливань f = 3 Гц та до 0,061–0,071 с на частоті коливань f = 4,5 Гц у порівнянні з наплавленням без впливу коливань. Значення амплітуди незначним чином впливає на величину періоду на частоті f = 3 Гц, але на частоті коливань f = 4,5 Гц зростання амплітуди суттєво збільшує і величину періоду перенесення краплі. Таким чином, спроможність впливу керованих коливань, що накладаються на зварювальну ванну, впливати на перенесення електродного металу має 2 складові: збільшення частоти коливань; збільшення амплітуди коливань.

Визначення характеру впливу коливань ванни на перенесення електродного металу важливо тому, що це суттєво впливає на механічні характеристики наплавленого металу.

Характеристики твердості наплавленого металу при коливаннях ванни. Характеристики твердості наплавленого металу є одними з основних для технології, яка розглядається, і визначалися експериментально [7], [8], [9].



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 7.3. Осцилограми сили струму наплавлення, струму та напруги на дузі:

а – без коливань; б – À = 0,007 м, f = 3 Гц; в – À = 0,003 м, f = 3 Гц; г – À = 0,003 м, f = 4,5 Гц; д – À = 0,007 м, f = 4,5 Гц

Як заготівля для наплавлення були використані прямокутні пластини з низьковуглецевої сталі типу Ст3, завтовшки 8 мм, розміром 34×25 мм. Перед наплавленням кожна деталь була очищена від захисного покриття, іржі та масел за допомогою механічного шліфування. Вуглекислий газ, що використовується в експериментах, був технічний вуглекислий газ – 99,5 % CO_2. Витрата газу лежала в межах 9-12 л/хв. Застосовувався електродний дріт типу СВ 08 Г2С (ER70S-6 - З 0,08; Si 0,9; Mn 1,5) діаметром 1,2 м.

Технологічні режими наплавлення та амплітудно-частотні характеристики коливання столу з наплавленою деталлю розроблені відповідно до методики планування експерименту за методом «латинського квадрата» [9]. Функцією відгуку є величина твердості наплавленого металу і ЗТВ, а незалежними факторами сила струму дуги $I_н$, швидкість наплавлення V_y, амплітуда *А* і частота зовнішніх коливань *f*.

Для вимірювання твердості після наплавлення з усіх зразків були виготовлені мікрошліфи, оброблені механічною обробкою до чистоти 14 класу.

Кожен мікрошліф був підданий хімічній обробці шляхом травлення в 4%-ному спиртовому розчині азотної кислоти протягом 10 с.

Вимірювання величини твердості проводилися у верхній частині, середині та кореневій зоні кожного валика за Віккерсом за допомогою твердоміра LECO M – 400 з навантаженням індентора 1 кг згідно з ДСТУ ISO 6507-1:2007. Результати вимірювань оброблялися методом регресійного аналізу за допомогою програмних пакетів STATISTICA 12 та PTC Mathcad Prime 3.1.

Оптимальний з погляду твердості технологічний режим визначався порівнянням величини твердості за впливу коливань (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Значення твердості наплавленого металу та металу ЗТВ

№ режиму	Режим	Середнє значення твердості наплавленого металу та ЗТВ без коливань, ×107 Па	Середнє значення твердості наплавленого металу та ЗТВ з коливаннями, ×107 Па
1	$I_н$ = 100 А $V_н$ = 0,0028 м/с A = 0,007 м; f = 4 Гц	B = 170,2	B = 191,7
		$B_{зтв}$ = 160,8	$B_{зтв}$ = 216,3
2	$I_н$ = 125 А $V_н$ = 0,0039 м/с A = 0,007 м; f = 3 Гц	B = 166,7	B = 219,7
		$B_{зтв}$ = 170,7	$B_{зтв}$ = 214
3	$I_н$ = 150 А $V_н$ = 0,005 м/с A = 0,007 м; f = 2,5 Гц	B = 214	B = 211
		$B_{зтв}$ = 200	$B_{зтв}$ = 195
4	$I_н$ = 175 А $V_н$ = 0,0061 м/с A = 0,006 м; f = 4 Гц	B = 222	B = 226
		$B_{зтв}$ = 205	$B_{зтв}$ = 229
5	$I_н$ = 200 А $V_н$ = 0,0072 м/с A = 0,003 м; f = 4 Гц	B = 200	B = 195,7
		$B_{зтв}$ = 182,7	$B_{зтв}$ = 214

Для даних значень струму та швидкості наплавлення були побудовані контурні графіки (рис. 7.3) за допомогою пакета Mathcad, з яких видно, що оптимальне значення твердості наплавленого металу та металу ЗТВ буде отримано при частоті f = 3 Гц амплітуді 0,005 м і лежатиме в межах (223÷230) · 107 Па, що збільшить твердість наплавленого металу в середньому на 36 %, а металу ЗТВ на 33 %.

З наведених у табл. 7.1 вибіркових даних можна зазначити, що вплив коливань на остаточну твердість наплавленого металу та зони термічного впливу значний і, що дуже важливо, для подальшої обробки може регулюватися вибором параметрів наплавлення, зокрема характеристиками коливань.

Аналітичне визначення ширини наплавленого валика залежно від амплітудно-частотних характеристик коливання зварювальної ванни. Дуже важливим є питання визначення збільшення ширини наплавленого валика, оскільки це суттєво впливає на продуктивність процесу та на самі характеристики наплавленого шару. При наплавленні на деталь, яка здійснює гармонічні коливання за наперед заданим законом, розширення валика H в процесі коливання зумовлено інерцією центру мас розплаву зварювальної ванни в крайній точці, тобто там, де змінюється напрямок швидкості коливання. Визначається величина розширення за виразом:

$$H = \left| l \frac{d\varphi}{dt} \tau_n + l \frac{d^2\varphi}{dt^2} \frac{\tau_n^{\,2}}{2} \right|, \qquad (7.1)$$

де l [м] – відстань від осі коливання до центру мас розплаву; φ [град] - поточна кутова координата центру мас розплаву зварювальної ванни; τ_n [мкс] – час паузи у крайній точці.

Рішення рівняння (7.1) досить складне. У цьому викладенні ми дамо спрощений кінцевий результат для визначення розширення наплавленого валика в процесі з коливаннями ванни в такому вигляді

$$H = \left| \frac{M_0 \tau_n \omega \pi}{180 m l \sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\gamma^2\omega^2}} \left(\cos(\omega t + \theta) - \omega \sin(\omega t + \theta) \frac{\tau_n}{2} \right) \right|, \qquad (7.2)$$

де M_0 [Н·м] – значення моменту, що крутить, на валу крокового двигуна, ω [рад/с] – кутова частота зовнішніх коливань, яка задана; m [кг] – маса розплаву θ – кут зсуву між M_0 та кутовою координатою $\varphi(t)$; ωо – частота власних коливань розплаву, γ – коефіцієнт, що враховує силу в'язкого тертя.

За розрахунками по виразу (7.2) побудовані графіки (рис. 7.4 та 7.5) для двох технологічних режимів: 1: $I_д$ = 250 А; $U_д$ = 32 В; $V_н$ = 40 м/год; 2: $I_д$ = 200 А; $U_д$ = 25 В; $V_н$ = 27,68 м/год. Проміжні значення для розрахунків представлені в табл. 7.2.

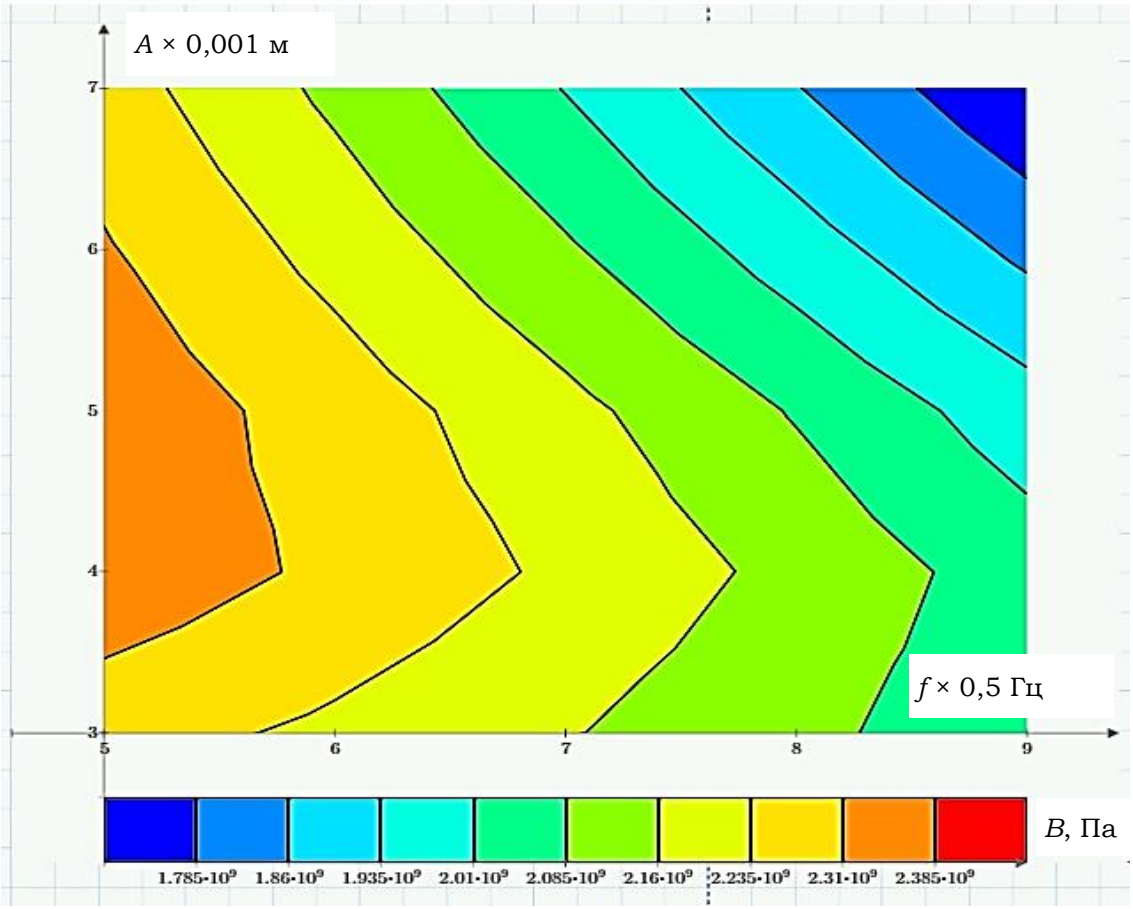


Рис. 7.4. Залежність твердості наплавленого металу при коливаннях ванни від частоти та амплітуди коливань. Технологічний режим 1

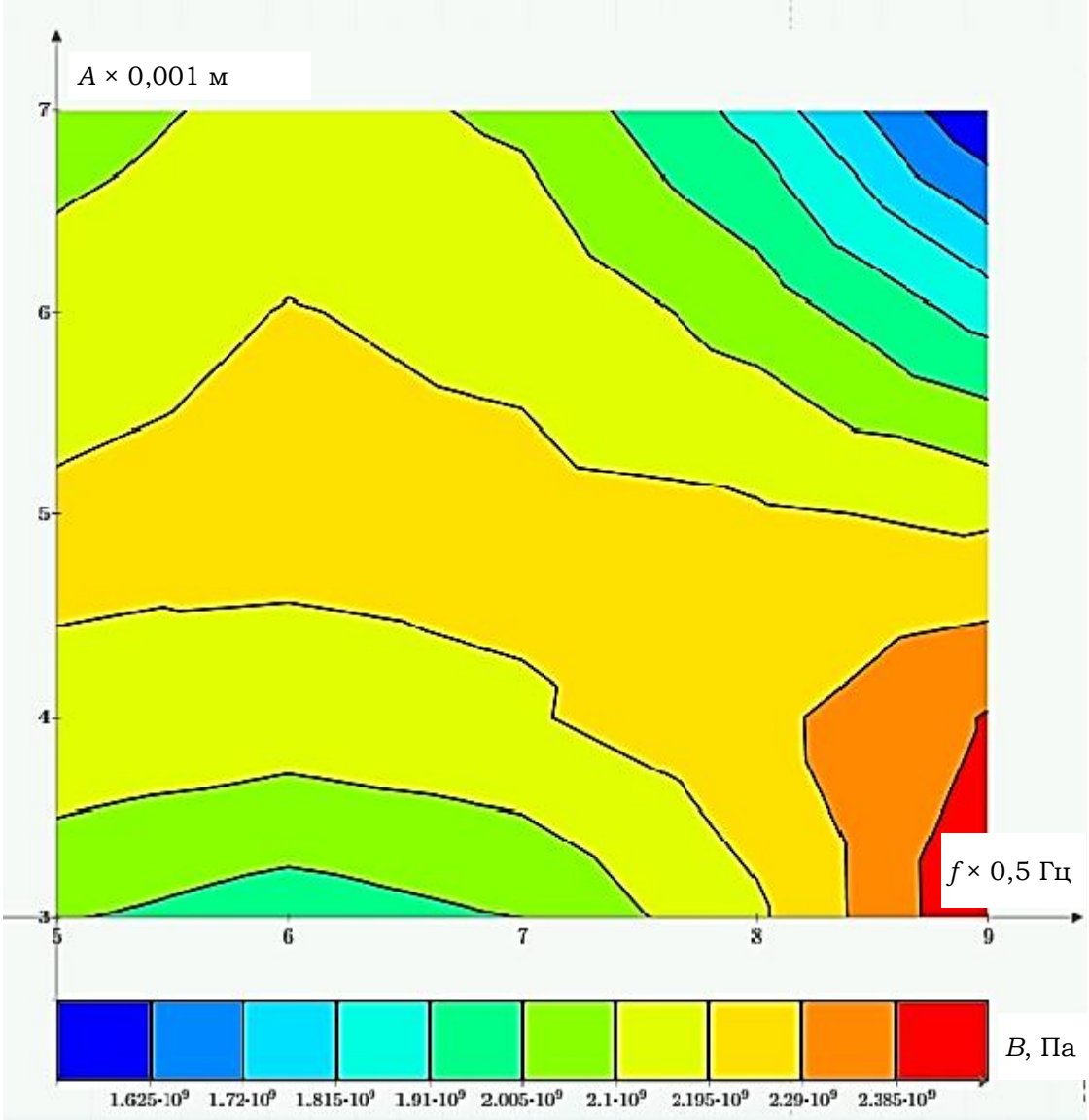


Рис. 7.5. Залежність твердості наплавленого металу при коливаннях ванни від частоти та амплітуди коливань. Технологічний режим 2

Таблиця 7.2 – Дані для розрахунків

f, Гц	*H₁, мм;* ($I_д$ = 250 А; $U_д$ = 32 В; $V_н$ = 40 м/ч)	*H₂, мм;* ($I_д$ = 200 А; $U_д$ = 25 В; $V_н$ = 27,68 м/ч)
10,6	1,0	1,9
11,34	0,9	1,8
12,26	0,85	1,65
13,3	0,8	1.45
14,6	0,7	1,35
16,2	0,64	1,2
18,1	0,57	1,1

На рис. 7.6 представлені для прикладу у вигляді графіків результати інструментальних вимірювань одного з найважливіших розмірів, які характеризують зміну геометричних параметрів наплавленого валика при дії коливань – ширини.

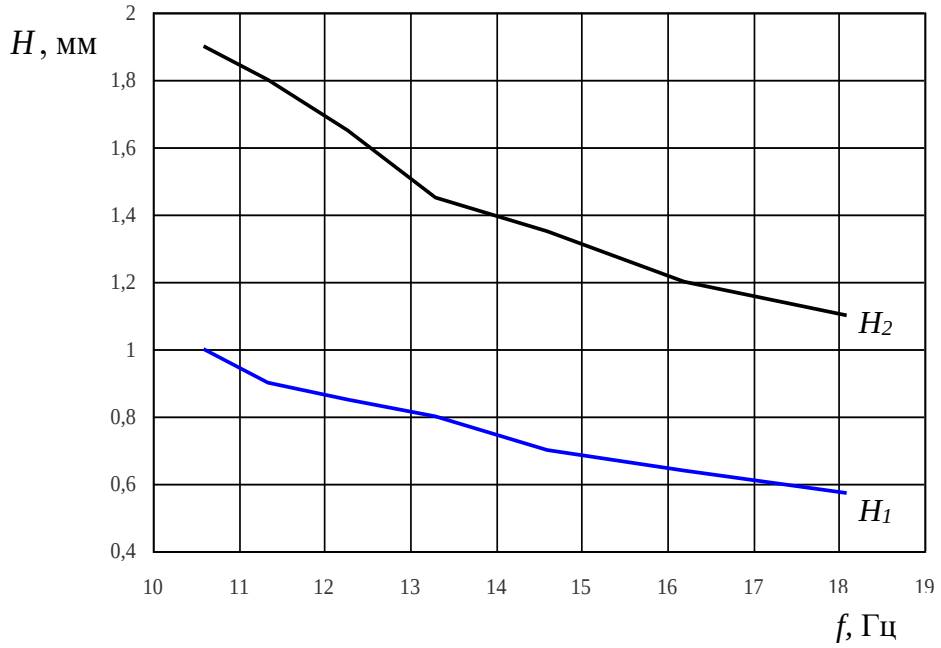


Рис. 7.6. Графіки залежності розширення валика Н від частоти коливання ванни ω, отримані для двох технологічних режимах H_1 - $I_д$ = 250 А; $U_д$ = 32 В; $V_н$ = 40 м/г; H_2 - $I_д$ = 200 А; $U_д$ = 25 В; $V_н$ = 27,68 м/г

Розрахунок механізму коливань. На рис. 7.7 представлено розроблену установку для дугового наплавлення з коливаннями виробу. Механізм коливань установка здійснює гармонійні (синусоїдальні) коливання в напрямку перпендикулярному напрямку ведення наплавного процесу з керованою за частотою та кутом повороту.

З розгляду порівняльних результатів наплавлення випливає, що за всіх інших рівних умов при використанні коливальних режимів роботи установки як зазначалося вище, істотно збільшується ширина наплавленого валика, а це підвищення продуктивності наплавлення, а також зміна в структурі металу шва, зокрема, що стосується кристалічної структури, що веде до підвищення міцності та зносостійкості наплавленої поверхні.

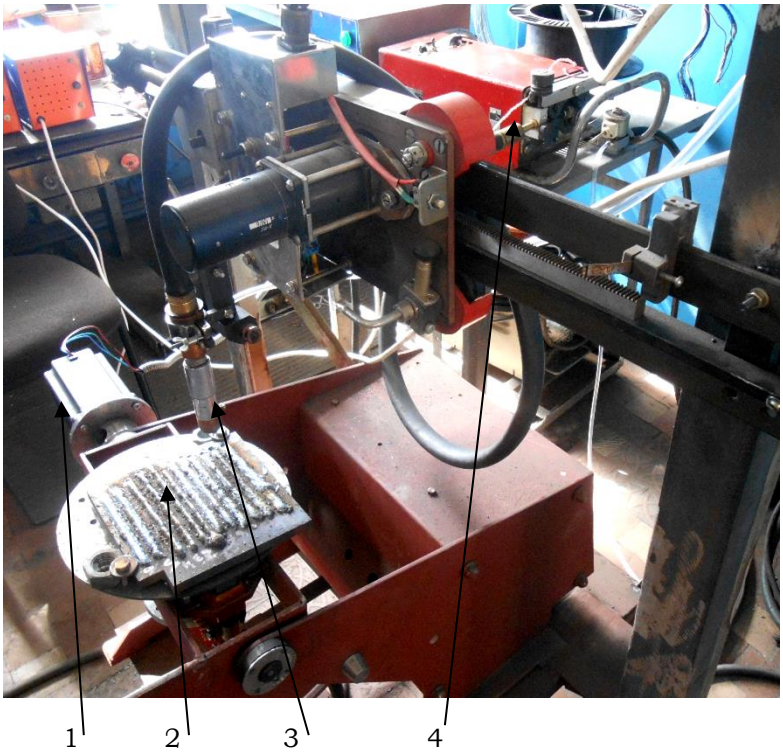


Рис. 7.7. Установка для наплавлення з коливаннями:
1 – привід коливача; 2 – наплавлюваний виріб; 3 – зварювальний пальник; 4 – комп'ютеризована система управління

Спираючись на наявні дослідження, що стосуються коливань виробів, а також зварювально-наплавної ванни, наприклад [10], [11], можна відзначити, що для вирішення комплексу завдань технології зварювання – наплавлення з коливаннями важливим є можливість генерування коливань з досить широким діапазоном частот і амплітуд, а це дозволяє сформулювати основні вимоги до механізму коливань установки:

- оснащення приводним електродвигуном із системою управління та регулювання з високими показниками моменту та мінімально можливими інерційними характеристиками;

- можливість застосування електродвигунів без проміжного редуктора та інших проміжних елементів, що впливають на інерційність системи;

- надійність при роботі з високою частотою реверсивного руху та відтворення заданого алгоритму коливань.

Згідно з вимогами до електродвигуна найбільш відповідними за технічними характеристиками є безколекторні вентильні та крокові електродвигуни з високими значеннями моменту, що крутить.

У межах цієї роботи було випробувано кілька конструкцій зазначених електродвигунів. При цьому з крокових електродвигунів. Необхідно визначити силові та частотні характеристики електродвигуна, що вибирається.

На рис. 7.8 представлені кінематичні схеми механізму коливань у різних фазах циклу рухів.

Позначення малюнку

$\ell_в$ $\ell_{в1}$ - виліт електродного дроту у вихідному стані та у зміненому стані повороту відповідно;

$\ell_и$ $\ell_{и1}$ - товщина виробу, що наплавляється;

$\ell_р$ $\ell_{р1}$-- величина важеля коливання у вихідному стані та в зміненому стані повороту відповідно;

$\ell_с$ $\ell_{с1}$ - зсув зони наплавлення у вихідному стані та у зміненому стані повороту відповідно;

α - кут повороту виробу, що наплавляється:

$\Delta\ell_в$ - Зміна вильоту при повороті виробу.

У механізмі коливань зроблено додаткове регулювання величини важеля коливань зниження кута відхилення, що забезпечує можливість збільшення частоти коливань.

Спочатку визначимо важливі параметри для формування наплавленого валика – збільшення ширини наплавленого валика або зсув місця горіння дуги, а також зміни у величині вильоту електродного дроту при поворотних коливаннях виробу, що наплавляється.

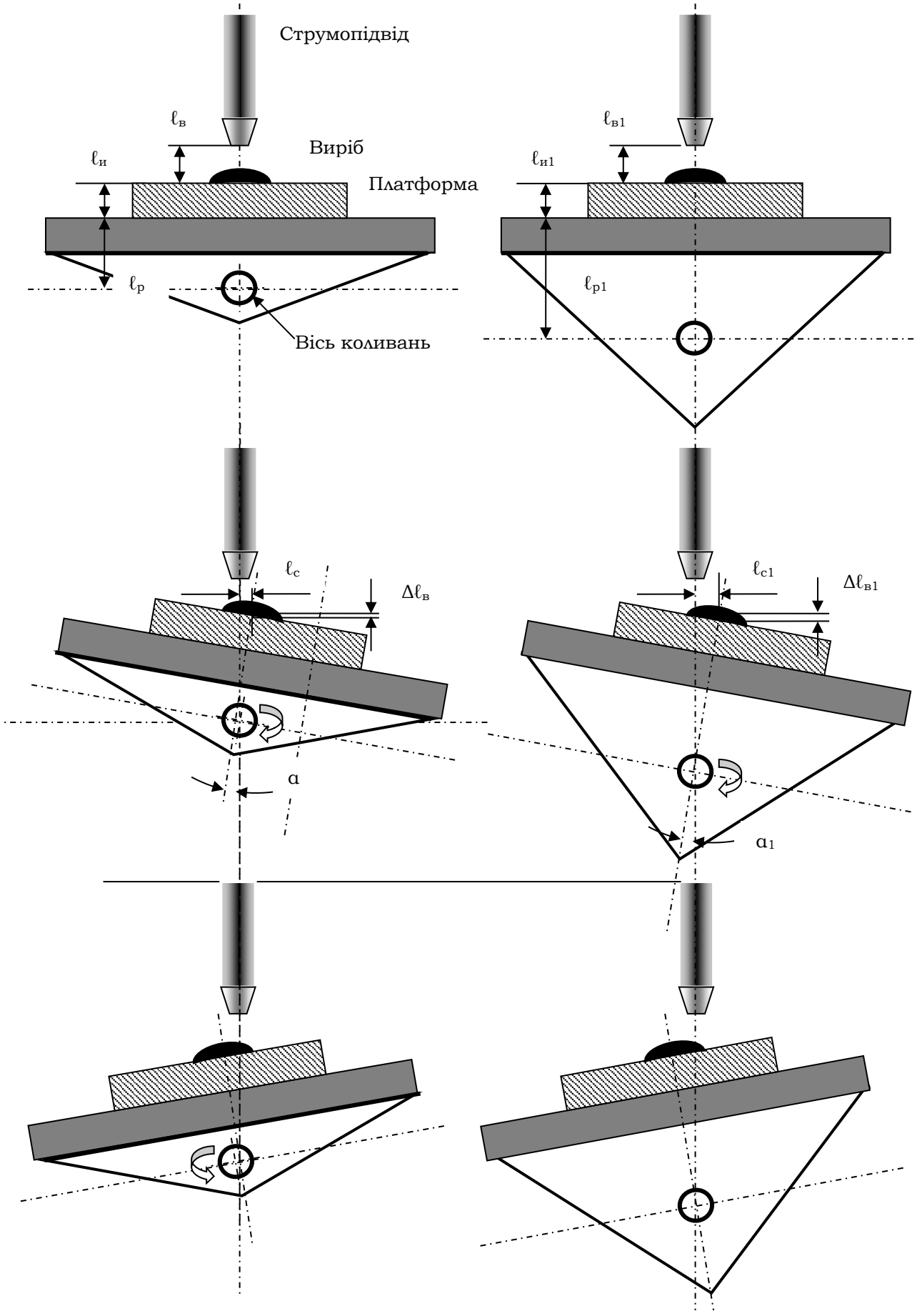


Рис. 7.8. Фази циклу коливань виробу

З геометричних побудов на рис. 7.8 визначаються:

$$\ell_c = (\ell_p + \ell_u)\sin\alpha\,; \tag{7.3}$$

$$\Delta\ell_в = (\ell_p + \ell_u)(1-\cos\alpha)\,. \tag{7.4}$$

З розгляду виразів (7.3) та (7.4) випливає висновок, що завжди виконується співвідношення

$$\Delta\ell_в >> \ell_в\,. \tag{7.5}$$

Для вибору приводного електродвигуна необхідно визначити момент його вала. На рис. 7.9 представлена схема розкладання сил при виконанні коливальних рухів з наплавленою деталлю вагою P і важелем $\ell_p+\ell_u$. Визначимо зусилля, що визначає змінний момент у вигляді

$$F = P\sin\alpha\,. \tag{4}$$

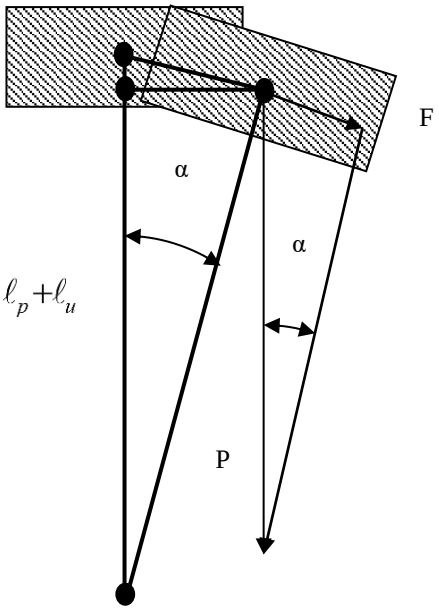


Рис. 7.9. Сили, що діють при повороті коливальника

Розглянемо варіант роботи механізму коливань із синусоїдальним характером симетричних коливань та масою виробу рівномірно та однаково розміщеною щодо осі коливань. У цьому випадку статичний момент навантаження містить активну складову M_a і залежить від кута повороту α приводного валу двигуна . Крім того, в статичному моменті електроприводу є постійна складова M_n, яка залежить від тертя в опорах коливача й механічних втрат у самому електродвигуні. При цьому можна записати вирази визначення крутного моменту M на валу приводного електродвигуна для різних напрямків циклу коливань з постійною кутовою швидкістю ω для поточного часу без урахування періодів розгону та гальмування системи:

1 – при русі від центру коливань $M_1 = M_n - M_a\sin\omega t$ або з урахуванням виразу (7.4)

$$M_1 = M_n - (\ell_n + \ell_u)P\sin\alpha\sin\omega t\,; \tag{7.6}$$

2 – при русі до центру коливань $M_2 = M_n + M_a\sin\omega t$

$$M_2 = M_n + (\ell_n + \ell_u)P\sin\alpha\sin\omega t\,. \tag{7.7}$$

Складова статичного моменту є синусоїдальною кривою з різною амплітудою в негативній і позитивній напівперіоди.

У реальних системах для коливань виробу, що наплавляється зазвичай вага частини виробу щодо центру коливань різний. При цьому коливання об один бік відрізняються від коливань в інший бік від центру коливань відрізняються деякою величиною. При коливанні в бік, де виріб має більшу вагу, навантажують приводний електродвигун моментом:

3 – під час руху від центру коливань

$$M_3 = M_n - (\ell_n + \ell_u)(P + \Delta P)\sin\alpha \sin\omega t\,; \tag{7.8}$$

4 – під час руху до центру коливань

$$M_4 = M_n + (\ell_n + \ell_u)(P + \Delta P)\sin\alpha \sin\omega t\,. \tag{7.9}$$

Для механізму коливань, розроблюваного з вищевказаними завданнями, найважливішим показником є регульована частота коливань, яка здебільшого залежить від усіх сил і моментів, що діють у перехідні моменти.

Так, запишемо рівняння руху системи механізм коливань – приводний електродвигун з урахуванням різних значень моментів M_1, M_2, M_3, M_4 на різних етапах коливання виробів

$$M_д - M_{1,2,3,4,} = J\frac{d\omega}{dt}, \tag{7.10}$$

де $M_д$ – динамічний момент системи з урахуванням електромагнітного моменту приводного електродвигуна; J – момент інерції системи.

Можна помітити, що згідно з рівнянням (7.10) електромагнітний момент на валу електродвигуна врівноважується статичним та інерційним динамічним моментами.

Далі має сенс розглядати тільки варіант найбільш навантаженого варіанта електроприводу механізму коливань статичним моментом рівняння (7.9). Слід зазначити, що значення статичного моменту визначається вагою виробу та платформи, втратами у вузлах гойдання та в самому електродвигуні. І якщо вага виробів, що коливаються, можна визначити досить просто, то інші втрати визначаються в більшості випадків експериментально, так само як і момент інерції системи за методиками, які викладені в технічній літературі.

Можна відзначити, що привід механічного коливача виробу при роботі практично завжди знаходиться в режимі перехідного процесу, при цьому час розгону електродвигуна залежить від інерційних властивостей системи та від обраної системи регулювання електроприводу, а час гальмування визначається системою гальмування системи регулювання. Враховуючи зазначене та рівняння (7.10), уточнимо, що момент на валу електродвигуна залежить від кутової швидкості ω.

$$M = f(\omega)\,. \tag{7.11}$$

Враховуючи, що будуть використовуватися крокові та вентильні електродвигуни – можна покласти, що їх механічні характеристики матимуть лінійний характер. Механічні характеристики механізму коливань пропорційні синусоїдальної залежності, проте в системі, що розглядається, кути відхилень (повороту)

виробу від вертикалі відносно невеликі α = 10...20^0, що дає розглядати з достатньою для вибору електродвигуна точністю механічні характеристики як лінійні. При цьому важливою частиною у виборі електродвигуна та системи його регулювання є визначення часу розгону системи електродвигун - механізм коливань. Враховуючи вищезгадане можна для кутової швидкості записати таке лінійне диференціальне рівняння з правою частиною

$$\frac{d\omega}{dt}+\frac{\omega}{T_m}=\frac{\omega_y}{T_m}, \tag{7.12}$$

де T_m – електромеханічна постійна часу; ω_y – кутова частота обертання вала електродвигуна або коливального руху виробу, що встановилася після відпрацювання перехідного процесу.

Визначення з урахуванням прийнятої сталості та прирівнювання крокових та вентильних електродвигунів до колекторних електродвигунів може бути представлено у вигляді

$$T_m = J\frac{R_я}{(k\Phi)^2}, \tag{7.13}$$

де k і Φ – конструктивні характеристики електродвигуна.

Складно розрахувати параметр T_m, тому його простіше отримати експериментально.

Рішенням рівняння (7.12) з урахуванням нульової початкової частоти обертання буде рівняння експоненти у вигляді

$$\omega = \omega_y(1-e^{-\frac{t}{T_m}}). \tag{7.14}$$

Логарифмуючи рівняння (7.14) і перетворюючи його, отримаємо значення часу t, необхідне для розгону електродвигуна до кутової швидкості ω_y

$$t = T_m \ell n(1-\frac{\omega}{\omega_y}). \tag{7.15}$$

Враховуючи вираз (7.3), а також невеликі значення кута коливань (повороту) виробів α, можна замінити дугу гойдання прямою лінією ℓ_c. У цьому випадку, розглядаючи рух виробу як прямолінійне визначимо для цього випадку середню швидкість переміщення v_{cp}

$$v_{cp} = \frac{(\ell_p+\ell_u)\sin\alpha}{t_u}, \tag{7.16}$$

де t_u – повний час коливального руху виробу.

Середня кутова швидкість переміщення виробу ω_{cp} визначається

$$\omega_{ср} = 2\frac{\alpha}{t_u}. \tag{7.17}$$

Шлях, пройдений механізмом коливань під час розгону приводу з урахуванням постійності динамічного моменту $M_\partial = const$ і початку руху після повної зупинки можна визначити в такому вигляді

$$s_p = \frac{M_\partial t^2}{2J}, \tag{7.18}$$

де M_∂ – динамічний момент системи з урахуванням електромагнітного моменту приводного електродвигуна; J – момент інерції системи.

Зауважимо, що шлях, пройдений при розгоні, S враховує інерційні та силові характеристики коливальної системи.

Шлях, пройдений виробом при русі від крайнього до вертикального при $\frac{\alpha}{2}$ становить

$$S = s_n + s_p, \tag{7.19}$$

де s_n шлях коливального процесу виробу при рівномірному русі.

Прагнучи досягти максимальної швидкодії коливальної системи, тобто отримати максимальну частоту коливань виробу, а отже, ванни рідкого металу слід виконати умову

$$S \le s_p, \tag{7.20}$$

тобто практично виключити рівномірний рух як менш ефективний. Крім цього, необхідно прагнути отримати однаковий ефект наплавлення в різних фазах коливального руху.

Отримання максимально можливої регульованої частоти коливань викликано конструюванням дослідницької установки, використання якої і визнає ефективні характеристики системи коливань, при вибраних за вказаними параметрами технічних можливостях системи.

Нині для систем коливань виробу у зварювальному виробництві найбільш доцільними, з огляду на наш досвід застосування, є високомоментні електроприводи зі згаданими вище кроковими або вентильними електроприводами із сучасними системами управління та регулювання на основі мікропроцесорної техніки як зі зворотними зв'язками по частоті обертання вала, так і простіші – без введення зворотних зв'язків.

Зазначимо, що гальмування системи коливань здійснюється ефективними електричними способами, які в сучасних електроприводах є невід'ємним

елементом алгоритму управління сучасних електроприводів і в цій роботі не розглядаються і не враховуються.

Згідно з вищенаведеними висновками, можна запропонувати такий порядок вибору електропривода з урахуванням робіт, що стосуються процесу наплавлення, для механізмів коливань задають необхідну для процесу частоту коливань механізму *f:*

- Визначається момент на валу електродвигуна з урахуванням статичної і динамічної складових для максимальної ваги виробу і його зміщення щодо напрямку наплавлення;

- далі необхідно задатися кутом повороту виробу $\frac{\alpha}{2}$, що, в результаті, визначає ширину наплавленого валика, а також продуктивність дугового процесу, при цьому половина шляху коливального руху $\frac{\alpha}{2}$ відповідна визначається умовою (7.20);

- визначається повний час (період) коливального руху виходячи з рівняння (7.18) та з урахуванням (7.20)

$$t = 2\sqrt{\frac{2Js_p}{M_д}}. \quad (7.21)$$

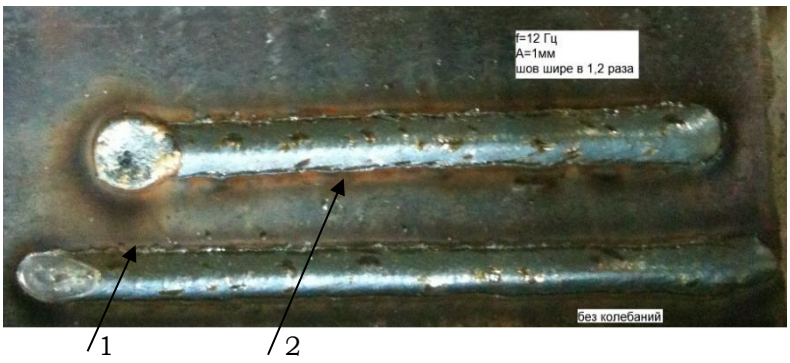


Рис. 7.10. Результати порівняльного наплавлення:
1 – без коливань; 2 – з коливаннями

На підставі наведеного вище алгоритму для експериментальної установки був обраний кроковий електродвигун 2S86Q-01865, 3,4 Nm з комплектною системою управління KINCO-K331-041V. Такий комплект забезпечив коливальний режим роботи установки з керованою частотою коливань виробу, що наплавляється масою 10...12 кг до 8...10 Гц.

Вибраний електродвигун, система керування якого була запрограмована на рішення вищерозглянутої задачі при наплавленні зі швидкістю 12 м/год для відновлювально-зміцнюючого шару електродним самозахисним дротом на поверхню матриці штампового інструменту масою 10...15 кг з кутом коливань порядку основних ефектів та порівнянням зі звичайними технологіями наплавлення;

- розширення наплавленого валика, що представлене на фотографіях рис. 7.10;

- поліпшення структури наплавленого металу в частині подрібнення кристалів та впливом (покращенням) експлуатаційних властивостей, показане на фотографіях рис. 7.11. Найважливішою характеристикою наплавленого шару є його твердість. При цьому, застосовуючи спосіб наплавлення з керованими коливаннями, можна істотно підвищити твердість наплавленого шару, що показано в роботі.

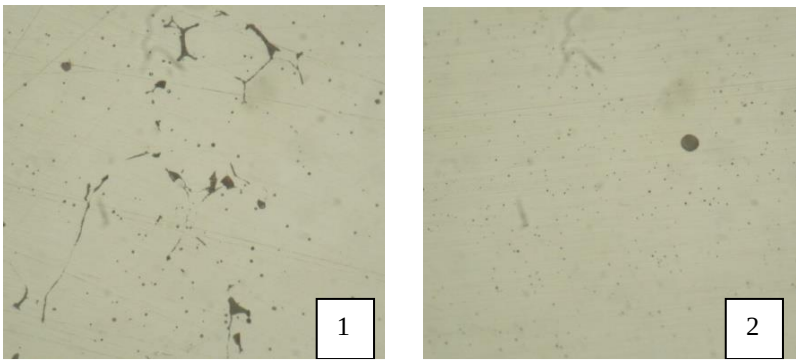


Рис. 7.11. Мікроструктури наплавленого металу:
1 – при наплавленні звичайним способом;
2 – з керованими коливаннями наплавлюваного виробу

У процесі виконання експериментальних робіт із наплавлення з коливаннями виробу було випробувано застосування вентильного електропривода з позитивними результатами.

Розглянутий пристрій-коливач виробу може бути використаний для зварювання металоконструкцій переважно у стик з обробкою, зокрема, коли між елементами, що зварюються, не має гарантованого зазору.

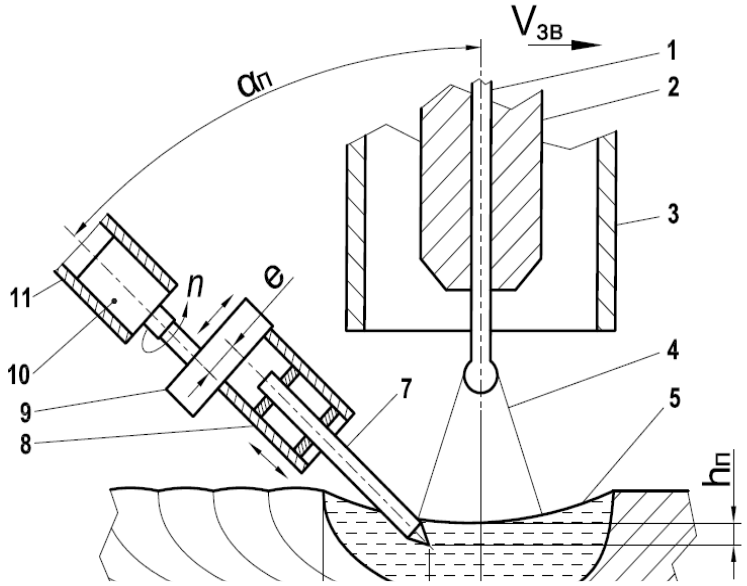


Рис. 7.12. Схема зварювально-наплавного процесу з введенням механічних коливань:
1 – електродна проволока; 2 – струмопідведення; 3 – сопло; 4 – зона горіння дуги; 5 – рідка ванна; 6 – виріб; 7 – стрижень вібратора; 8, 9 – ексцентриковий механізм; 10, 11 – привод

На сьогодні запропонований та випробуваний спосіб зварювання – наплавлення із введенням механічних коливань рідкого металу додатковим вібратором.

Схема технічної реалізації такого способу представлена на рис. 7.12. У рідку ванну позаду дуги під кутом a_n вводиться ексцентриковий вібратор, амплітуда коливань якого визначається подвоєною величиною ексцентриситету e, а частота коливань, що вводять, визначається частотою обертання валу приводного механізму *n*.

При веденні зварювального або наплавного процесів включається вібратор за дугою і переміщається разом з нею зі швидкістю $V_{зв}$, перемішуючи ще рідкий метал. Отримувані ефекти полягають у структуризації наплавленого металу, як наслідок – підвищення механічних властивостей з'єднання чи наплавленого шару.

На фотографії рис. 7.13 наведено порівняльні мікрошліфи для звичайного процесу та процесу з примусовою вібрацією ванни. Наплавлення велося порошковим наплавним дротом ППАН на режимі: струм 210…240 А: напруга 26 В, частота вібрацій 50 Гц.

Наведені вище приклади деяких розробок способів здійснення коливань виробу що зварюється чи наплавляється можуть бути застосовані в інших технологіях, наприклад, напиленні, де установка, представлена на рис. 7.7, може бути корисною.

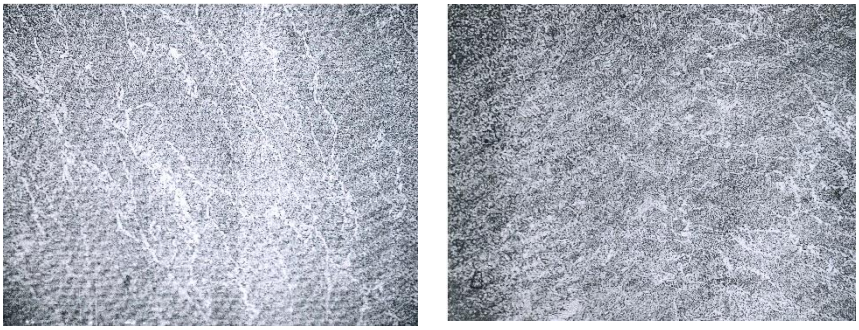


Рис. 7.13. Мікрошліфи наплавлень:
зліва без коливань; праворуч із коливаннями зовнішнім вібратором

Деякий додатковий матеріал щодо викладеного в цьому розділі можна знайти в публікаціях [12], [13], [14], [15].

Література до розділу 7

1. Сутырин Г. В. Исследование механизма воздействия низкочастотной вибрации на кристаллизацию сварочной ванны / Г. В. Сутырин // Автоматическая сварка. – 1975. – № 5. – С. 7–10.

2. Pravin Kumar Singh. Development of vibratory welding technique and tensile properties investigation of shielded metal arc welding joints / Pravin Kumar Singh, Patel D., Shashi B. Prasad // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Pp. 1–6.

3. Evolution of microstructure and residual stress under various vibration modes in 304 stainless steel welds / Chih-Chun Hsieh, Peng-Shuen Wang, Jia-Siang Wang, Weite Wu. // The Scientific World Journal. – 2014. – Article ID 895790. – 9 p.

4. Лебедев В. А. Колебатель изделия для автоматической наплавки / В. А. Лебедев, С.В. Новиков //Технічні науки та технології. – 2020. – № 2. – С. 11-21.

5. Математическая модель процессов сварки и наплавки с управляемыми изменениями вылета электродной проволоки / В. А. Лебедев, С. В. Новиков, С. В. Драган, И. В. Симутенков // Збірник наукових праць НУК. Обробка матеріалів у машинобудуванні. – 2017. – № 1. – С. 48-53.

6. Лебедев В. А. Расчёт скорости наплавки в условиях аддитивных колебаний сварочного инструмента и ванны / В. А. Лебедев, С. В. Новиков //Перспективна техніка і технології. – 2017. – С. 53-60.

7. Lebedev V. A. Study if a Welding Harmonic Oscillation influence on the Welded Metal Hardness and Weld Bead Width / V. A. Lebedev, T. G. Solomichuk, S. V. Novykov // Journal Of Engineering Sciences. – 2019. – Vol. 6. – Pp. 16-21.

8. Influence of weld hjjl harmonic oscillations by frequency up to 4,5 Hz on to the metal structure formation of weld bead and heat affected zone / V. O. Lebedev, T. G. Solomiichuk, S. V. Novikov // Shipbuilding and marine infrastructure. – 2018. – № 2. – С. 168-172.

9. Лебедев В. А. Определение твёрдости наплавленного металла и металла зоны термического влияния (ЗТВ) при низкочастотных колебаниях сварочной ванны / В. А. Лебедев, С. В. Новиков, Т. Г. Соломийчук // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2019. – № 2. – С. 54-61.

10. Lebedev V. A. The hypothesis of formation of structure of surfacing based on the application of the prognostic algorithm of control electrode wire speed / V. A. Lebedev, S. V. Novikov // Journal of Engineering Sciences. – 2017. – Vol. 4, Issue 2. – Pp. B15-B18.

11. Лебедев В. А. Влияние принудительных колебаний сварочной ванны на размеры кристаллитов / В. А. Лебедев // Актуальні напрями матеріалознавства: збільшення ресурсу конструкцій на основі конвергенції сучасних технологій обробки матеріалів : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (24-25 вересня 2020). – Харків : ХНАДУ, 2020. – С. 35-37.

12. Применение импульсных воздействий при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов / В. А. Лебедев, С. В. Драган, Г. В. Жук, С. В. Новиков, И. В. Симутенков //Автоматическая сварка. – 2019. – № 8. – С. 30-40.

13. Лебедєв В. О. Практичне застосування дугового автоматичного наплавлення з керованими коливаннями виробу / В. О. Лебедєв, С. В. Новиков // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції. Краматорськ – Тернопіль, 2022. – С. 132-133.

14. Лебедєв В. О. Універсальний маніпулятор з можливістю низькочастотної вібраційної обробки зварювальної ванни. Патент на корисну модель №80823 / В. О. Лебедєв, С.Ю. Максимов, І. В. Лендєл. – Публікація відомостей 10.06.2013, Бюл. № 11.

15. Управление формированием структуры шва при воздействии низкочастотными механическими колебаниями на расплав сварочной ванны (Обзор) / В. А. Лебедев, С. В. Драган, С. В. Новиков, И. В. Симутенков //Збірник наукових праць НУК. Обробка матеріалів у машинобудуванні. – 2017. – № 3. – С. 21–28.

РОЗДІЛ 8
Зварювальне обладнання західних фірм з використанням імпульсних та деяких інших різних алгоритмів функціонування систем

Імпульсні технології для зварювання в сучасному обладнанні. У межах виробничого процесу зварювання стає дедалі більш важливим фактором якості та економічності. Відповідно, зростає і рівень вимог, що ставляться до зварювального обладнання. Безперечно, воно має зварювати швидко, точно й ефективно. При цьому керування напівавтоматом або автоматом має бути якомога інтуїтивнішим і простішим. Зрозуміло, і результат повинен відповідати високим вимогам. Тому особливого значення набувають інноваційні рішення, що відкривають нові шляхи для оптимального вирішення повсякденних завдань. Інакше кажучи: рішення, що допомагають зварювати ще краще.

Тенденції розвитку обладнання для електродугового зварювання та наплавлення викладені в роботах [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10] та багатьох інших.

Приклади зразків обладнання провідних фірм-виробників сучасного зварювального обладнання, які дані в цьому розділі можна знайти за відповідними електронними посиланнями robot-FANUK - brochure-ua.pdf.

Ці та інші проблеми, що виникають при зварюванні, можна вирішити, використовуючи імпульсні алгоритми роботи основних систем зварювального обладнання, що розробляються на основі цифрових систем управління та регулювання.

Майже всі закордонні фірми, розробки яких розглядаються в цьому розділі, базуються на використанні імпульсних способів управління зварювальним процесом, зокрема при організації процесу перенесення електродного металу. При цьому основні результати одержано при застосуванні інверторних джерел зварювального струму. Імпульсні алгоритми в управлінні подачею електродного дроту як основного засобу впливу на процес зварювання практично відсутні.

Важливо особливо підкреслити, що в порівнянні з традиційним обладнанням, імпульсні способи управління процесом вигідно відрізняються низьким розбризкуванням і димоутворенням. Оскільки завдяки низькому розбризкуванню у зварюване з'єднання попаде більше наплавленого металу, це робить витрату зварювальних матеріалів ефективнішим. Також це дозволяє витрачати менше часу на очищення поверхні від бризок, що приварилися. Низьке димоутворення робить робоче середовище на всьому підприємстві безпечнішим – вирішення однієї з екологічних проблем.

Для імпульсного зварювання характерно більш контрольоване тепловкладення, яке дозволяє скоротити деформації і поліпшити якість і зовнішній вигляд шва. Це особливо важливо при зварюванні нержавіючої сталі, нікелю та інших сплавів із високою чутливістю до тепловкладання.

Апарати для імпульсного MIG-зварювання більш універсальні, оскільки вони дозволяють використовувати дріт певного діаметра з ширшим діапазоном швидкості подачі. Наприклад, якщо раніше зварювальнику доводилося запасатися для різних завдань дротом діаметром 0,8; 1,0 і 1,2 мм, то з імпульсним апаратом він може обмежитися діаметром 1,1 мм. Іншими словами, замість двох-трьох різних котушок дроту зварювальнику знадобиться лише одна. Це дозволить знизити витрати на зберігання матеріалів та простий через зміну касет із дротом. Те саме стосується захисного газу – та сама газова суміш може використовуватися для різних завдань. Відповідно, для роботи знадобиться менше аксесуарів (пальників, наконечників, дротопроводів тощо), що ще більше зменшить супутні витрати.

Імпульсне зварювання MIG має високу продуктивність процесу. Крім того, обладнання для імпульсного зварювання більш універсальне і простіше в обігу порівняно з іншими методами перенесення металу, тому на навчання зварювальника йде менше часу.

Переваги імпульсного зварювання забезпечують високу якість зварювання та стабільність дуги. Крім того, зварювальникам не потрібно витрачати багато часу на витяжку диму, очищення поверхні від бризок та шліфування. При цьому не потрібна висока кваліфікація зварювальника.

Загальні відомості про відомі західні фірми та їх обладнання. Насамперед треба зазначити, що звичайні трансформаторні джерела зварювального струму без перетворення частоти виробляються західними фірмами й находять застосування у промисловості. Це особливо стосується зварювального обладнання великих потужностей, а також тих, що не потребують складного обслуговування та ремонту. Для прикладу зазначимо джерела зварювального струму зі ступеневим регулюванням вихідних параметрів. Це Kempoweld (Фінляндія), Esabmig (Швеція), Variostar (Австрія) та деякі інші. Ці джерела використовуються для комплектування як напівавтоматів, так і автоматичного зварювального обладнання та часто в обладнанні для наплавлення з використанням, зокрема, порошкових дротів при веденні процесів з великими значеннями струму.

Рис. 8.1. Зварювальний напівавтомат Esab Origo Mig

На рис. 8.1 представлено напівавтомат фірми Esab (Швеція), який укомплектований звичайним випрямлячем зі ступеневим вибором вихідної (зварювальної) напруги. Ця конструкція напівавтомата й в теперішній час випускається серійно й має постійний попит, зокрема й в Україні.

Раніше й сьогодні постійно з’являються нові способи й обладнання імпульсно-дугового зварювання та наплавлення, яке розробляється та виробляється провідними західними фірмами, з-поміж

яких треба відзначити, наприклад, фірму Kemppi (Фінляндія), фірму Fronius (Австрія), фірму Esab (Швеція) та багато інших. При цьому треба згадати, що на фірмі Esab вперше з'явилося в 80-х роках XX сторіччя синергетичне обладнання для зварювання.

Варто зауважити, що фірма Fronius має потужну філію в Україні й випускає продукцію, яка має достатньо стійкий попит на підприємствах машинобудівної та інших галузей господарства. Можна зазначити, що нові технології механізованого й автоматичного електродугового зварювання з'являються досить часто і згадати про всі неможливо, тому що деякі з них є варіантами вже застосованих технологій. Можна окремо зауважити, що нові технології базуються на використанні інверторних джерел живлення і реалізації запропонованих алгоритмів імпульсно-дугових процесів, а також спеціальних режимів роботи механізмів подачі електродного дроту - реалізації запропонованих алгоритмів реалізації імпульсно-дугових процесів.

На рис. 8.2 представлені показові зразки напівавтоматів деяких провідних фірм світу в галузі виробництва зварювального обладнання.

а *б*

Рис. 8.2. Сучасні конструкції напівавтоматів з інверторними джерелами живлення зварювальної дуги та синергетичним управлінням фірм:
а – Fronius; б – Kemppi X5 FastMig 400 W synergic

Найбільш поширені сучасні технології зварювання в обладнанні західних фірм. Зупинимось на технологіях, які вже набули визнання спеціалістів зварювального виробництва й широко використовуються в обладнанні західних фірм, у том числі й згаданих вище. Відзначимо такі імпульсно-дугові технології, як STT, SpeedPulse, ColdArc, ForceArc, CMT та інші.

Насамперед приділимо увагу одному особливому способу керованого нестаціонарного процесу з короткими замиканнями дугового проміжку - управління перенесенням електродного металу з використанням сил поверхневого

натягу. Це, так званий процес STT (Surface Tension Transfer), суть якого полягає в здійсненні прецизійного контролю та управління струмом дугового процесу при напівавтоматичному зварюванні в кожному циклі короткого замикання. Алгоритм такого управління забезпечує перехід краплі електродного металу в рідку ванну переважно за рахунок сил поверхневого натягу, забезпечуючи при цьому малі значення енергетичних параметрів джерела зварювального струму. Така технологія реалізується за допомогою джерел живлення дуги інверторного типу, здатних створювати необхідний процес струм протягом мікросекунд. Результатами використання технології STT є такі технологічні ефекти (за даними фірми LINCOLN ELECTRIC, де розглянута технологія була вперше реалізована в зварювальних напівавтоматах):

- зниження розбризкування електродного металу на 90 %;

- зменшення димоутворення взагалі та викиду зварювальних аерозолів зокрема на 50 %;

- зниження сумарної кількості тепла, що вводиться в деталь, що помітно знижує зварювальні деформації і ймовірність пропалів.

У процесі STT використовується швидкодійне джерело живлення дуги, яке дозволяє якісніше керувати формою струму зварювання (Waveform Control Technology). Ця технологія забезпечує значні переваги в порівнянні з традиційним зварюванням MIG.

CMT - Cold Metal Transfer – холодне перенесення металу. В основі цієї технології лежить принцип дугового зварювання короткозамкнутою дугою, а точніше – принцип планового систематичного переривання такої дуги. У результаті послідовних «холодних» імпульсів значно знижується тиск дуги, що забезпечує високу стійкість процесу й надає широке технологічне «вікно». Це зручно, наприклад, у разі різкої зміни положення зварювального пальника.

Від добре знайомої технології дугового зварювання короткозамкнутою дугою CMT відрізняють: система контролю переміщення дроту, інтегрована в цифровий пристрій управління технологічним процесом; знижений коефіцієнт тепловкладання; мінімізоване розбризкування в процесі перенесення металу. Колись це здавалося недосяжним, але стало можливим завдяки двом взаємопов'язаним явищам: зворотно-поступальному руху дроту та контрольованому короткому замиканню.

Сьогодні ці системи широко використовуються в усьому світі, зокрема в Україні. Особливо це актуально для наплавлення та відновлення дорогих деталей із хромонікелевих сплавів.

До цього складу в наплавленому шарі зварювання вироблялося 2 або 3 рази, що робило процес дуже затратним. Якщо на один шар потрібно 7 кг дуже дорогого нержавіючого хромонікелевого дроту, то на три проходи, відповідно, – 21 кг. При CMT задані параметри та основне – підштовхує дріт ззаду. Для того щоб відокремити пристрої один від одного, між ними розташований буфер для дроту, що компенсує інверсні рухи. Це дозволяє переміщати дріт практично без зусиль.

На кінограмах рис. 8.3 представлено процес зварювання в захисному газі (суміш) з короткими замиканнями дугового при використанні CMT технології. На кадрах видно відпрацювання механізмом подачі руху електрода при короткому замиканні.

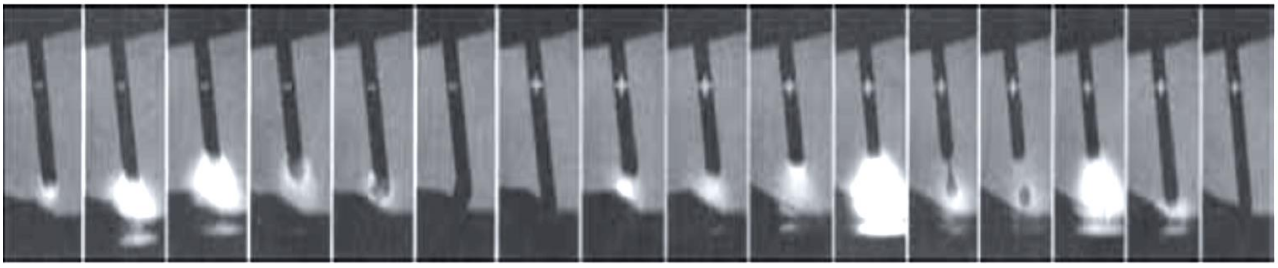


Рис. 8.3. Кадри кінограм процесу зварювання короткими замиканнями при використанні CMT технології

Відома фірма EWM (Німеччина) розробила й реалізовує у своєму обладнанні процес Cold Arc, який призначений для зварювання з короткими замиканнями й дозволяє зварювати стальні металоконструкції досить малими товщинами (від 0,3 до 1,2…2,0 мм), а також оцинковані сталеві листи, керувати зварюванням кореневих швів у важкодоступних місцях, здійснювати зварювання магнієвих сплавів, зварювання з'єднань сталь – алюміній, сталь – магній, алюміній – магній.

Фірма Kemppi розробила нових технологій зварювання та організувала випуск обладнання з цими технологіями. Для прикладу технологія Fast Root фірми Kemppi досить поширена і здійснює процес із короткими замиканнями на основі цифрового управління зварювальним струмом та напругою. Технологія Fast Root здебільшого розроблена та застосовується для зварення кореневих швів, вона також з успіхом може застосовуватись для зварювання тонких металоконструкцій.

Слід зазначити, що останнім часом перспективним напрямом у технології та обладнанні для зварювання є роботи з управління формою імпульсу струму.

Спеціалісти з Японії також працюють над удосконаленням процесу дугового зварювання з короткими замиканнями. Становить інтерес розробка з управління формою струму зварювання технології SP-MAG (superimposition – накладання струмів). До переваг цього способу належать дуже мале розбризкування металу, стабільність горіння дуги, можливість управління тепловкладенням. Розроблена система управління цим процесом MTS (Metal Transfer Stabilization) запобігає виникненню великих (крапель) бризок, що сприяє зменшенню розбризкування.

Можна зазначити, що виробники під різними торговими марками виготовляють та розповсюджують обладнання для зварювання процесами з короткими замиканнями зі згаданими та іншими перевагами. Це обладнання застосовується в різних галузях промисловості – автомобільній, транспортному машинобудуванні, створенні конструкцій із тонколистового металу.

Удосконалюються і інші технології на основі застосування електродугових процесів. Для прикладу приведемо процес зварювання зі струйним та струйно-обертальним перенесенням електродного металу. Вищезгадана фірма EWM розробила та видала на ринок обладнання Integral – invertor MIG 500 HIGH – SPEED, яке реалізує високошвидкісне зварювання обертальною дугою.

Зазвичай процеси зварювання з підвищеним вильотом електрода та переходом до дуги технологічно застосовувалися мало. Спеціалісти фірми EWM застосували суцільні електродні дроти діаметром 1, 2 мм та суміш захисного газу у складі Ar + 4 % CO_2. Довжина вильоту становила 25…35 мм, швидкість зварювання досягла 30 м/год. Це забезпечило суттєве підвищення продуктивності виконання зварювальних робіт особливо при з'єднанні з виконанням довгих швів при дотриманні високих показників їхньої якості. При цьому збільшується коефіцієнт наплавлення, що зменшує кількість проходів і знижує забезпечення необхідної ширини обробки зварного шва.

Процес (функція) SpeedArc та його модифікації розроблений відомою фірмою LORCH (Німеччина) був націлений на вирішення задач подальшого підвищення якості товстолистових з'єднань що зварюються, із забезпеченням гарантованого проплавлення в корені шва, а також MIG та MAG зварювання у вузьку обробку. Функція SpeedArc на відміну від стандартної струйної дуги підтримує впевнений струйний процес перенесення електродного металу більш короткою дугою. Завдяки підвищеному плазмовому тиску дуга стає більш сфокусованою і дуже стійкою, що забезпечує більш глибоке проплавлення. При цьому знижується тепловкладення в основний метал, знижується ймовірність виникнення підрізів при формуванні шва.

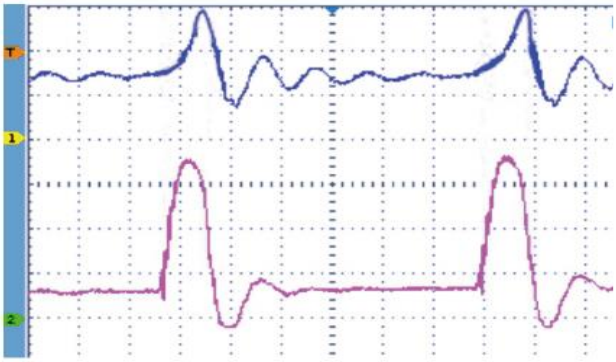


Рис. 8.4. Осцилограми струму та напруги при зварюванні з використанням технології SpeedArc

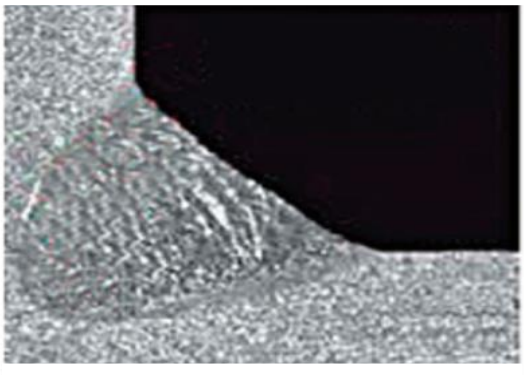


Рис. 8.5. Макрошліф шва при зварюванні з використанням технології SpeedArc

На рис. 8.4 та 8.5 представлено відповідно характерні осцилограми процесу зварювання із застосуванням функції SpeedArc та мікрошліф кутового з'єднання виконаного з застосуванням цього процесу.

Схожий за результатами на вищезгаданий процес розробила фірма LINCOLN ELECTRIC. Це процес RapidArc.

З осцилограм можна визначити, що ці два процеси відбуваються з короткими замиканнями. У момент короткого замикання здійснюється зниження струму до якогось базового значення, а іноді й нижче його. Це забезпечує перенесення крапель без розбризкування. Тут треба нагадати, що взагалі розбризкування відбуваються як наслідок «вибуху» перемички і як наслідок росту струму короткого замикання.

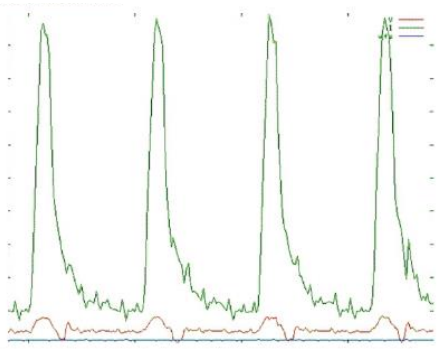


Рис. 8.6. Осцилограми струму та напруги при зварюванні з використанням технології RapidArc

На рис. 8.6 та 8.7 дані відповідно характерні осцилограми процесу зварювання із застосуванням функції RapidArc та макрошліф кутового з'єднання, виконаного із застосуванням цього процесу.

Процеси SpeedArc, RapidArc та багато інших можна було створити та втілити в обладнання за наявності сучасних джерел зварювального струму інверторного типу. Порівнюючи та аналізуючи відповідні мікрошліфи можна ще раз підкреслити що для обох технологій характерно досить вузьке глибоке проплавлення. Сам процес сфокусованою дугою, крім зазначеного, достатньо продуктивний, а збільшення швидкості зварювання відбувається без втрат якості з'єднань, які зварюються.

Окреслимо основні напрями застосування процесів зварювання короткою дугою з короткими замиканнями дугового проміжку, розробки яких є у провідних фірм:

- зварювання тонколистового металу;
- зварювання товстолистового металу;
- зварювання кореневих швів;
- зварювання вузької розробки
- зварювання легованих металів та сплавів.

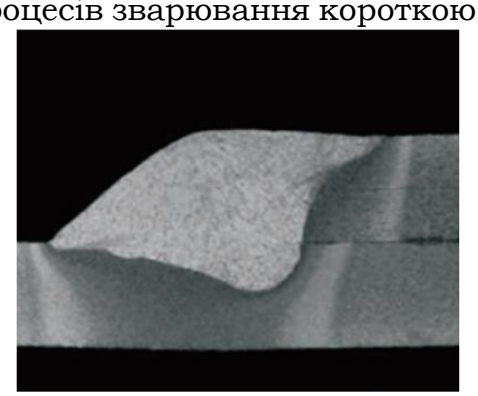


Рис. 8.7. Макрошліф шва при зварюванні з використанням технології RapidArc

Розглянемо більш детально дуже цікавий і вже згадуваний процес зварювання «холодною» дугою Cold Arc фірми EWM. Цей процес малої потужності здійснюється без будь-яких механічних впливів на подачу електродного дроту. Управління процесом та всі необхідні дії для цього відбуваються виключно за рахунок джерела зварювального струму. Процес забезпечує зварювання короткою дугою і характеризується циклічною зміною фаз горіння дуги та короткого замикання. Оскільки напруга при збудженні дуги є вирішальним критерієм ефективності зварювання тонкого металу, то вона найбільш впливає на динаміку підводу енергії всього процесу й передусім на живлення дуги і таким чином визначає параметри процесу при регулюванні сили струму. Цей процес показаний на рис. 8.8 з відповідними осцилограмами струму й напруги на рис. 8.9. Для цього необхідно безперервно вимірювати напругу й відповідним чином реагувати на її зміну (високодинамічне регулювання миттєвих значень). Завдяки цифровому процесу обробки сигналів (DSP) можна відключити енергію від дугового процесу менш

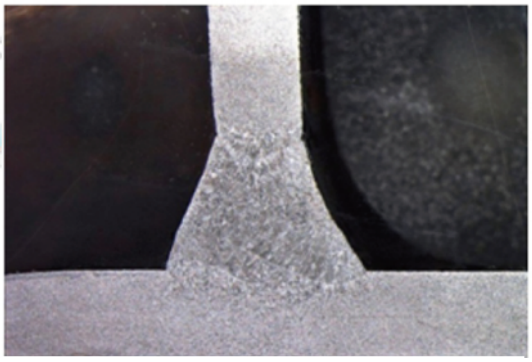


Рис. 8.8. Мікрошліфи з'єднання при зварюванні процесом ColdArc

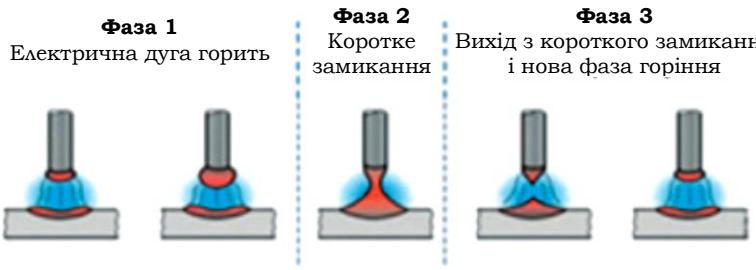


Рис. 8.9. Фази горіння дуги й перенесення електродного металу та осцилограми процесу Cold Arc

ніж за одну мікросекунду до запалювання в результаті таких дій запалювання пройде м'яко. При цьому на кінці електрода може одразу утворитися достатня кількість розплавленого металу і це підвищить вимоги для енергії. Тому безпосередньо перед запаленням дуги сила струму за короткий час збільшиться до так званого імпульсу розплавлення Для того щоб мінімізувати плавлення, відбувається перехід на низьке значення струму і починається наступна фаза. Через імпульс розплавлення після кожного короткого замикання на кінці електрода створюється великий розплавлений конус (купол), що приводить до дуже рівномірного протікання процесу. Тільки завдяки цьому стало можливим працювати у фазах між короткими замиканнями з дуже малими значеннями сили струму. При цьому нема потреби к наступному плавленні дроту чи гасінні дуги. Це все гасить сам процес зварювання. На рис. 8.11 представлений макрошліф шва, виконаний з використанням процесу Cold Arc.

Технологія фірми Kemppi під назвою Wise Thin розроблена спеціально для зварювання тонколистових металоконструкцій. Вона керує кожною краплею. Цей момент забезпечує більш м'який процес збудження дуги після короткого замикання та мінімізує тепловий та силовий вплив на зварювальну ванну.

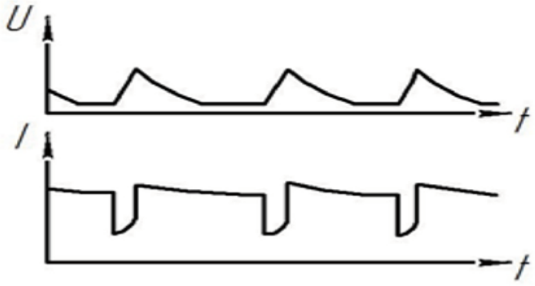


Рис. 8.10. Осцилограми напруги та струму при зварюванні з використанням процесу ColdMIG

Фірма Merkle запропонувала свій варіант процесу керування перенесенням електродного металу під назвою ColdMIG. Слід підкреслити, що тепловіддача в цьому процесі на 20…30 % менше, ніж у звичайному процесі при зварюванні короткою дугою. На рис. 8.10 представлена характерна осцилограма процесу ColdMIG, а на рис. 8.11 одержані результати у вигляді макрошліфа кутового з'єднання.

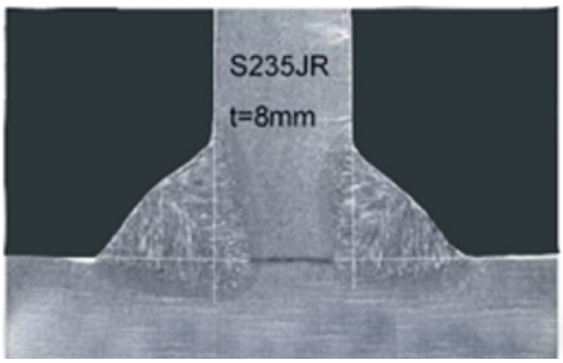


Рис. 8.11. Макрошліфи кутового з'єднання при зварюванні способом ColdMIG

Аналогом розглянутих процесів є процес Precision Pulse, який пропонує фірма LINCOLN ELECTRIC у своєму обладнанні.

Підкреслимо сфери практичного застосування технологій зварювання «холодною дугою»:

- якісне зварювання тонколистових металоконструкцій у діапазоні товщин 0,6…3,0 мм;
- можливість зварювання деталей із великим зазором;
- MIG – паяння з низкою тепловіддачею;
- зварювання різнорідних металів;
- зварювання металів з покриттями, наприклад оцинковані листи.

Зварювання вертикальних швів. Раніше ми вже зверталися до проблеми зварювання швів у положеннях, відмінних від нижнього, у тому числі й на вертикальній площині. При цьому було вказано як ця проблема вирішується за допомогою систем з керованою імпульсною подачею електродного дроту, які є розробками ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.

Імпульсні процеси, технології яких розроблені відомими західними фірмами з використанням сучасних джерел зварювального струму ефективно допомагають при формуванні швів при зварюванні вертикальних з'єднань. Для прикладу розглянемо зварювання вертикальних швів знизу – наверх.

Сучасні можливості звичайного MIG та MAG зварювання, без застосування складних рухів пальником (техніка напівавтоматичного зварювання ялинкою або з поперечними коливаннями) досягається при застосуванні двох комбінованих технологій або двох фаз горіння дуги. Перша фаза або так звана гаряча фаза дії струму великої сили з високою силою подачі електродного дроту для оптимального рівня розплавлення електрода. Далі без переходу й таким чином практично без бризок наступає друга фаза – холодна фаза. Цей цикл відбувається завдяки застосуванню спеціальної програми ідеального автоматичного регулювання.

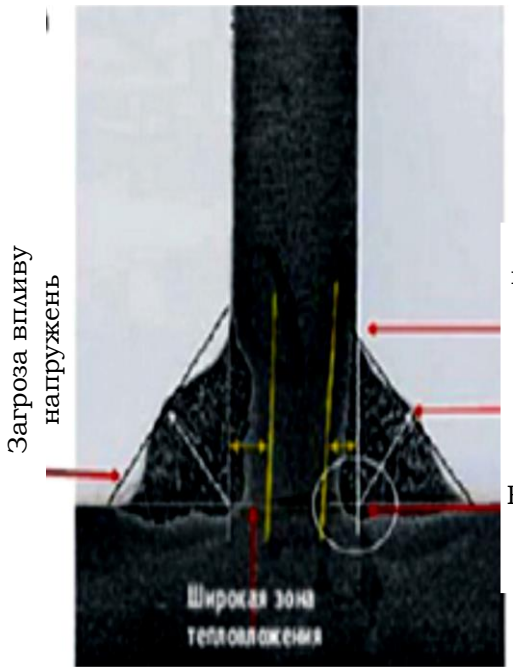
Звичайно, виконання зварювання вертикальних швів традиційним MIG та MAG способом потребує від зварника певної кваліфікації та вміння.

Фірма LORCH розробила ще один процес зварювання – SpeedUp. Застосовуючи відповідне обладнання з функцією цього процесу зварнику не потрібно виконувати складні рухи типу ялинка, або поперечні рухи. Йому потрібно з певною постійною швидкістю вести пальник по лінії зварювання. Зварювальний напівавтомат своєю системою управління сам побудує алгоритм імпульсів для того, щоб забезпечити впевнений провар кореня шва й отримати якісне формування з'єднання з плавним переходом до основного металу. Порівняльні шви при виконанні зварювання на вертикальній площині показані на макрошліфі рис. 8.12.

Можна додати перелік деяких суттєвих переваг використання процесу зварювання – SpeedUp:

- зварювання відбувається практично удвічі швидше, ніж при використанні звичайного процесу;
- досягається оптимальне формування шва з гарним товарним виглядом;
- вирівнюється структура металу шва

Можна згадати ще декілька зарубіжних фірм, які успішно вирішують проблеми зварювання в положеннях відмінних від нижнього. Зокрема, для цієї технології розроблений фірмою Merkle процес HighUp, який базується на алгоритмах імпульсного впливу DeepARC та PULSE.



а б

Рис. 8.12. Вертикальний шов:
а – техніка виконання "ялинка";
б – техніка виконання –SpeedUp

Області використання розроблених процесів для зварювання вертикальних швів можна визначити таким чином:

- зварювання вертикальних швів знизу до верху;
- зварювання тонколистових металоконструкцій;
- зварювання металів та сплавів із високими показниками плинності

Взагалі треба відзначити що різні фірми розробляють достатньо схожі по дії технології впливу на зварювальний процес, або точніше процес керованого перенесення електродного металу й іноді досить важко визначити, яка технологія впливу більш ефективна при її встановленні в зварювальне обладнання та його експлуатації при зварюванні реальних об'єктів в реальних умовах. Усе це є визначальними факторами при виборі практично всіма зарубіжними фірмами направлень в створенні інноваційного зварювального обладнання як для вирішення загальних завдань, так і для виконання специфічних робіт.

Направлення сучасних розробок зварювального обладнання західних фірм. Smart Welding (розумне зварювання) – це один із пріоритетів у розробці систем для високоефективного зварювання. Цей напрям, запропонований фірмою Lorch, являє собою багатогранне явище, яке об'єднує майже всі відомі розробки в техніці та технологіях зварювання, створені і створюються з використанням методів і засобів. дигиталізації роботи системи (цифрові системи управління, регулювання та контролю), яка забезпечує керований процес зварювання.

Наведемо кілька прикладів сучасних розробок в напрямку Smart Welding фірми Lorch.

Це насамперед зварювальні процеси Lorch. TwinPuls XT - виглядає дійсно «на відмінно». У процесі TwinPuls XT регулювання відбувається спрямовано й окремо для фаз розплавлення та охолодження. Які переваги це дає? Значно менший і спрямований тепловкладення в заготівлю, менше деформацій і, відповідно, менший обсяг обробки після зварювання. Крім того, поділ фаз полегшує роботу в складних умовах. Там, де раніше на практиці зазвичай застосовувалося TIG-зварювання, сьогодні процес TwinPuls XT від Lorch пропонує нові можливості на основі MIG-MAG-зварювання. Тим самим підвищується швидкість та ефективність зварювання. Непровар і кратер виключаються, зовнішній вигляд шва залишається порівнянним зі швом при TIG-зварюванні. У

всього є кінець, тільки у зварного шва їх два. І кожен із них справді відмінної якості завдяки TwinPuls XT. Небезпека непроварів на початку шва залишилась у минулому. Посилене енерговкладення в потрібний момент забезпечує абсолютно надійне проплавлення. Такі серії розробок, як SpeedPulse XT, SpeedArc XT, SpeedPulse, Pulse, SpeedArc, TwinPuls. SpeedUp, SpeedRoot, SpeedCold та стандартні програми MiG – MAG/можна знайти в обзорі фірми Lorch. Усі вони базуються на вдосконаленні зварювання з короткими замиканнями, а відрізняються деякими корисними інноваційними рішеннями на рівні знахідок. Для прикладу на рис. 8.13 представлено результат інноваційного рішення щодо впливу системи керування на динаміку процесу зварювання.

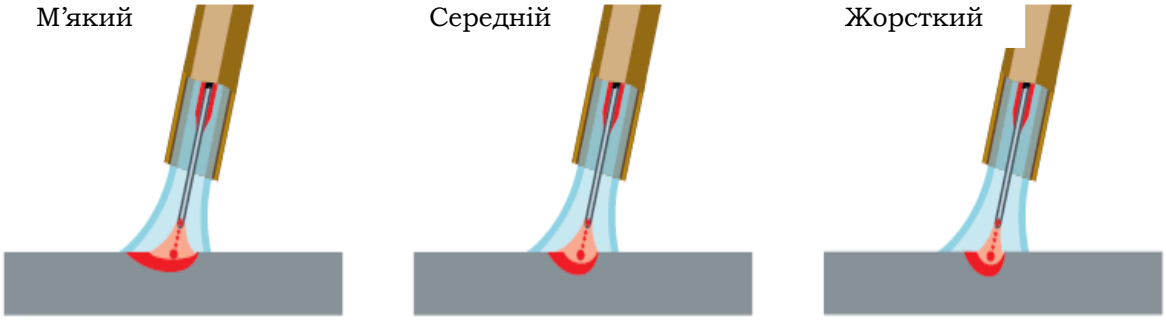


Рис. 8.13. Дінаміка впливу системи Speed на процес зварювання (горіння дуги)

Дуже важливим у розробках фірми Lorch є вирішення проблем високоефективного зварювання з використанням порошкового електродного дроту. Це інноваційна розробка на базі технологій SpeedArc, SpeedArc XT, SpeedUP надає нових можливостей при зварюванні порошковим дротом. Завдяки згаданим технологіям Speed є можливість суттєво розширити сфери використання порошкових електродних дротів, а також досягнути більш високої швидкості зварювання.

Деякі розробки напівавтоматів різних серій фірми Lorch представлені на рис. 8.14.

Рис. 8.14. Напівавтомати серії S фірми Lorch

Слід вказати, що більшість фірм, які виготовляють зварювальне обладнання мають розробки та виробництво важливого супутнього комплектного обладнання. Це насамперед стосується шлангових пальників, засобів захисту, а в деяких випадках фільтровентиляційних систем. Є компанії, які спеціалізуються тільки на виробництві широкого спектра шлангових пальників високої якості. Прикладом цього є відома компанія з Німеччини ABICOR BINZEL, яка розробляє та виготовляє велику номенклатуру обладнання для оснащення зварювальних автоматів і напівавтоматів різного призначення.

Схожі тенденції у вдосконаленні зварювального обладнання мають більшість відомих фірм – які спеціалізуються на виробництві найбільш ефективних систем для електродугового зварювання електродом, що плавиться

Розглянуті в цьому розділі напрямки інноваційних розробок стосуються технології та техніки для автоматичного зварювання.

На рис. 8.15 представлені автомати тракторного типу серії TRAC WL для різних способів застосування, що показано на рис. 8.16.

Рис. 8.15. Автомати тракторного типу серії TRAC WL фірми Lorch

Зварювальні трактори фірми Lorch відрізняються простотою та гнучкістю конструкції, дуже простим регулюванням пальника за допомогою тримірної прецизійної системи налаштування, професійна якість зварювання у всіх просторових положеннях за рахунок застосування вже згаданих інноваційних технологій, просте програмування зі зберіганням до 40 програм.

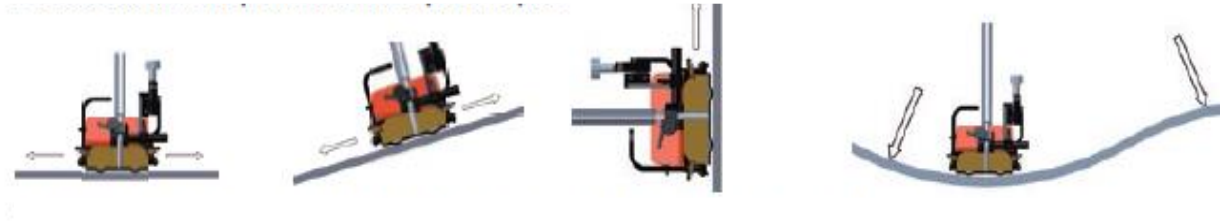


Рис. 8.16. Застосування зварювальних тракторів TRAC WL у різних просторових положеннях

Є інноваційні розробки модульних систем для автоматичного зварювання. Знову на прикладі обладнання фірми Lorch розглянемо систему TRAC RL Performance, яка являє собою високопродуктивний механізм переміщення зварювального пальника з вбудованим слідкуванням за швом у процесі високоточного зварювання. Механізм, який рухається по напрямній, гарантує стабільну швидкість і тим самим повторюваний результат зварювання навіть при складних умовах експлуатації. Ця розробка (без джерела живлення) представлена на рис. 8.17.

У режимах MIG MAG відбувається компенсація виробничих допусків завдяки вбудованій функції слідкування за швом. Завдяки цьому навіть заготовки з деформаціями можна зварювати без проблем. Вбудована функція орбітального зварювання дозволяє зварювати труби у важкодоступних положеннях. Панель управління можна переміщувати і це дає допоміжні вигоди для зварювальника.

Типовим випадком застосування цього типу обладнання є, наприклад шви на трубопроводах та корпусах із неіржавіючої сталі, а також конструкціях із високою точністю складових елементів.

Дуже цікавим є направлення розробок компанії LINCOLN ELECTRIC

Рис. 8.17. Транспортний модуль зварювального автомату TRAC RL Performance фірми Lorch

Прагнучи зробити імпульсне MIG-зварювання ще досконалішим, компанія Лінкольн Електрик розробила технологію управління формою хвилі зварювального струму (Waveform Control Technology®). Вона дозволяє індивідуально налаштовувати характеристики струму з урахуванням особливостей зварювального дроту та конкретних умов зварювання. Завдяки цьому джерело живлення може генерувати зварювальний струм із точно заданою формою хвилі й тим самим забезпечити оптимальну якість зварювання в будь-яких умовах. Зокрема, можна відрегулювати швидкість зростання хвилі, щоб змінити швидкість перенесення крапель металу, і зменшення хвилі, щоб забезпечити достатнє змочування. Апарати з підтримкою технології управління формою хвилі зварювального струму поставляються з набором встановлених налаштувань для більшості стандартних задач LINCOLN ELECTRIC. Користувач може регулювати такі змінні, як швидкість зростання хвилі, тривалість піку, швидкість зменшення та деякі інші параметри струму, щоб забезпечити оптимальну якість у будь-яких умовах зварювання.

Цей напрямок є перспективним та постійно розширюючи його LINCOLN ELECTRIC створює нові інноваційні технології та техніку.

Є один дуже важливий напрям у подальшому розвитку зварювального виробництва. Це організація нового рівня взаємодії людини та обладнання для зварювання. Декілька відомих фірм – виробників зварювального обладнання вирішують ці проблеми, постійно вдосконалюючи їх. Наведемо приклад.

Серед інновацій Fronius необхідно особливо виділити нові програмні продукти WeldConnect і WeldCube, орієнтовані на онлайн-взаємодію між людиною та машиною, що забезпечують користувачам більш швидке, гнучке та рентабельне виробництво. WeldConnect – загальнодоступний програмний додаток для Android та iOS, призначений для моделювання зварювальних параметрів з онлайн-доступом. WeldCube – система документування та аналізу даних, що дозволяє оптимізувати процеси та уникнути помилок. Це універсальний програмний продукт, що пропонує безліч функцій, здатний поєднувати дані процесів зварювання необмеженої кількості джерел із можливістю виведення результатів на персональний комп'ютер, планшет та смартфон.

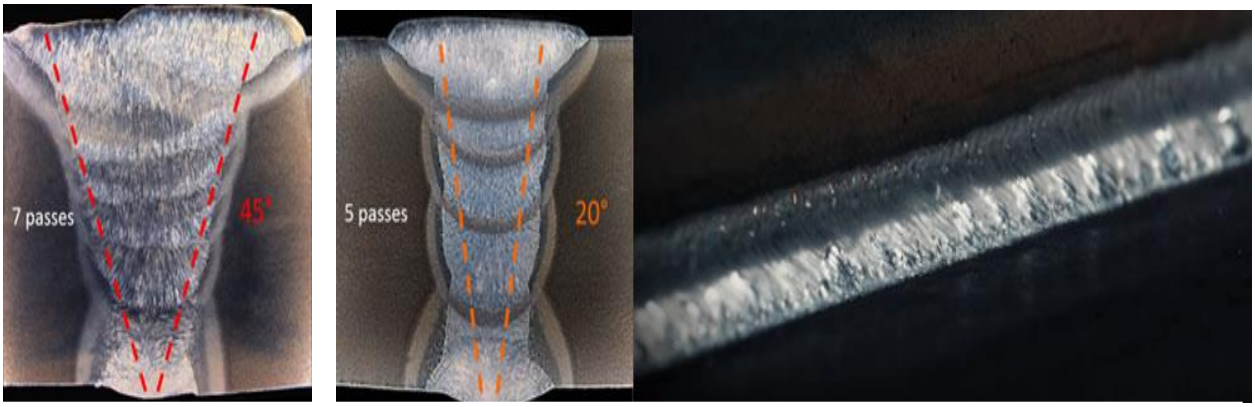
Ще раз повернемося до деяких важливих нових інноваційних представників обладнання вищезгаданої фірми Kemppi.

Зварювальне обладнання X8 MIG Welder фірми Kemppi представлено на рис. 8.18 є універсальним і багато характеристик виділяє його на тлі конкуруючих продуктів щодо ефективності зварювання, зручності використання та управління зварюванням. Завдяки вузькій і спрямованій дузі, неперевершеній зручності роботи, поновлюваному джерелу живлення, цифровим технологічними картами й інтеграції із системою керування зварювальним виробництвом WeldEye - система X8 MIG Welder відрізняється недосяжною раніше продуктивністю, практичністю і керованістю процесу.

Рис. 8.18. Комплекс обладнання X8 MIG Welder фірми Kemppi

Досконалість цієї сучасної системи вимагає більш детального її розгляду.

Ефективність роботи вказаної системи можна бачити на одному з прикладів – зварювання товстолистових металоконструкцій із суттєвим зменшенням зазору або розробки з майже дворазовим зменшенням кута розкриття кромок. Це технологія скороченого зазору. До того ж це дає змогу обмежити кількість використання електродного та основного металу, підвищити продуктивність процесу електродугового зварювання зменшити застосування механічних робот. Це видно по наведеному на рис. 8.19 порівняльному прикладу зварювання обладнанням X8 MIG Welder.



1 *2* *3*

Рис. 8.19. Приклад зварювання сталевих деталей обладнанням X8 MIG Welder:

1 – звичайне зварювання; 2 – зварювання з використанням технології скороченого зазору; 3 – зовнішній вигляд шву з використання технології скороченого зазору

Особливостями конструкції X8 MIG Welder є оптимізований, мобільний зварювальний пістолет, опрацьоване до дрібниць просте в обслуговуванні джерело живлення дуги, панель управління, яка дозволяє дистанційно регулювати параметри зварювання з великий і яскравим дисплеєм, призначеним для використання з вдягнутими зварювальними рукавичками. Особливу увагу треба приділити інноваційній розробці механізму подачі зварювального дроту, який представлений в подробицях на рис. 8.20 з ергономічним завантаженням котушки, підсвічуванням, оригінальним вузлом подачі.

Інноваційний рівень та досконалість системи X8 MIG Welder з новим поглядом на управління зварювальним виробництвом є можливість підключення системи X8 MIG Welder до хмарного сервісу WeldEye, що дозволяє використовувати унікальні інструменти управління Kemppi у зварювальному виробництві з реалізацією великої кількості алгоритмів ведення процесу зварювання, у тому числі імпульсних і для ведення техніко-технологічної документації. Наявність функції цифрових технологічних карт позбавляє від необхідності використовувати паперові технологічні карти й гарантує абсолютну точність параметрів зварювання завдяки автоматичному налаштуванню.

Зварювання тандемним способом з використанням відповідного спеціального обладнання з можливістю реалізації електродугового процесу двома дугами це достатньо відомий процес, який потребує певних додаткових конструкторських та технологічних розробок і тому суттєво обмежений в використанні і тому майже не використовувався в промисловому виробництві.

Фірма Kemppi в цьому напрямку досягла певних успіхів і має сучасне обладнання для високопродуктивного зварювання двома дугами. При цьому використовуються два різні процеси для високошвидкісного зварювання Twinarc і Tandem MIG/MAG. Це обладнання реалізує одночасно в процесі зварювання MIG/MAG два дроти і є високопродуктивними.

При Twinarc зварюванні обидва дроти підключені до одного джерела живлення і, отже, електричний потенціал обох дротів однаковий. При цьому використовуються два дроти однакового діаметра, оскільки електричні характеристики дроту залежать від його діаметра. Для Twinarc зварювання може використовуватися як один, так і два механізми подачі електродного дроту.

Tandem MIG/MAG зварювання більш гнучке, тому що кожен дріт пов'язаний з індивідуальним джерелом живлення та дротяним механізмом. Параметри режиму зварювання встановлюються окремо для кожного дроту, такий підхід дозволяє вести зварювання дротами як різного діаметра, так і різних типів, наприклад, використовувати комбінацію: дріт суцільного перерізу і порошковий дріт і це дає певні переваги перед іншими способами зварювання та наплавлення.

На рис. 8.20 представлені два варіанти конструктивного компонування обладнання для реалізації електродугового зварювання та наплавлення тандемним способом, яке достатньо широко використовується в промисловості особливо при великих обсягах виробництва.

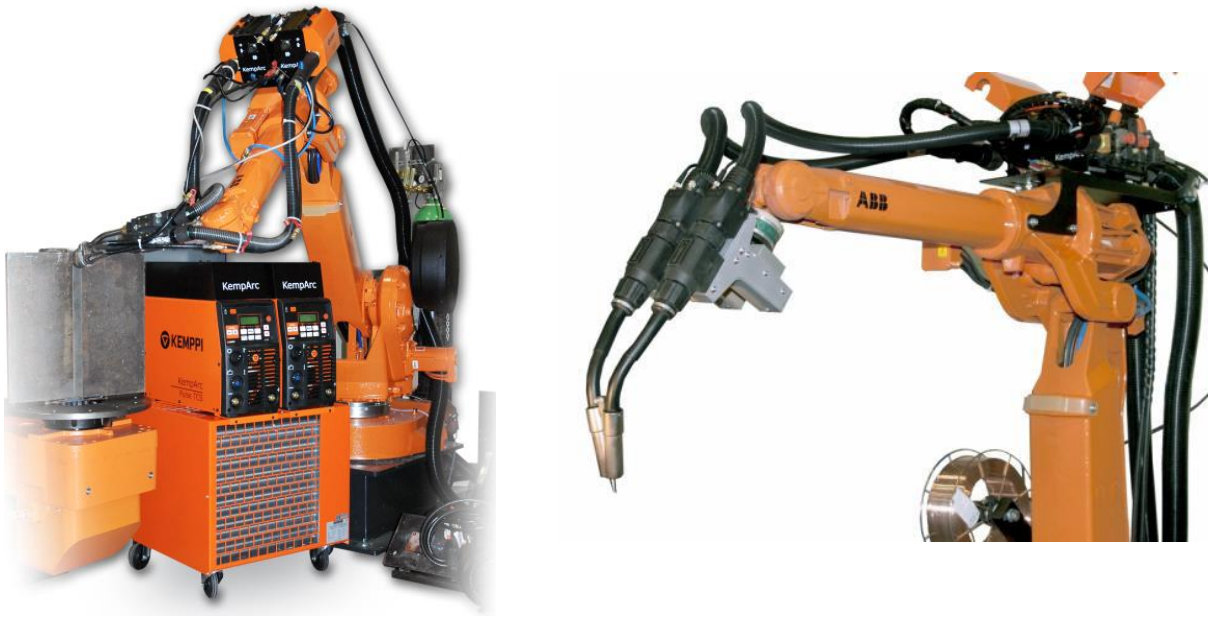


Рис. 8.20. Варіанти конструкцій обладнання фірми Kemppi для реалізації тандемного зварювання

Розглянемо більш детально деякі характеристики.

Спочатку зварювальне обладнання для тандемного зварювання складалося з двох головок, розміщених послідовно, але в даний час обидві електродні дроти поєднані в одній зварювальній головці.

Характеристики. Найновіша система управління тандемним зварюванням, розроблена компанією Kemppi: KempArc Pulse Tandem Control System (TCS). Вона складається з: 1. зварювальної головки Tandem MIG / MAG welding gun з двома контактними наконечниками (електрично ізольованими один від одного), двох дротяних пристроїв KempArc DT 400, двох джерел живлення KempArc Pulse.

Система TCS дозволяє використовувати такі комбінації:

- імпульсне MIG/MAG зварювання + імпульсне MIG/MAG зварювання;
- імпульсне MIG/MAG зварювання + звичайне MIG/MAG зварювання;
- звичайне MIG/MAG зварювання + імпульсне MIG/MAG зварювання;
- звичайне MIG/MAG зварювання + звичайне MIG/MAG зварювання.

Переваги системи Tandem MIG/MAG:

- збільшення продуктивності зварювання на 80 % порівняно з MIG/MAG зварюванням одиночним дротом;
- полегшений та гнучкий процес налаштування параметрів зварювання (для обох дуг);
- можливість окремого увімкнення/вимкнення будь-якої дуги під час зварювання;
- можливість зварювання як сталі, так і алюмінію;
- скорочене тепловкладання на тонколистових матеріалах;
- можливість зварювання прихватками;
- можливість встановлення на всі роботизовані системи;
- скорочення вартості.

Можна зазначити, що сучасне обладнання фірми Kemppi для механізованого MIG / MAG зварювання є одним з найбільш досконалим серед відомих зарубіжних фірм – виробників зварювальної техніки, у тому числі з використанням ефективних імпульсних впливів на електродуговий процес.

Система ТРИПЛЕТ – вітчизняна розробка як приклад високоефективного рішення на тлі розглянутого в цій главі обладнання. Зупинимося ще на одному способі дугового механізованого зварювання та наплавлення, який також має очевидні перспективи та ґрунтується на відомих технічних рішеннях. Ці технічні рішення у тому, що з інтенсифікації дугових механізмів зварювання і наплавлення використовується подача одночасно трьох електродних дротів. При цьому зазначена подача може здійснюватися і одним механізмом, і при використанні кожного електродного дроту свого механізму. Технічне рішення може ґрунтуватися і на використанні одного загального струмопідвідного наконечника і струмопідвідних наконечників для кожної з електродних дротів, що подаються. Ці ж принципи можуть бути в різних випадках стосуватися і джерел живлення дуги. Для дугового механізованого обладнання найбільш раціональним конструктивним рішенням може бути конструкція, в якій використовуються три механізми подачі електродного дроту, один загальний струмопідвідний наконечник і джерело живлення дуги. Таку систему названо авторами системою «Триплет». Можлива конструкція дугового механізованого обладнання з трьома незалежними системами подачі електродного дроту та одним загальним джерелом живлення дуги із загальним для всіх електродних дротів струмопідвідним наконечником схематично показана на рис. 8.21 Якщо подача всіх трьох електродних дротів здійснюється одночасно, досягається ефект збільшення зони термічного впливу дуги.

Для подальших висновків визначимо внутрішній діаметр струмопідвідного наконечника, який необхідний для одночасного розміщення в ньому трьох електродних дротів. З рис. 8.21, можна записати, що шуканий діаметр становитиме

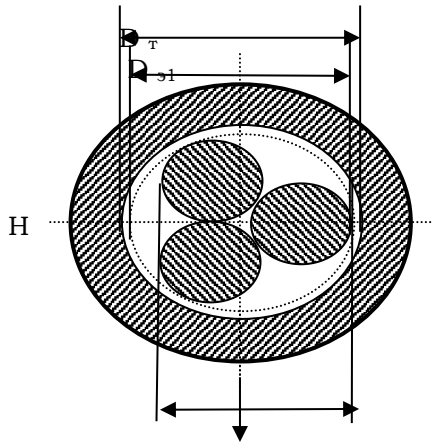


Рис. 8.21. Положення трьох електродних дротів в одному струмопідводі

$$D_m \geq d_{э3}\left(1+2\sqrt{3}\right),$$

де D_m – внутрішній діаметр струмопідвідного наконечника; $d_{э3}$ – діаметр одного з трьох електродних дротів.

У струмопідвідний наконечник діаметром D_m може бути пропущений один електродний дріт діаметром $d_{е1} \leq D_m$.

Визначимо загальний переріз трьох електродних дротів як $S_{3э}$

$$S_{3э} = 3\pi d_{э3} / 4.$$

Перетин електродного дроту S_{1e} діаметром d_{e1} можна подати у вигляді

$$S_{1e} = \pi d_{e1} / 4 = \left[\pi d_{e3} \left(1 + 2\sqrt{3}\right) \right] / 4.$$

Співвідношення загального перерізу трьох електродних дротів в одному загальному струмопідвідному наконечнику до перерізу одного електродного дроту, яка може бути пропущена по цьому наконечнику становить

$$\frac{S_{1e}}{S_{3e}} = \frac{\left(1+\sqrt{3}\right)}{3}.$$

З останнього виразу можна чисельно, з деяким ступенем точності, що залежить від величини зазору між електродними дротом і струмопідвідним наконечником, визначити, що співвідношення перерізів $S_{1e} / S_{3e} = 2{,}5$. Таким чином, можна визначити, що зона термічного впливу дуги або зона плавлення для трьох електродних дротів, що одночасно плавляться, наближається до зони плавлення, що забезпечується одним електродним дротом, переріз якої значно вищий, ніж сумарний переріз вказаних трьох дротів.

Значно розширюються можливості розглянутого обладнання, якщо їх подача здійснюється за певними алгоритмами, які визначають порядок подачі кожного з трьох електродних дротів у почерговій послідовності. Можна зауважити, що ці алгоритми передбачають такі режими роботи дугового механізованого обладнання, що розглядається, коли дуга горить тільки між виробом і одним електродним дротом. Далі подача цього електродного дроту уповільнюється або припиняється, а в цей час здійснюється подача наступного електродного дроту й дуга горить вже між виробом і цим електродним дротом і так далі циклічно, з певними часовими інтервалами здійснюється багаторазова (відповідно до тривалості технологічного процесу зварювання) почергове подання всіх трьох електродних дротів. На рис. 8.22 представлено один із варіантів алгоритму роботи системи «Триплет». Такий режим роботи обладнання також належить до нестаціонарних і має низку істотних переваг перед іншими типами обладнання. Ці переваги можна систематизувати у вигляді:

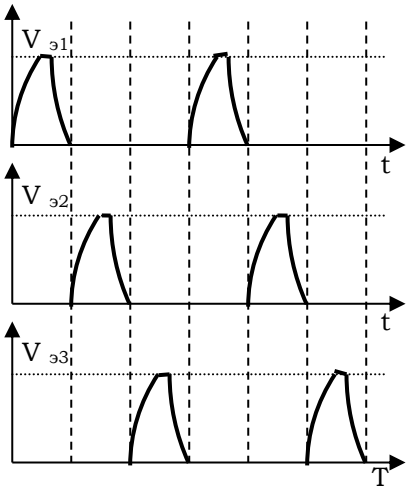


Рис. 8.22. Можливий алгоритм подачі електродних дротів в обладнанні «Триплет»

- розширення зони плавлення металу виробу без використання електродних дротів, площа поперечного перерізу яких повинна була б відповідати цій зоні проплавлення, а із застосуванням декількох електродних дротів сумарна площа перетину яких значно нижча, ніж та, яка потрібна при звичайних способах для забезпечення цієї зони проплавлення;

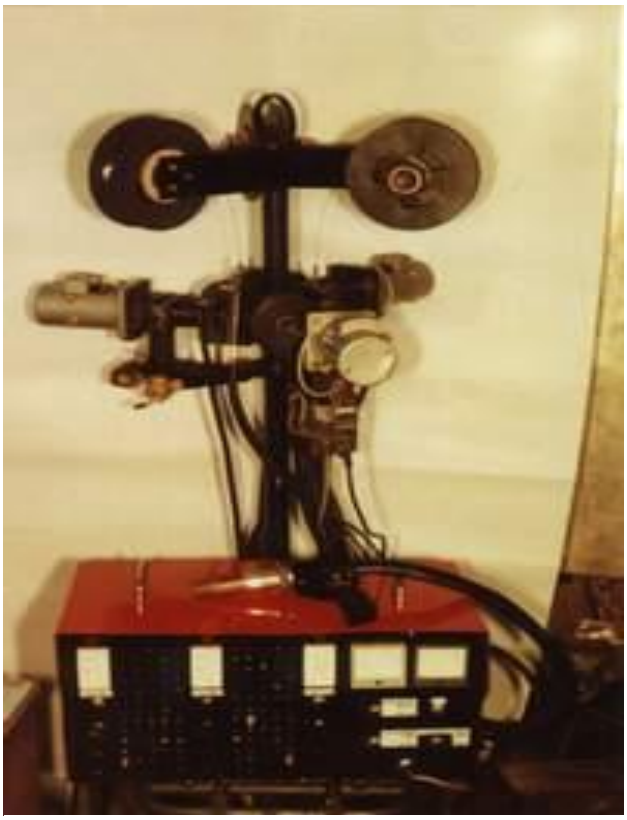


Рис. 8.23. Система «Триплет» у варіанті для механізованого зварювання

- суттєве підвищення коефіцієнта розплавлення електродного дроту, яке забезпечується, у тому числі додатковим підігрівом теплом дуги та підвищенням тепломістку металу електродних дротів, що вводяться в дуговий процес;

- почергове введення в дуговий процес кожної з трьох електродних дротів по круговому алгоритму забезпечує додатковий ефект перемішування металу ванни з отриманням його більш однорідного характеру, а також ефекти дегазації металу шва;

- підвищення продуктивності наплавлення при зниженні питомих витрат енергії.

До конструювання дугового механізованого обладнання з почерговою подачею кількох електродних дротів незалежними механізмами подачі в один загальний струмопідвідний наконечник необхідний особливий підхід. Це, перш за все, стосується способів подачі електродного дроту, зокрема, при їх відносному русі, коли необхідно виключити будь-які дефекти їхньої поверхні, які можуть призвести до проблем руху зазначених електродних дротів. При цьому можуть бути кілька варіантів компонувальних рішень по конструкції системи "Триплет", наприклад для автоматизованого та механізованого зварювання та паплавлення. На рис. 8.23 представлена конструкція системи "Триплет" у варіанті для механізованого зварювання.

Література до розділу 8

1. Новые высокопроизводительные технологии сварки фирмы “Фрониус” // Автомат. сварка. – 2004. – № 7. – С. 39-46.

2. Жерносеков А. М. Тенденции развития управления процессами переноса металла в защитных газах (Обзор) / А. М. Жерносеков // Автомат. сварка. – 2012. – № 1. – С. 33-38.

3. Автоматизированная сварка трубопроводов: Сварка за рубежом // Автомат. сварка. – 2005. – № 1. – С. 52–56.

4. Ланкин Ю. Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в CO2 с периодическими короткими замыканиями дугового промежутка (Обзор) // Автомат. сварка. – 2007. – № 1. – С. 3–10.

5. Особенности современных установок для механизированной сварки плавящимся электродом в защитных газах / М. В. Карасев, Е. М. Вышемирский, В. И. Беспалов и др. // Автомат. сварка. – 2004. – № 12. – С. 38–41.

6. Бондаренко В. Л. Дуговая сварка с импульсной подачей электродной проволоки – процесс CMT, предложенный фирмой «Фрониус» / В. Л. Бондаренко // Автомат. сварка. – 2004. – № 12. – С. 55–58.

7. Литвинов А. П. Разработка и развитие дуговой сварки в активных газах / А. П. Литвинов // Автомат. сварка. – 2008. – № 5-7. – С. 43–46.

8. Напівавтоматичне зварювання та обладнання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://paton.ua/ua/news/novosti/poluavtomaticheskaya-svarka-i-:oborudovanievypuskaemoe ozso-ies-im-e-o-patona.html (дата звернення: 11.10.2019).

9. Механизированная сварка под флюсом толстого металла в узкий зазор / Царюк А.К., Касаткин Б.С., Иваненко В.Д. и др. // Автоматическая сварка. – 1980. – № 10. – С. 47–51.

10. Ищенко А. Я. Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов / А. Я. Ищенко, Т. М. Лабур. – Киев : Наукова думка, 2013. – 414 с.

РОЗДІЛ 9
Електродугове механізоване та автоматичне зварювання у водному середовищі мокрим способом. Використання способу зварювання з імпульсним подаванням електродного дроту

Загальні відомості про електродугове зварювання під водою. Дугове механізоване та автоматичне зварювання із застосуванням електрода, який плавиться поширений спосіб якісного продуктивного та економічно вигідного способу виконання нероз'ємного з'єднання та відновлення різних конструкцій деталей і вузлів машин і механізмів у різних умовах.

Дугове зварювання у водному середовищі механізованими або автоматичними системами та обладнанням – один із видів зазначеного способу зварювання, знаходить дедалі більше поширення в різних сферах діяльності людини з властивими їй проблемами та різними рішеннями в технічній та технологічній сферах, а також вибором спеціальних електродних дротів.

Основні публікації викладено в матеріалах [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15]. Більшість із цих матеріалів базується на роботах спеціалістів ІЕЗ ім. Є. О. Патона і включає в себе технічні, технологічні та аспекти цього способу зварювання, а також специфічні електродні матеріали.

Зауважимо, що серед способів зварювання під водою поширення одержало ручне дугове мокре зварювання з використанням спеціальних електродів, а також спосіб, коли місце проведення робіт локалізують спеціальними пристроями (кесонами) з відкачуванням води з місця зварювання. В останньому випадку використовується і ручне, і механізоване зварювання із застосуванням звичайних електродних матеріалів.

Зауважимо, що мокре ручне дугове зварювання малопродуктивне і найчастіше не забезпечує потрібної якості виконаних робіт. Зварювання під водою в кесоні дуже витратне й обмежене застосування.

Досить давно в ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України розроблено спосіб механізованого мокрого підводного зварювання із застосуванням занурювальних пристроїв подачі електродного дроту. Для реалізації цього способу зварювання розроблено низку технічних засобів – напівавтоматів різних конструкцій, на частину з яких отримано авторські свідоцтва [5], [6], [7] порошкових електродних дротів, технологічних прийомів застосування.

Розроблена в інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона порошковий дріт марки ППС-АН1 (діаметр 1,2...2,0 мм) дозволяє забезпечити стабільне горіння дуги та отримання (на низьковуглецевих та низьколегованих конструкційних сталях) зварних з'єднань, рівноміцних основному металу. Дріт практично не має аналогів і досі є основним електродним матеріалом для напівавтоматів та автоматів, які використовуються для мокрого підводного зварювання.

Серед запропонованих конструкцій занурювальних пристроїв можна виділити такі технічні рішення:

- із піддувом повітря в занурювальний бокс та застосуванням спеціальних накопичувальних камер з повітрям;

- із розміщенням подавального вузла в ізолюючо-змащувальної рідини, а всієї системи подачі у водному середовищі;

- із розміщенням усього напівавтомата, включаючи джерело зварювального струму, у занурювальному агрегаті.

На основі вищезгаданих пропозицій в ІЕС ім. Є. О. Патона було розроблено напівавтомати, у тому числі такі, що випускалися серійно чи невеликими партіями. Серед них найбільшого поширення набули напівавтомати А-1660, А-1450, ПШ-141 і ПШ-156.

Зазначимо, що, за межами України вже з'явилися напівавтомати для електродугового зварювання мокрим способом, які практично повторюють розробки ІЕС ім. Є. О. Патона 70-х ХХ століття.

Застосування механізованого обладнання для зварювання мокрим способом. Механізоване зварювання у водному середовищі із застосуванням порошкових електродних дротів знайшло досить широке застосування, приклади яких викладені в зазначеній вище технічній літературі.

Розвиваючи цей спосіб зварювання, було запропоновано цікаві та дуже корисні сфери його застосування із забезпеченням відповідних технічних засобів для реалізації механізованого та механізованого зварювання мокрим способом на рівні інноваційних розробок. Серед них для прикладів такі:

- зварювання підводної частини суден та кораблів на плаву (формування корпусу);

- спеціалізований механізований пристрій для зварювання під водою труб;

- автоматизоване зварювання для герметизації складових труб, у тому числі на великій глибині на нафтогазовидобувних об'єктах і при створенні спеціалізованих комплексів з тепловими насосами;

- зварювання та різання при проведенні аварійно-рятувальних робіт у водному середовищі різного ступеню солоності (ріки, моря);

- автоматизоване зварювання на великих глибинах із застосуванням координатно програмованих систем на основі комп'ютеризованих засобів управління та регулювання;

- використання механізованого та автоматичного обладнання для утилізаційного різання під водою, зокрема і при закритті використаних нафтових та газових свердловин.

Усе це обладнання пройшло дослідно-промислову перевірку, а деякі системи використовуються на промислових об'єктах. Частина розробок потребує вдосконалення як у частині технічного оснащення, так і щодо реалізації технологічних рішень.

Так, наприклад, автомат для приварювання заглушок усередині труб, розроблений в ІЕС ім. Є. О. Патона, успішно працює на глибинах 230 м при зварюванні в нижньому положенні, але є об'єкти, що потребують подальшого вдосконалення автомата щодо забезпечення зварювання на вертикальній площині [9].

Слід зазначити, що проблеми із застосування механізованих та автоматизованих технологій дугових способів підводного зварювання мокрим способом та обладнання для них справді є і нині. Вирішувалися лише окремі конкретні

завдання, результати яких тією чи іншою мірою задовольняли виробників. Однак, як відомо, універсальних рішень у цій проблемі, як і в інших техніко-технологічних системах, поки що немає. Однією із суттєвих проблем для занурювальних вузлів системи подачі електродного дроту механізованого обладнання та систем зварювального переміщення автоматичного обладнання для мокрого підводного зварювання є надійність роботи приводних електродвигунів постійного струму з колекторно-щітковим вузлом. У розробках ІЕЗ ім. Є. О. Патона ця проблема вирішена із застосуванням безколекторних електродвигунів – крокових промислового виробництва та спеціальних вентильних електродвигунів, використання яких з комп'ютеризованим управлінням і регулюванням дає додаткові переваги.

- малі габарити, масу та інерційність, у тому числі через відсутність необхідності застосування механічних редукторів (ролик, що подає безпосередньо на валу електродвигуна);

- можливість програмування руху електродного дроту з досить високою частотою відпрацювання сигналу завдання або координатного переміщення зварювального інструменту на площині або в просторі.

Слід звернути особливу увагу на конструктиви, у яких розміщуються вузли занурюваного блоку. В останніх конструкціях напівавтоматів для підводного зварювання мокрим способом електродвигун укладений в оболонку з нержавіючої сталі з компенсатором тиску, а система подавальних роликів, виконана зі спеціальних сталей, захищена від звичайної корозії та електроерозії спеціальними засобами. Загальний корпус сформований з пластику, який зазвичай застосовується при будівництві корпусів яхт та інших маломірних суден. Одна з останніх розробок напівавтомата в міцному пластиковому корпусі безредукторним приводом на основі високомоментного крокового електродвигуна представлена на рис. 9.1 Такі напівавтомати можуть експлуатуватися у прісній та солоній воді на глибинах до 40 м, тобто тих глибин, де можуть працювати водолази-зварювальники. При цьому, крім зварювання, застосовуючи спеціальні електродні дроти, можна вести ефективне різання металу.

У техніці та технології дугового зварювання основним напрямом удосконалення на сьогодні є використання імпульсних алгоритмів функціонування основних активних систем обладнання. Зокрема, широко використовуються інверторні джерела з імпульсним формуванням вихідних параметрів, у тому числі синергетичні.

Останнім часом отримує розвиток способи зварювання з модуляцією режимів і обраними (частково на основі теоретичних досліджень з вирішенням задачі управління формуванням і кристалізацією металу шва, частково на основі експериментальних досліджень) частотою і шпаруватістю параметрів, що модулюються. Така технологія, наприклад, виявляється застосовною при підводному дуговому зварюванні мокрим способом при виконанні вертикальних з'єднань, виконання яких представляє певну складність, таких як формування шва, і якість металу.

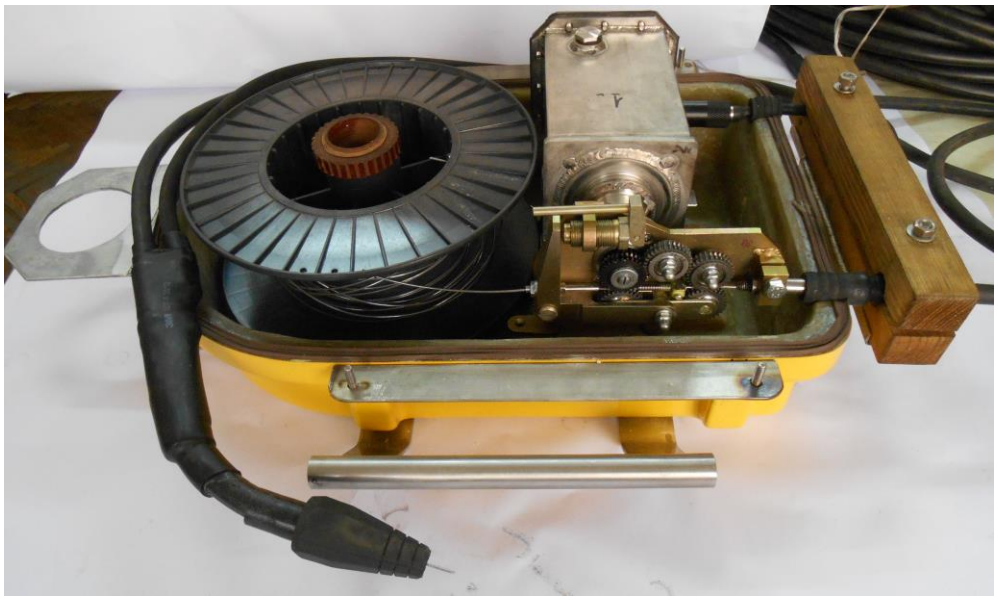


Рис. 9.1. Напівавтомат останнього покоління для підводного зварювання мокрим способом із відкритою кришкою

На рис. 9.2 показано приклад виконання наплавлення конструкційних сталей у водному середовищі на вертикальній площині порошковим електродним дротом з параметрами: струм – 170...180 А; напруга – 26...27 В. Модулюється швидкість подачі з часом: імпульс 0,6 С і пауза 0,4 С. Процес здійснюється механізмом подачі з будь-якими типами приводних електродвигунів як колекторних так і безколекторних, включаючи крокові та вентильні з частотами керування модуляцією 0,2...2,0 Гц.

1 *2* *3*

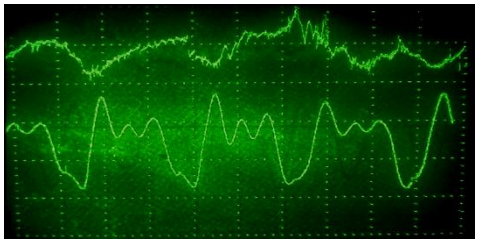


Рис. 9.2. Наплавлені на вертикальну площину під водою валики та осцилограми напруги *U* та струму *I* при наплавленні з модуляцією швидкості подачі дроту:
1 – наплавлення без модуляції; 2, 3 – валики з модуляцією з різними напрямками ведення процесу

Застосування процесу з модуляцією швидкості подачі електродного дроту дозволяє певною мірою вирішити задачу зварювання на вертикальній площині з отриманням сформованих валиків. Такий процес, як показують металографічні дослідження, практично не впливає на структуру металу шва, отриманого у водному середовищі. Це, на нашу думку, є наслідком збільшеної швидкості кристалізації наплавленого металу у водному середовищі порівняно зі зварюванням в атмосферних умовах.

Дослідження процесу підводного зварювання мокрим способом із застосуванням джерел зварювального струму інверторного типу, що мають можливість генерувати імпульси струму з керованими параметрами, помітних

ефектів, наскільки нам відомо, не дали зокрема щодо зміни структури металу шва або валика. На наш погляд, це можна пояснити особливими швидкісними умовами кристалізації металу шва.

Останнім часом, спираючись на дослідження в галузі систем подачі електродного дроту, а також останніх розробок в галузі електротехніки та комп'ютеризованого управління, що розглядаються як комплектні мехатронні системи, розробляється обладнання для імпульсної подачі за певною програмою електродного дроту в напівавтоматах та автоматах для дугового зварювання.

Для механізованого та автоматичного зварювання розроблений і використовується безредукторний електропривод на основі крокових і спеціально розроблених вентильних електродвигунів, що серійно випускаються, з комп'ютеризованою системою управління, що дозволяє реалізувати практично будь-який алгоритм руху електродного дроту. При цьому вентильний електропривод останніх розробок забезпечує регульовану по частоті, шпаруватості та амплітуді імпульсну подачу електродного дроту з максимальними частотами 50…60 Гц.

Зазначений електропривод досліджувався у складі автоматичного та механізованого обладнання при зварюванні – наплавленні у водному середовищі мокрим способом. Становить особливий інтерес отримання вертикальних та горизонтальних зварних швів на вертикальній площині з достатніми по формуванню та якості наплавленого металу. Застосування імпульсної подачі електродного дроту з ефективно вибраними параметрами дозволяє вирішити це завдання.

Рис. 9.3. Валики, наплавлені у водному середовищі із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту з різними характеристиками - частота, амплітуда, шпаруватість

При імпульсній подачі електродного дроту з раціонально обраними параметрами реалізується кероване перенесення електродного металу за принципом кожному імпульсу подачі відповідають перенесення краплі розплавленого металу певного розміру. Прискорення, яке при імпульсному русі надається краплі, сприяє точному транспортуванню краплі в розплавлену ванну, що дуже ефективно при веденні процесу на вертикальній площині. Особливості перенесення електродного металу при підводному зварюванні мокрим способом із застосуванням імпульсної подачі вимагають окремого розгляду.

На рис. 9.3 представлено зразки валиків, наплавлених у водному середовищі із застосуванням імпульсної подачі дроту з різними характеристиками імпульсного руху, але з практично однаковими значеннями струму, напруги та швидкості ведення процесу. Струм і напруга дугового процесу 160…170 А; 26…28 відповідно. Швидкість ведення наплавлення – 10…12 м/год.

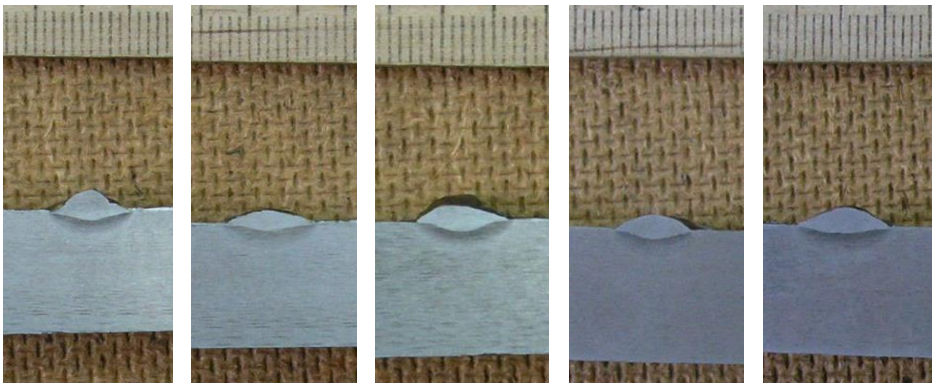


Рис. 9.4. Мікрошліфи валиків, наплавлених з використанням керованих імпульсів подачі електродного дроту

Можна відзначити, що формування валиків значно більш рівномірно наповнене, що має більш регулярний характер. Важливим є можливість досить інтенсивного впливу на параметри валиків: ширину, посилення, глибину проплавлення. Характерні мікрошліфи деяких валиків, представлених на рис. 9.3, показані на рис. 9.4.

Необхідно відзначити, що тенденції зміни геометричних розмірів наплавлених валиків відповідають тим, які отримані при наплавленні у звичайних умовах, хоча і менш виражені, що, загалом, пояснюється істотно вищою швидкістю охолодження рідкої ванни. Особливу увагу приділено якісному аналізу металу, наплавленого у водному середовищі, який проводився на підставі досліджень мікрошліфів поперечних перерізів валиків, характеристик міцності (механічних), складу металу валика та навколошовної зони. Практично за всіма параметрами валики наплавлені з імпульсною подачею електродного дроту перевершують валики, отримані при використанні конвенціальної подачі з тенденціями поліпшення характерними з процесами, одержуваними на відкритих місцях при зварюванні-наплавленні з імпульсною подачею порошкового електродного дроту. Проте є й відмінності. Так, наприклад, об'ємна частка неметалічних включень у металі наплавленого валика зменшується лише після збільшення частоти імпульсів подачі, що можна бачити на графіку рис. 9.5, отриманому при експериментальних дослідженнях. Це знову, як здається, пов'язані з особливостями характеристик кристалізації металу шва й навколошовної зони у водному середовищі.

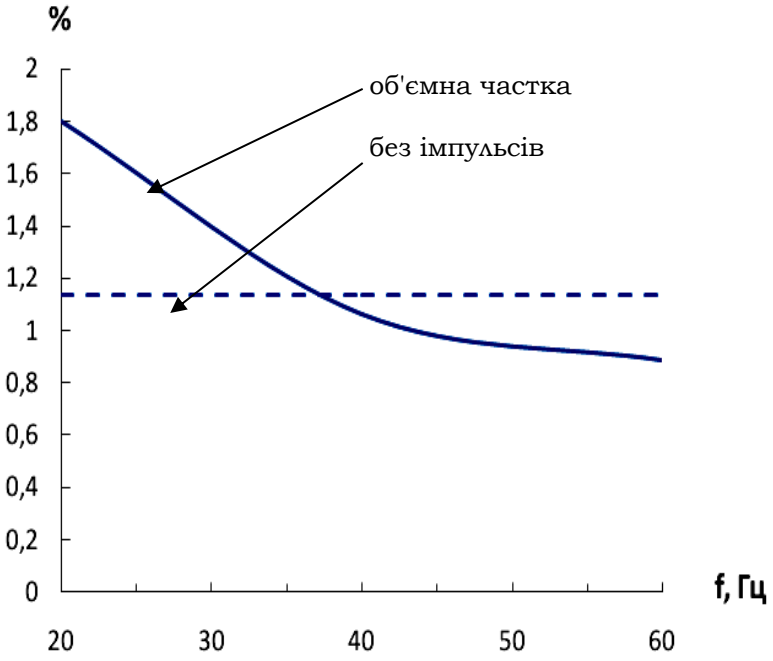


Рис. 9.5. Порівняльні графіки наявності неметалевих включень у металі валиків при наплавленні з різними способами подачі електродного дроту

Зафіксовано деяке поліпшення механічних властивостей швів, отриманих при порівняльних дослідженнях зварювання із застосуванням конвенційної та імпульсної подачі електродного дроту з керованими параметрами і це буде розглянуто в наступних розділах. У процесі аналізу механічних властивостей швів на сталевих матеріалах, які виконані мокрим способом у водному середовищі.

Ці результати опосередковано підтверджують той факт, що в металі швів або наплавлених у водному середовищі валиків при використанні імпульсної подачі електродного дроту відбувається зміна кристалічної структури, пов'язаної з деякою дезорієнтацією кристалів. Цей процес менш інтенсивний, ніж це відбувається за звичайних умов, що, як зазначалося, пов'язані з особливими умовами охолодження рідкої ванни в питній воді.

Слід констатувати, що більшість позитивних ефектів від імпульсної подачі електродного дроту помітно проявляється при певному збільшенні частоти імпульсного руху.

Добре відомо, що якісне зварювання з мінімізацією деформацій різного типу можливе в разі забезпечення мінімальних теплових вкладень у реалізацію процесу. Зварювання з імпульсною подачею електродного дроту характеризується зниженими енерговитратами, що в поєднанні з інтенсивним охолодженням забезпечує малі деформації конструкції, що зварюється, зокрема з тонколистових матеріалів.

Способи зварювання з імпульсною подачею електродного дроту постійно вдосконалюються і розвиваються. Частина з них, за нашими переконаннями, заснованих на досвіді дослідження розробки таких систем, з успіхом може бути застосована для реалізації зварювання у водному середовищі конструкцій з різним просторовим положенням.

До перспективних способів зварювання з імпульсною подачею електродного дроту, застосовних у водному середовищі слід віднести:

- спільне застосування імпульсної подачі та модуляції режимів (струм та напруга зварювання як із синхронізацією, так і без синхронізації впливів);

- використання нового способу зварювання з дозованою подачею електродного дроту;

- синхронізований за певним алгоритмом імпульсний вплив імпульсної подачі електродного дроту та імпульсного впливу джерела зварювального струму.

Кожен із зазначених способів підводного зварювання із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту може вирішити певний комплекс завдань при веденні процесу підводного зварювання мокрим способом, при цьому в більшості способів може бути застосований практично будь-який тип джерела зварювального струму, у тому числі найпростіший за конструкції та можливостям.

Слід зазначити, що електроприводи з комп'ютеризованими вентильними та кроковими електроприводами застосовуються для оснащення систем зварювального та настановного переміщення в автоматизованому устаткуванні для підводного зварювання.

Потреби в механізованому та автоматичному устаткуванні для зварювання мокрим способом постійно зростають, зокрема й з масштабним зростанням робіт із видобутку корисних копалин у Світовому океані [14]. Це потребує подальшого розвитку досліджень з техніки та технології обладнання та результатів їх застосування.

Виконання швів на вертикальній площині при механізованому зварюванні мокрим способом. При зварюванні під водою формування шва, його властивості зумовлені більшою мірою теплофізичними властивостями середовища, у якій горить дуга й існує ванна розплавленого металу з гідродинамічним впливом на неї і певною мірою залежить від обраних та технічно реалізованих режимів зварювального процесу.

Нові розробки зварювального обладнання, технологій, електродних матеріалів базуються на вирішенні завдань, основні з яких такі:

- нестабільність параметрів зварювання, що виникає внаслідок низки природних причин;
- дефекти при виконанні зварного з'єднання:
- нестабільність повторення форми з'єднання;
- короблення тонколистового (обшивального) металу.

Особливі та додаткові проблеми виникають при зварюванні в положеннях, відмінних від нижнього, зокрема на вертикальній площині.

Слід зазначити, що виконання зварних швів (горизонтальних і вертикальних) на вертикальній площині у водному середовищі дотепер є завданням, яке нерозв’язане. Основні складнощі:

- незадовільне формування зварного шва; наплив і навіть стікання металу;
- відсутність достатнього для забезпечення міцності проплавлення металу основи;
- додаткові витрати на надання шву експлуатаційних властивостей.

Дослідження способів суттєвого поліпшення якості зварного шва, виконуваного у водному середовищі на вертикальних елементах металоконструкцій, є досить складним завданням, вирішення якого вимагає зміна техніко-технологічних прийомів зварювання-наплавлення.

Відомі способи автоматичного та механізованого зварювання в природному середовищі з імпульсними способами управління зварювальним процесом. У цих процесах використовують сучасні інверторні джерела живлення, механізми з імпульсними алгоритмами переміщення електродного дроту, імпульсна подача захисних газів, магнітні поля, а також їх комбінації. При використанні цих способів досягаються значні ефекти.

Застосування імпульсних алгоритмів роботи систем зварювального обладнання надають певний вплив і на процеси горіння дуги, формування зварного з'єднання при роботі напівавтоматів і автоматів під водою. Зокрема особливий вплив має імпульсна подача електродного дроту. Для широкого впровадження імпульсних технологій на основі керованої подачі електродного дроту, вироблення рекомендацій потрібне системне дослідження цього процесу з визначення

та аналізу порівняльних характеристик зварного з'єднання або наплавленого валика, виконаного під водою на вертикальній площині із застосуванням імпульсної подачі електродного дроту з керованими характеристиками.

Експериментальні роботи проводилися на середньому значенні зварювального струму – 150 А. Ця величина струму визначена як одна з тих, яка найбільш близька до звичайної подачі електродного дроту.

Змінні параметри процесу наплавлення:

- ряд частот – 10, 20, 30, 40, 50, 60 Гц;
- шпаруватість імпульсів – 10; 3,33; 2; 1,43.

Рис. 9.6. Зовнішній вигляд шліфів (зварювання у вертикальному положенні) при різних параметрах імпульсної подачі

Під час зварювання здійснювався запис режимів струму та напруги для подальшої обробки. Для вимірювання геометричних розмірів зварного шва були виготовлені шліфи та протруєні в розчині хлорного заліза. Щоб забезпечити точність вимірювання, кількість шліфів для одного шва було чотири штуки. Зовнішній вигляд зразків представлені на рис. 9.6. Різні параметри наплавлених валиків зумовлені різними параметрами імпульсної подачі – частота, шпаруватість при однакових параметрах струму та напруги дугового процесу.

Характерна осцилограма процесу наплавлення із застосуванням спеціального устрою визначення швидкості подачі електродного дроту представлена на рис. 9.7.

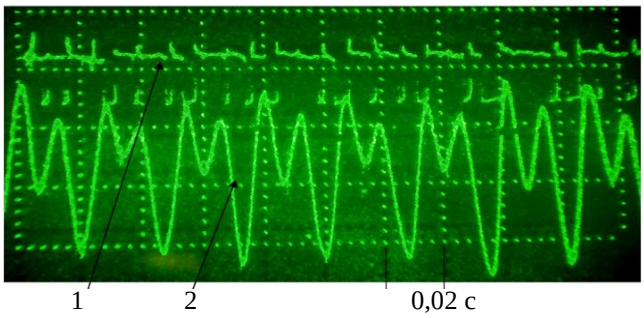


Рис. 9.7. Осцилограми процесу зварювання (1-напруга дуги) та імпульсної подачі електродного дроту (2 - швидкість подачі)

Геометричні розміри наплавлених валиків залежно від режимів імпульсної подачі порошкового дроту визначалися для середнього струму 150 А при основних змінах параметрів імпульсної подачі електродного дроту.

За отриманими даними у програмному забезпеченні «STATISTICA» були побудовані графіки поверхні відгуку значень геометричних розмірів зварного шва від частоти й щільності для досліджуваних значень зварювального струму. Також були отримані регресійні математичні моделі другого порядку, що описують дані графіки.

$$g, мм = 1{,}1877+0{,}0106*x+0{,}112*y-0{,}0001*x*x-0{,}0018*x*y-0{,}0029*y*y \quad (1),$$

$$h, мм = 0{,}6456-0{,}0134*x+0{,}2182*y+0{,}0002*x*x-0{,}0005*x*y-0{,}0144*y*y \quad (2),$$

$$w, мм = 9{,}0556+0{,}041*x-0{,}3376*y-0{,}0005*x*x+0{,}0008*x*y+0{,}0258*y*y \quad (3),$$

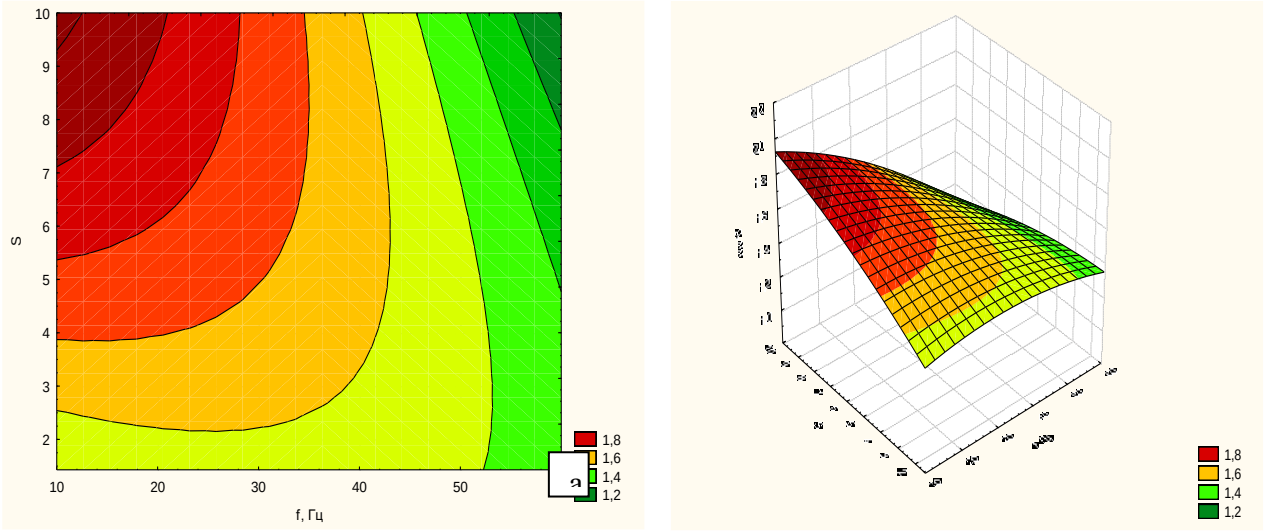
де g – опуклість зварного шва; h – глибина проплавлення; w – ширина зварного шва; x – частота, Гц; y – щільність струму.

У табл. 9.1 наведено ступінь впливу параметрів імпульсного подачі порошкового дроту на геометричні параметри зварного шва в порівнянні зі зварюванням при постійній подачі порошкового дроту на тому ж режимі струму (в таблиці для 150 А) та напруги.

Таблиця 9.1 – Ступінь впливу параметрів імпульсного руху порошкового дроту на геометричні параметри

Параметр	Значення параметра, мм			Вплив %		Сумарний вплив, %
	Без імпульсної подачі	min	max	зменшення	збільшення	
w	9,25	7,99	9,94	13,6	7,5	21,1
h	0,57	0,37	1,63	35,1	186,0	221,1
g	1,54	1,02	2,08	33,8	35,1	68,8

На рис.9.8 зображені отримані контурний графік та поверхня відгуку значень геометричних розмірів зварного шва для струму 150 А. Для інших параметрів шва також за аналогією можна отримати контурні графіки та поверхні відгуку.



а *б*

Рис. 9.8. Контурний графік (а) та поверхня відгуку (б) спільного впливу частоти та щільності на опуклість зварного шва

На рис. 9.9 представлені для порівняння два валики, наплавлені при однакових середніх значення струму і напруги - наплавлені однакових середніх значення струму і напруги, а також швидкості наплавлення з імпульсною подачею і традиційним способом. Валик, наплавлений без імпульсної подачі, сформований нерівномірно, є підтікання і навіть часткове стікання ванни. Можна стверджувати, що валик, наплавлений способом із застосуванням традиційної подачі, не може бути прийнятий як кондиційний.

Важливо зауважити, що процес з імпульсною подачею електродного дроту забезпечує менш напружений тепловий режим (менше теплоукладання), що сприяє появі більш спокійних умов для формування валика без перегріву розплавленого металу ванни. Валик, наплавлений із застосуванням

імпульсної подачі електродного дроту без підтікання, має регулярну дрібнолускату поверхню практично без коливань ширини по всій довжині зварного шва в порівнянні зі звичайною подачею.

Отримані при дослідженнях результати показують можливість регулювання геометричних параметрів процесу наплавлення за допомогою режимів при зварюванні з регульованою імпульсною подачею електродного дроту у вертикальному положенні. Так, у порівнянні з параметрами зварного шва виконаного без імпульсної подачі з тим же струмом і напругою, застосування імпульсів дозволяє більшою мірою впливати на глибину проплавлення зварного шва (можливе збільшення до 186 %). Вплив параметрів імпульсної подачі на ширину зварного шва незначний (21 %). Регулювання опуклістю зварного шва можлива в межах -34...+35 %. Максимальне проплавлення зварного шва можна досягти при шпаруватості 7-8 і частоті 10 Гц. Максимальна ширина знаходиться в діапазоні 40-50 Гц та шпаруватості 10 од.

Зауважимо, що можливість управління геометричними розмірами зварного шва дозволяє впливати на характеристики зварного з'єднання.

а б

Рис. 9.9. Зовнішні види валиків, наплавлених на вертикалі: *а – з імпульсною подачею електродного дроту; б – без імпульсної подачі*

Характеристики шва при зварюванні мокрим способом з керованою імпульсною подачею електродного дроту. Зміни геометричних характеристик зварних швів при зміні параметрів імпульсного руху електродного дроту істотно впливає на характеристики міцності швів і наплавлених валиків. Таким чином, очевидно, що характеристиками міцності можуть бути керованими та обрані шляхом зміни параметрів імпульсної подачі.

Спосіб зварювання з імпульсною подачею забезпечує керування переносом електродного металу, силовий вплив на ванну, зниження тепловкладень у дуговий процес та наплавлений шар.

Наприклад на рис. 9.10 представлені мікрошліфи поперечних перерізів ділянок зварних швів, виконаних із різними способами, у тому числі з імпульсною подачею електродного дроту. Фото мікрошліфів Х 250 отримані за допомогою оптичної мікроскопії та фотокамери. Застосовувалися для перегляду мікроскоп «Neophot-32» та фото цифрова камера «Olympus».

Можна відзначити, структура металу валика, виконаного з імпульсною подачею електродного дроту частотою порядку 40 Гц істотно відрізняється від структури металу валика, виконаного при звичайній подачі. Це стосується структури власне валика та структури зони перегріву. Основна відмінність - величина зерна і орієнтація кристалічної структури, які в тому числі визначає міцнісні властивості металу шва і навколошовної зони.

Більш детально встановлення ефективних факторів управління міцністю шва в умовах зварювання у водному середовищі повинно проводитися на підставі визначення механічних властивостей металу шва при зварюванні з імпульсною подачею електродного дроту.

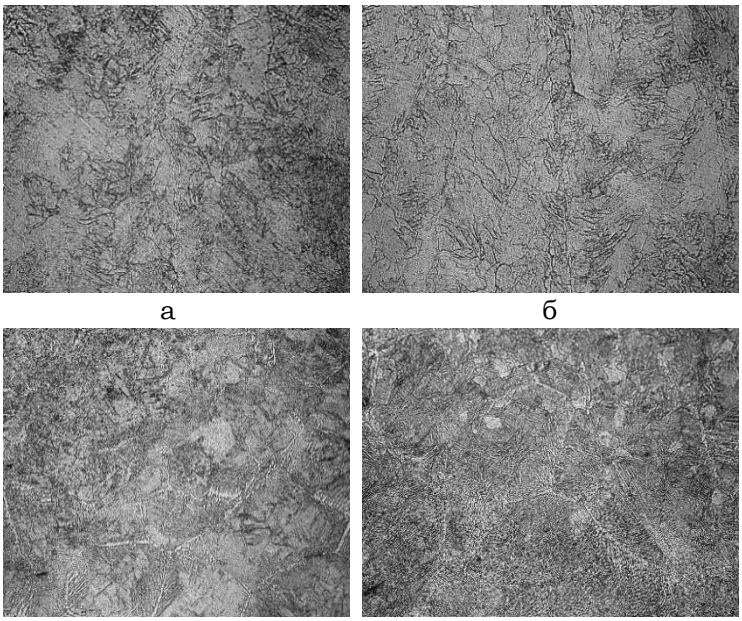


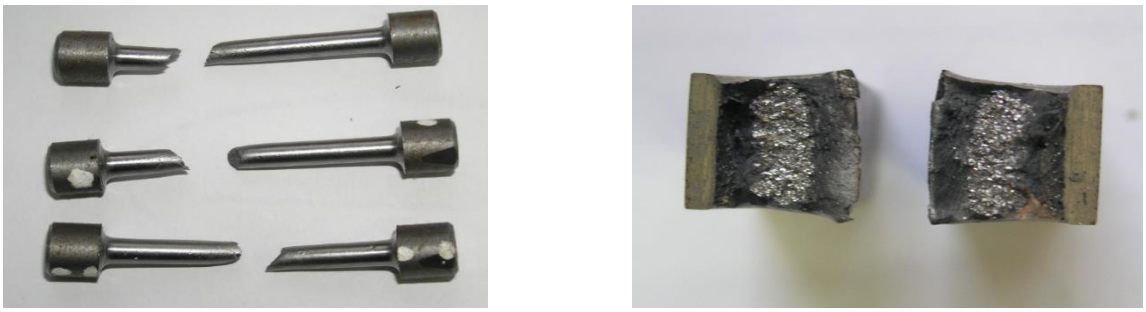
Рис. 9.10. Мікрошліфи наплавлених валиків:
а, в – основний наплавлений метал;
б, г – метал зони перегріву;
а ,б – метал наплавлений з імпульсною подачею, г - зі звичайною подачею

Для механічних випробувань були зварні стикові зразки зі Ст3 товщиною 14 мм порошковим дротом ППС-АН1 діаметром 1,6 мм. Зварювання проводилось у водному середовищі зварювальним автоматом А1742. Джерело зварювального струму ПСГ-500. Параметри процесу зварювання: напруга – 31…32 В; виліт дроту – 12 мм; швидкість зварювання – 7 м/г швидкість подачі дроту в паузі – 0 м/год, середній зварювальний струм – 180 А.

Змінні параметри імпульсного руху електродного дроту для процесу наплавлення:

- ряд частот - 20, 40, 60 Гц;
- шпаруватість імпульсів – 10; 3,33; 1,43.

Зі зварних стиків вирізали зразки для механічних випробувань, які виконувались відповідно до вимог Специфікації з підводного зварювання AWS / ANSI D3.6-2010. Зовнішній вигляд зразків після випробувань наведено на рис. 9.11.



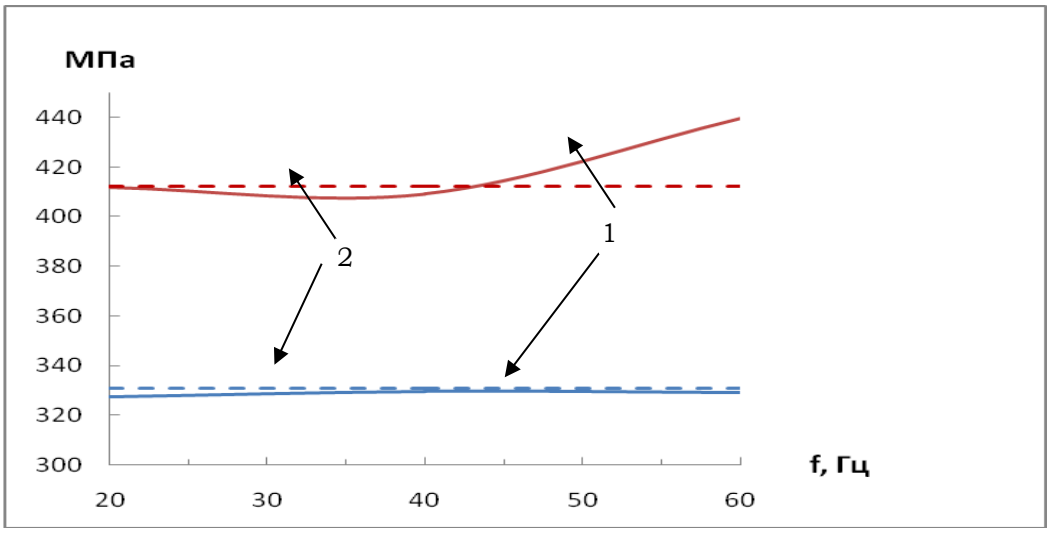
а *б*

Рис. 9.11. Зовнішній вигляд зразків після випробування (f = 40Гц, S = 1,43):
а – зразки після випробування на розтяг;
б – зразки після випробування на ударну в'язкість

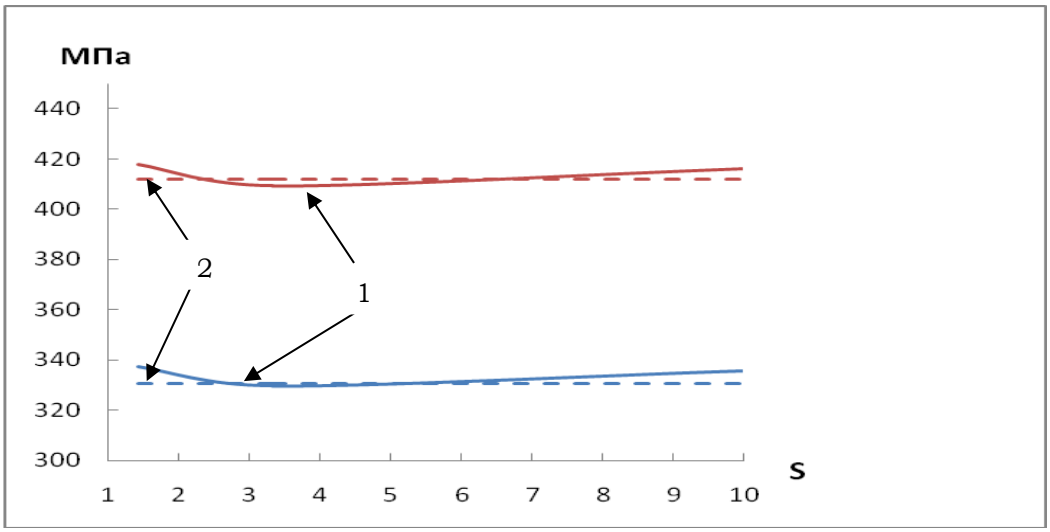
За отриманими даними, представленими в табл. 9.2, були побудовані графіки впливу частоти та шпаруватості імпульсної подачі порошкового дроту на показники міцності металу шва (рис. 9.12), його відносне подовження (рис. 9.13), а залежності для ударної в'язкості представлені на рис. 9.14. Залежність зміни величини залишкових напруг, при постійній та імпульсній подачі електродного дроту наведено на рис. 9.15.

Таблиця 9.2 – Результати вимірювання показників механічних властивостей металу шва

№	f	S	σт	σв	δ	ψ	KCV(T=20°C)
	Гц		МПа	МПа	%	%	Дж/см²
1	-	-	330,7	412,1	17	33,4	62,5
2	40	1,43	337,2	417,8	20	35,4	80,5
3	40	3,33	329,7	409,3	17,8	32	87,8
4	40	10	335,6	416,1	14,8	31,4	112,2
5	20	3,33	327,4	412	16,2	26,2	82,1
6	60	3,33	329	439,8	15	26,5	57,5

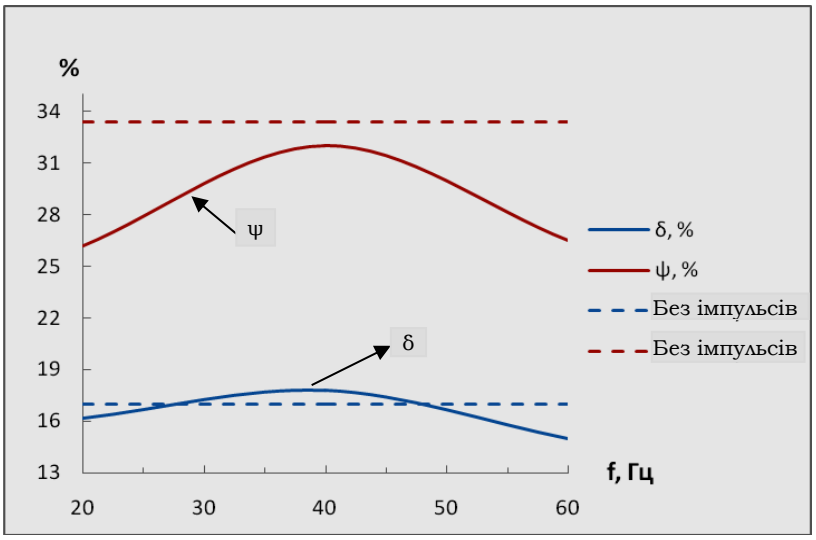


а

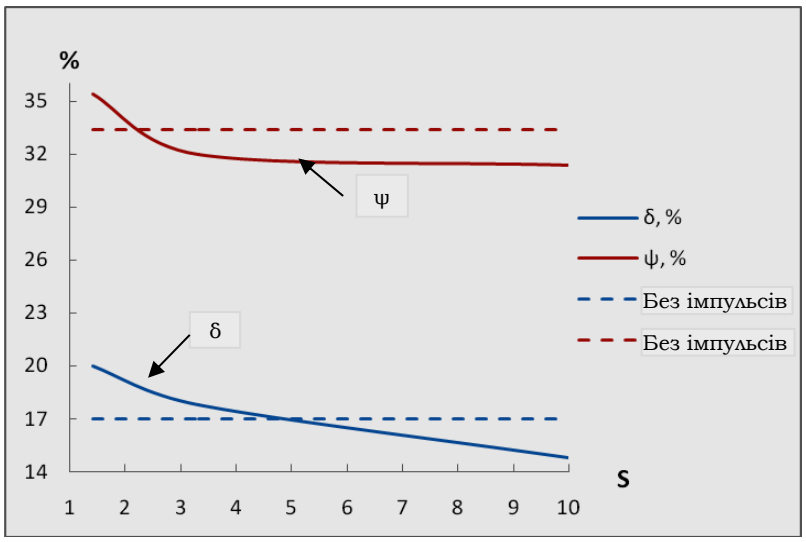


б

Рис. 9.12. Залежності між межами плинності (вгорі) та тимчасового опору від частоти (а) та шпаруватості (б):
1 – з імпульсами; 2 – без імпульсів

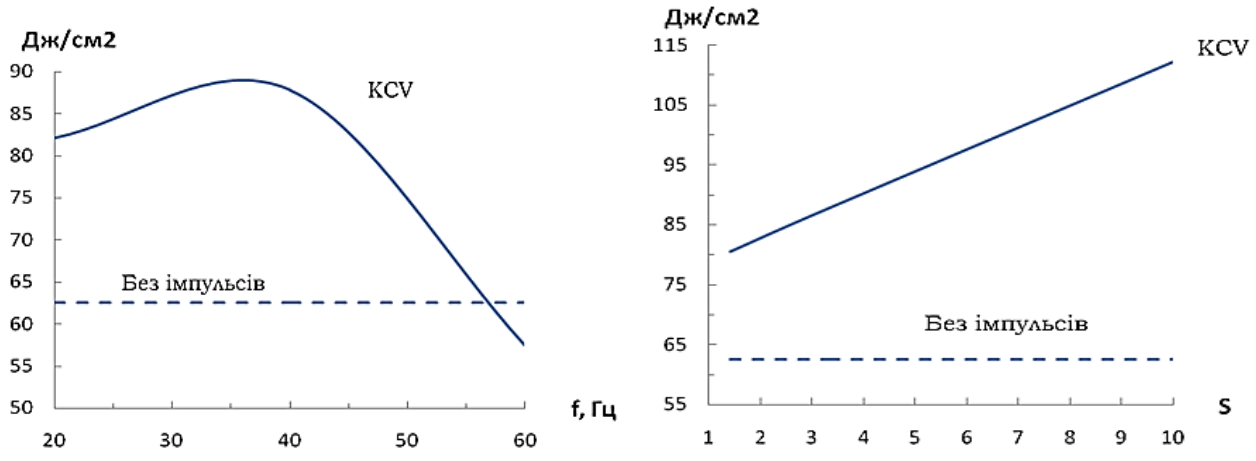


а



б

Рис. 9.13. Залежність відносного подовження та відносного звуження від частоти (а) і шпаруватості (б)



а *б*

Рис. 9.14. Залежність ударної в'язкості (KCV, T = 20°C) від частоти (а) та шпаруватості (б)

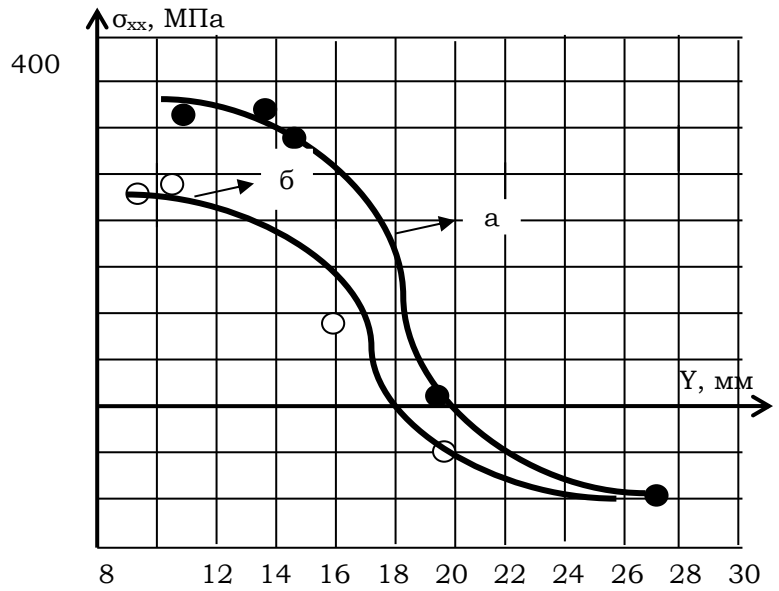


Рис. 9.15. Залежність зміни величини залишкових напруг σ_{xx}, при постійній (а) та імпульсній (б) подачі електродного дроту залежно від Y, мм – відстані від осі шва

Дуже цікаві та корисні у прикладному плані результати дає застосування імпульсної подачі при дослідженні напружено-деформованого стану, зокрема зони термічного впливу при зварюванні та наплавленні мокрим способом.

Були виконані одношарові наплавлення на різних режимах подачі електродного дроту. Визначення залишкових напруг в елементах конструкцій проводилося на основі застосування електронної спекл-інтерферометрії та методу кінцевих елементів.

Для постійної швидкості подачі при наплавленні в зоні термічного впливу при Y ≤ 15 (відстань від осі ведення процесу, мм), на відміну від більшості режимів з імпульсною подачею, спостерігається перехід від пружного напружено-деформованого стану до пружно - пластичного, що є більш несприятливим при зварюванні плавленням і може сприяти:

– деформаціям виробу, що наплавляється;

- втрати технологічної міцності через підвищений темп наростання пластичних деформацій.

Застосування імпульсної подачі електродного дроту на оптимальних режимах ((f = 20 Гц; S = 5 од.)) дозволяє знизити залишкові напруги до 220 МПа ≈ на 30 %), що вже досить надійно забезпечує збереження пружного напружено деформованого стану в зоні термічного впливу після виконання наплавлення валика.

Дослідження показали, що зменшення шпаруватості імпульсів подачі з 5 одиниць до 3 веде до деякого збільшення залишкових напруг у пружній зоні напружено-деформованого стану, що пояснюється послідовним наближенням тепловкдалень у виріб до випадку постійної подачі електродного дроту. Також аналогічний ефект спостерігається і при збільшенні частоти імпульсної подачі з 20 до 60 Гц.

Слід зазначити, що всі результати можуть бути отримані при застосуванні будь-яких видів джерел зварювального струму, які прості за конструкцією, відносні дешеві й широко застосовуються для напівавтоматичного зварювання - наплавлення у звичайних умовах. Єдине обмеження – великі глибини (понад 60 М).

Вплив параметрів імпульсної подачі дроту на величину межі плинності та тимчасового опору розриву незначний і порівнянний з величиною цих параметрів зварювання без імпульсів, крім ділянки в районі 60 Гц, де спостерігається

підвищення величини тимчасового опору розриву. Що стосується відносного подовження та відносного звуження, то максимальних значень слід шукати в середньому діапазоні частот (40 Гц) та шпаруватості до 3 одиниць. Інші області режимів зменшують величину цих показників порівняно зі зварюванням без імпульсів. Застосування імпульсної подачі порошкового дроту при зварюванні може покращити показники ударної в'язкості. У середньому діапазоні частот (40 Гц) та більших значеннях шпаруватості (10 од.) можна отримати максимальні значення, що майже вдвічі перевищує показники зварювання без застосування імпульсів. Однак на частоті близької до 60 Гц величина цього параметра може бути нижчою за показники зварювання без застосування імпульсів.

Результати, отримані при застосуванні імпульсної подачі електродного дроту в природних умовах і у водному середовищі дещо відрізняються один від одного, що зумовлено різними теплофізичними умовами ведення дугового процесу.

На сьогодні дослідження з визначення показників міцності продовжені й на більш значних глибинах 20…40 м. Отримані із застосуванням зварювального автомата результати близькі до описаних вище.

Різні параметри імпульсного руху електрода по-різному впливають на механічні характеристики міцності. У зв'язку з цим необхідно або обмежувати вибір отримання потрібних характеристик для конкретного з'єднання, або наплавленого шару. Проблема полягає в тому, що необхідний результат може бути оцінений тільки після спеціальних досліджень.

Комплекс близьких до необхідних характеристик шва або наплавленого валика можна забезпечити кількома способами, наприклад:

1. Вибір параметрів імпульсної подачі на основі попередніх порівняльних досліджень, які дією близькі за ефектом кільком результатам наплавлення.

2. Застосування кількох техніко-технологічних прийомів (імпульс джерела, імпульс подачі, модульовані режими).

Застосування цих способів, природно, пов'язане зі збільшенням витрат на реалізацію зварювально-наплавних процесів, проте в багатьох випадках, коли експериментальний вибір параметрів імпульсної подачі утруднений, можна скористатися вищевказаними способами.

Вивчення форми шва й наплавленого в нижньому положенні валика при напівавтоматичному підводному зварюванні мокрим способом. Був виконаний цикл досліджень, спрямованих на визначення ступеня впливу параметрів імпульсного руху електродного дроту на характеристики зварного шва і наплавленого валика при виконанні зварювально-наплавних робіт зі сталями в нижньому положенні.

Наплавлення валиків проводилося порошковим проводом ППС-АН1 діаметром 1,6 мм у водному середовищі (глибина до 1 м). Джерело зварювального струму ПСГ-500. Зварювальний автомат А1742. Наплавлення виконувалося на пластині зі Ст3 завтовшки 12 мм. Використовувався безредукторний механізм імпульсної подачі, що складається зі швидкодійного вентильного електродвигуна спеціальної розробки з комплектом рушіїв – подавальний, установлений безпосередньо на валу електродвигуна та притискної ролики. Регулювання параметрів руху здійснюється від спеціалізованого комп'ютеризованого регулятора.

Параметри процесу наплавлення:
- напруга – 30-32 В;
- виліт проволоки – 12 мм;
- швидкість зварювання – м/год;
- швидкість подачі проволоки в паузі – 0 м/год.

Змінні параметри процесу наплавлення:
- зварювальний струм – 180, 190, 200, 210, 220 А;
- ряд частот – 20, 30, 40, 50, 60 Гц;
- шпаруватість імпульсів – 10; 3,33; 2; 1,43.

Слід зазначити, що частота імпульсної подачі, завдяки малоінерційності безредукторного, механізму може досягати 60...70 Гц. Система дозволяє здійснити подачу за програмою часткового використання розглянутого вище алгоритму.

Алгоритм, який може програмно реалізувати алгоритм руху, представлений в ідеалізованому вигляді в попередніх розділах.

Важливо зазначити, зміна характеру подачі електронного дроту з отриманням імпульсних впливів на дуговий процес, які можна поділити на ті, які безпосередньо пов'язані з перенесенням електродного металу, і ті, які визначають швидкість плавлення дроту й тепловий стан ванни та загальне тепловкладання в дуговий процес. Організація апаратними засобами управління параметрами цих впливів дає можливість вирішити певні техніко-технологічні завдання зварювального виробництва реалізованого в різних водних середовищах.

Слід зазначити, що при зварюванні з імпульсною подачею в нижньому положенні, що виконується в природних умовах, досягаються певні технологічні ефекти, які описані в попередніх розділах роботі. При зварюванні у водному середовищі, яке зумовлює наявність істотно різних теплофізичних і гідродинамічних умов, також є суттєвий вплив на результати процесу зварювання. Наявні теоретичні дослідження в цьому напрямку показують, що є досить багато причин, що ускладнюють зварювання-наплавлення у водному середовищі. Розроблені спеціальні порошкові електродні дроти, устаткування, яке постійно вдосконалюються, дозволяють максимально використовувати можливості дугового процесу напівавтоматичним та автоматичним обладнанням. Однак є завдання, які досить успішно вирішується при виконанні зварювально-наплавних робіт у природних умовах, але викликає складності у водному середовищі. Можливість вирішити ці завдання, використовуючи кероване імпульсне переміщення електродного дроту, зумовлює проведення комплексного дослідження цього процесу.

Рис. 9.16. Макрошліфи валиків з подачею дроту:
69 – без імпульсів; 78 – з імпульсами

На підставі накопиченого досвіду ведення експериментальних досліджень і виробничих робіт, що визначили середнє значення зварювального струму в 180 А, при якому досягаються кращі результати. Зовнішній вигляд зразків виконаних мокрим способом за всіх рівних умов представлені на фотографіях рис. 9.16.

Зварювання проводилися в автоматичному режимі. Це забезпечило однакові умови ведення процесу. Результати вимірювань систематизовані в табл. 9.3, де g – глибина проплавлення; h – посилення валика; w – ширина валика.

Таблиця 9.3 – Геометричні розміри залежно від режимів імпульсної подачі

№	частота	шпаруватість	g	h	w
	Гц		мм	мм	мм
1	**20**	**1,43**	**3,78**	**2,65**	**14**
2	20	2	2,97	3,32	14,18
3	20	3,33	4,72	2,94	14,7
4	20	10	4,77	3,12	13,86
5	30	1,43	5,35	2,97	15,19
6	30	2	4,93	2,62	15,28
7	30	3,33	4,82	3	16,44
8	30	10	4,66	3,11	15,92
9	40	1,43	4,4	3,34	14,53
10	40	2	4,66	3,65	15,56
11	40	3,33	4,28	3,26	14,78
12	40	10	4,89	3,04	15,51
13	50	1,43	4,48	2,23	14,08
14	50	2	5,63	2,46	14,06
15	50	3,33	4,27	2,92	14,77
16	50	10	4,29	2,64	14,54
17	60	1,43	4,5	3,17	15,17
18	60	2	4,93	2,07	15,94
19	60	3,33	4,48	2,83	15
20	60	10	4,23	3,02	15,32

За отриманими даними (табл. 9.3) у програмному забезпеченні «STATISTICA» були побудовані контурні графіки та поверхні відгуку значень геометричних розмірів зварного шва від частоти та щільності для досліджуваних значень зварювального струму 180А (рис. 9.17) Аналогічні графіки та поверхні відгуку можна отримати і для інших параметрів шва. Регресійні математичні моделі другого порядку описують дані графіки:

g, мм = 2,0742+0,1115*x+0,1534*y-0,0011*x*x-0,0041*x*y+0,0011*y*y (1),

h, мм = 2,5044+0,0232*x+0,0973*y-0,0004*x*x+0,0003*x*y-0,008*y*y (2),

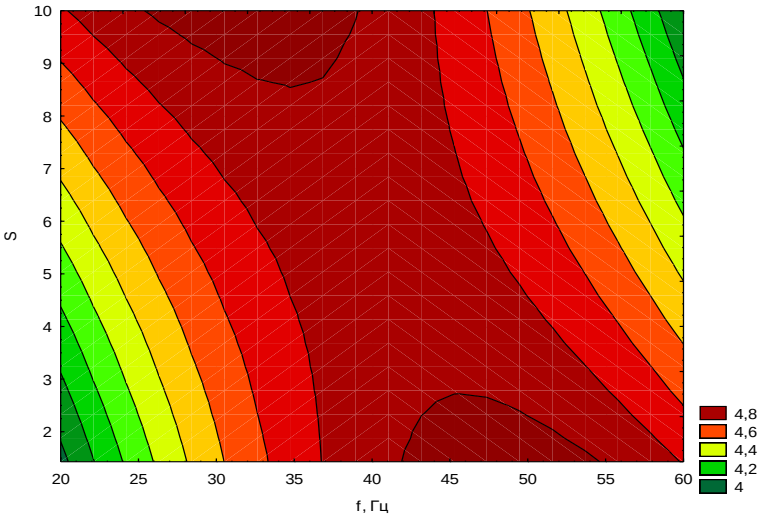
w, мм = 12,6241+0,0759*x+0,4125*y-0,0008*x*x+0,0003*x*y-0,0337*y*y (3),

де g – опуклість зварного шва; h – глибина проплавлення; w – ширина зварного шва; x – частота, Гц; y – шпаруватість струму.

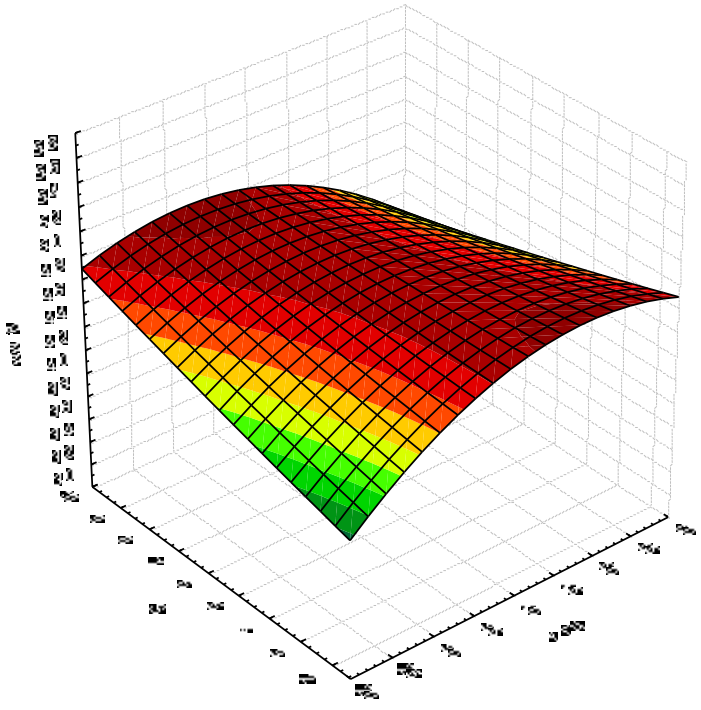
У табл. 9.4 наведено ступінь впливу параметрів імпульсної подачі порошкового дроту на геометричні параметри зварного шва в порівнянні зі зварюванням при постійній подачі порошкового дроту на тому ж режимі струму (в таблиці для 180 А) n напруги.

Таблиця 9.4 – Ступінь впливу параметрів імпульсного подачі на характеристики шва

Параметр	Значення параметра, мм			Вплив, %		Діапазон
	без імпульсної подачі	min	max	зменшення	збільшення	вплив, %
w	15,71	14	16,44	10,9	4,6	15,5
h	2,52	2,07	3,65	17,9	44,8	62,7
g	4,82	2,97	5,63	38,4	16,8	55,2



а



б

Рис. 9 17. Контурний графік (а) та поверхня відгуку (б) спільного впливу частоти та щільності на опуклість зварного шва

Отримані результати показують можливість регулювання геометричних параметрів процесу наплавлення за допомогою режимів імпульсної подачі електродного дроту при зварюванні у водному середовищі. Так, порівняно з параметрами зварного шва виконаного при звичайній подачі з тим же струмом і

напругою, застосування імпульсів дозволяє більшою мірою впливати на глибину проплавлення та опуклість зварного шва. Вплив параметрів імпульсної подачі на ширину зварного шва незначний. Так, за допомогою імпульсної подачі в діапазоні частот 20-60 Гц і шпаруватості від 1,43 до 10 од. порівняно зі зварюванням з постійним поданням дроту можливе керування глибиною проплавлення в діапазоні від -18 до +45 % та опуклістю зварного шва в діапазоні від -38 до +17 %. Ступінь впливу на ширину зварного шва незначний – від -11 до +4 %.

Окремо слід звернути увагу на те, що інноваційна техніка та технології електродугового зварювання під водою мокрим способом уже досить широко впроваджені на різних об'єктах, і деякі приклади цього описані в роботі [12] та ін.

Є достатньо багато випадків використання напівавтоматів для підводного зварювання мокрим способом на значному віддаленні від джерела зварювального струму, наприклад збільшені глибини, віддалені кораблі від місця розташування енергетичної бази тощо. У цих випадках стає в пригоді спеціальна конструкція запропонованого в ІЕЗ ім. Є. О. Патона джерела живлення, яке представлено в роботі [17].

Література до розділу 9

1. Haiko G. Perspectives of tunnel passages construction under the Dnieper / Haiko Gennadiy, Zakharchenko Petro // Підводні технології. – 2016. – № 4. – С. 72-79.

2. Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applicationl / Edited by: Low Kin Huat, Pro Literatur Verlag. – Germany/ARS, Austria, 2006. – 702 p.

3. Keats D.J. Underwater Wet Welding – A Welder's Mate / D.J. Keats. — Speciality Welds Ltd, 2005. – P. 300.

4. Acarnley P. Stepping motors. A guide to theory and practice / Acarnley Paul. 4th ed. London: Institution of Engineering and Technology, 2007. – 159 p.

5. Авторское свидетельство СССР № 256914 В23К 31/00 Устройство для подводной сварки / В. Е. Патон, В. Б. Смолярко, М. Г. Бельфор и др. – Опубл. 25.06.76. БИ № 23.

6. Авторское свидетельство СССР № 382327 В23К 9/12 Устройство для подводной сварки / В. Е. Патон, В. Б. Смолярко, М. Г. Бельфор и др. – Заявл. 22.03.1971.

7. Гусаченко А. И. Автоматическая сварка под водой низколегированных сталей порошковой проволокой / А. И. Гусаченко, В. Я. Кононенко // Автомат. сварка. – 1989. – № 7. – С. 32–34.

8. Уникальный комплекс оборудования для автоматической дуговой сварки на большой глубине в максимально ограниченных условиях / Д. И. Зайнулин, В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов, В. Г. Пичак // Сборник тезисов стендовых докладов Международной конференции «Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее», 25-26 ноября 2013. – Киев, 2013. – С.70-71.

9. Кононенко В. Я. Подводная сварка и резка / В. Я. Кононенко. – Киев : Экототехнология, 2011. – 264 с.

10. Лебедев В. А. Мехатронные и другие основные электротехнические системы механизированного оборудования для подводной сварки мокрым способом / В. А. Лебедев //Электротехнические и компьютерные системы. – 2015. – № 17. – С. 42-47.

11. Патон Б. Е. К 100-летию сварки под водой / Б. Е. Патон, И. М. Савич // Автомат. сварка. – 1987. – № 12. – С. 1–2.

12. Патон Б. Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций / Б. Е. Патон //Автоматическая сварка. – 2003. – Октябрь – ноябрь. – С. 7-13.

13. Куликов П. О готовности Украины к освоению полезных ископаемых Мирового Океана / Петр Куликов, Михаил Сукач // Підводні технології. – 2015. – №2. – С. 3-10.

14. Савич И. М. Подводная сварка порошковой проволокой / И. М. Савич // Автомат. сварка. – 1969. – № 10. – С. 70.

РОЗДІЛ 10
Механізація та автоматизація зварювального виробництва та виробництв з відновлювальним і захисним наплавленням

Загальні відомості про завдання механізації та автоматизації зварювального виробництва та виробництв із відновлювальним і захисним наплавленням. Обсяги застосування електродугових процесів, особливо з використанням електродних дротів різного типу, постійно ростуть. Особливо це помітно в галузях, пов'язаних із кораблебудуванням, транспортними об'єктами та інше. При цьому збільшуються не тільки обсяги виробництв, а й вимоги до якості виконання робіт зі зварювання та наплавлення, забезпечення продуктивності використання зварювального обладнання, розширення сфер його ефективної роботи в різних умовах і середовищах, а також здешевлення як самого обладнання, результатів його застосування та обслуговування. Дуже важливими є проблеми санітарно-гігієнічного спрямування, які потребують зменшення їхнього впливу на довкілля та технічний персонал, який безпосередньо здійснює технологічний процес.

Є кілька шляхів підвищення продуктивності зварювання, наплавлення та різання. Одним із них є дедалі більше запровадження як окремих типів відповідного обладнання, так і систем та комплексів для механізації та автоматизації, що зазначено в багатьох роботах, у тому числі [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].

Зразки обладнання для механізованого та автоматичного зварювання та наплавлення можна знайти за відповідними електронними посиланнями, наприклад, robot-FANUK - brochure-ua.pdf.

У цьому матеріалі не розглядаються проблеми ручного дугового зварювання штучним електродом, а увага приділяється обладнанню, яке пов'язане з різними системи, що базуються на використанні електродних дротів, які плавляться. Досить умовно таке обладнання можна поділити чи згрупувати таким чином:

- напівавтомати;
- засоби малої механізації маніпулятори;
- станки;
- автомати;
- роботи.

Усе це обладнання постійно вдосконалюється щодо техніко-технологічних характеристик і в багатьох напрямах має інноваційні ознаки. Це стосується як обладнання універсального використання (здебільшого серійне), так і розробок, які можуть бути застосовані для вирішення конкретних задач з електродугового зварювання та наплавлення.

Приклади сучасних напівавтоматів серійного виробництва та окремих спеціальних розробок наведені в попередніх розділах.

Мала механізація зварювального виробництва. Засоби малої механізації містять у собі найрізноманітніший спектр технічних пристроїв, основне завдання яких – полегшити роботу зварювальників і забезпечити однакову якість дугового процесу в різних умовах і в різних просторових положеннях. До цієї групи належать зварювальні трактори, приклади деяких з них були показані в попередніх розділах як обладнання загального призначення. Тут можна зупинитись ще раз на тракторах для зварювання виробництва закордонних фірм, які завдяки високому ступеню надійності, простоті конструкції набули поширення на промислових підприємствах України і представлені на рис. 10.1. Такі зварювальні трактори за набором функцій мало відрізняються один від одного і мають застосування практично в одному техніко-технологічному напрямку – зварювання прямолінійних довгих одноманітних швів.

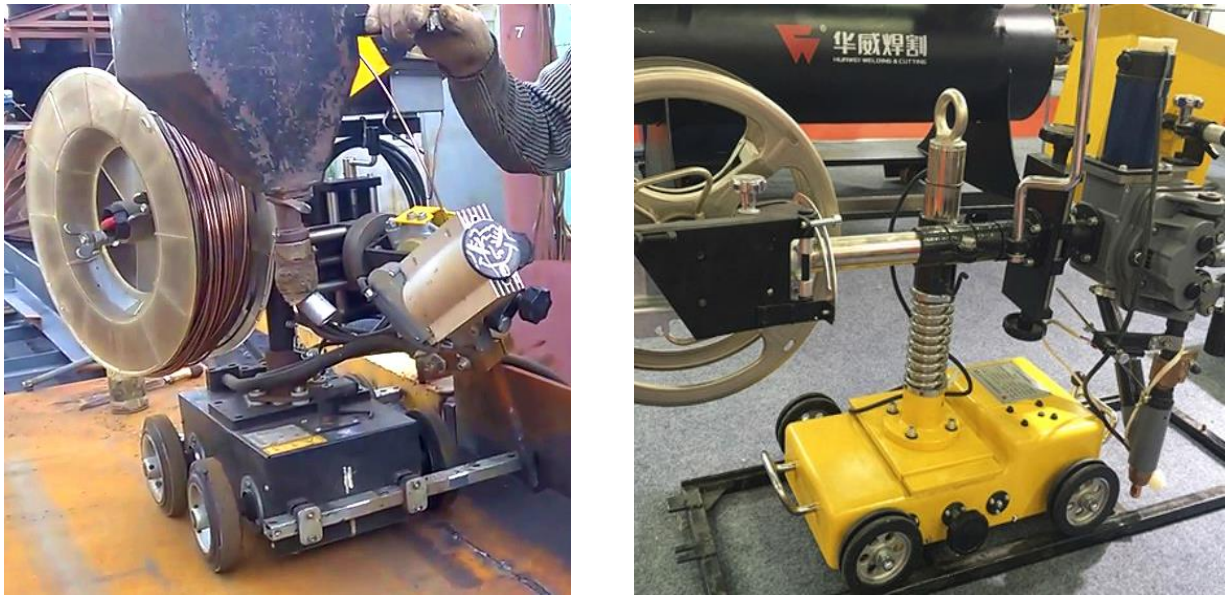


Рис. 10.1. Конструкції зварювальних тракторів

Є конструкції зварювальних тракторів, які додатково оснащуються системами стеження за швом, але їхня дія можлива лише при силовому впливу на трактор, оскільки зазвичай трактори не мають механізмів направлення по стику. Цю проблему можна вирішити суттєвим зменшенням масогабаритних характеристик трактора та становлення чи використання спеціальних напрямних вузлів.

Є спеціальні розробки керованих по частоті та амплітуді коливань пристрої, які можуть встановлюватися на зварювальні трактори та інші системи малої механізації та автоматизації для розширення можливостей зі зварювання швів зі збільшеною шириною та здійснення широкошарового наплавлення. Для прикладу такий пристрій-коливач з універсальним кріпленням та досить широкими можливостями представлений на рис. 10.2.

Що стосується розширення функціональних можливостей зварювальних систем тракторного типу, то таких розробок є досить багато.

Мала механізація зварювальних процесів - один з найбільш успішно і давно розвиваються способів істотного підвищення продуктивності й поліпшення праці зварника включає в себе вузли для переміщення зварювального

інструменту, наприклад, власника напівавтомата і самохідні малогабаритні пристрої переносного типу зварювальних тракторів. Засоби включають в себе найрізноманітніший спектр технічних пристроїв, основне завдання яких – полегшити роботу зварювальників і забезпечити однакову якість дугового процесу в різних умовах і в різних просторових положеннях.

Рис. 10.2. Коливач зварювального інструменту

Системи малої механізації дозволяють не тільки забезпечити переміщення торця електродного дроту по стику, а й у багатьох випадках здійснити стеження за цим стиком. Таким чином, очевидно, що засоби малої механізації разом зі зварювальним інструментом вирішують завдання автоматизації зварювальних процесів і, на нашу думку, є деякою перехідною ланкою в класифікації зварювального обладнання, що стоїть між напівавтоматичним і автоматичним зварюванням. При цьому не слід розглядати системи малої механізації як щось таке, що підлягає серійному відтворенню. Цей вид обладнання в більшості своїх конструкцій призначається для вирішення конкретних і локальних завдань і тому переважно розробки в цьому напрямі несуть відбиток оригінальності технічних рішень.

Треба особливо відзначити, що більшість технічних розробок у сфері малої механізації має ознаки нових технічних рішень, а деякі з них є інноваційними.

На початковому етапі робіт зі створення технічних засобів малої механізації попередньо вирішувалося завдання виявити номенклатуру зварних швів про суднобудування, тобто згрупувати їх за видами та технологічними ознаками. Далі необхідно було створити конструкторсько-технологічне рішення для кожної з груп або ряду груп.

Саме з аналізу номенклатури зварних швів у суднобудуванні народилася ідея розробки найпростіших маневрових високоефективних пристроїв і механізмів. Очевидно, що подібні номенклатури зварних швів і наплавлювальних поверхонь можуть бути складені і для інших галузей промисловості.

На конкретних прикладах розробок конструкцій засобів малої механізації зварювальних процесів у ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України розглянемо характерні пристрої для переміщення пальника серійного напівавтомата вздовж кромок, що зварюються, які залежно від бази, по якій переміщається ходовий візок з пальником, можуть бути рейкового й безрейкового типів.

Це насамперед гама зварювальних малогабаритних тракторів, у яких на відміну від попередніх прикладів використовується один електродвигун для здійснення як подачі електродного дроту, так і зварювального руху. Частина таких розробок є універсальною і може бути застосована як для зварювання під флюсом, так і в середовищі захисного газу. Є розробки з опорою з лівого і з правого боку, що дуже зручно при зварюванні в кут.

На рис. 10.3 представлені приклади з гамми малогабаритних зварювальних тракторів універсального типу з різними варіантами оснащення.

Серед об'єктів малої механізації поширені пристрої, у яких прямолінійні або криволінійні шви в усіх просторових положеннях виконуються за рахунок жорсткої або гнучкої рейки, що закріплюється безпосередньо на виробі й копіює геометрію зварного з'єднання. При цьому кріплення таких рейок здійснюється за рахунок магнітів, струбцин або вакуумних присмоктувачів.

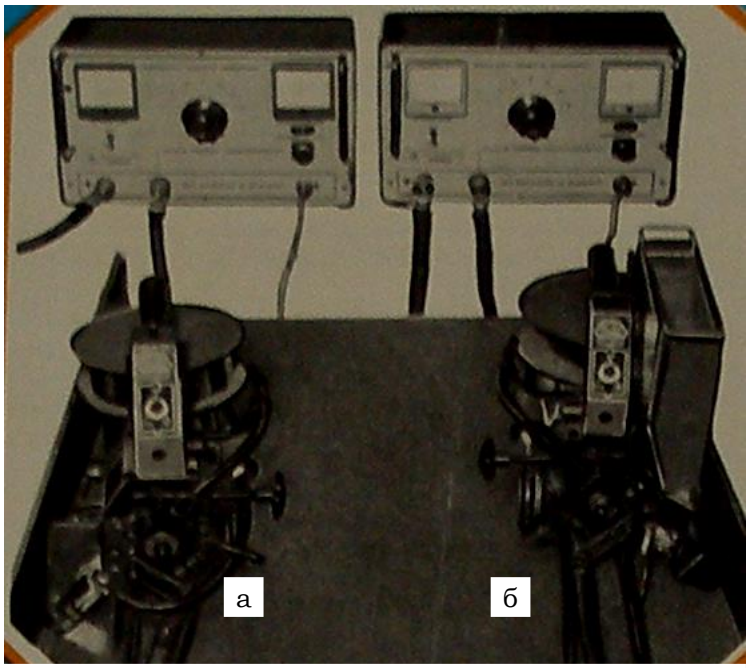


Рис. 10.3. Малогабаритні зварювальні трактори універсального типу з різними варіантами оснащення для зварювання:
а – у захисному газі; б – під флюсом

Пристрої для переміщення пальників напівавтоматів, завдяки малим габаритам і простоті виконавчих механізмів (ходовий візок, коливач, пальник) дозволяють зварювати шви, які або важко доступні або недоступні для серійних зварювальних автоматів. Можна стверджувати, що тут, по суті, виконавчий механізм є змінним інструментом для зварювання на одному робочому місці різних виробів із різними типами швів. Прикладом такого технічного рішення може бути пристрій, представлений на рис. 10.4.

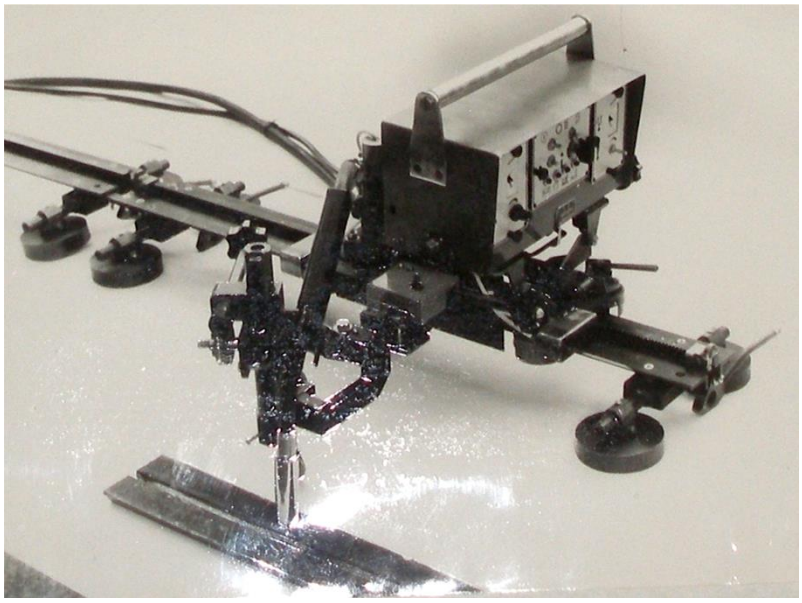


Рис. 10.4. Пристрій для зварювання в усіх просторових положеннях на магнітних фіксаторах

Якщо зварювання відбувається в металевому корпусі, що часто буває при роботах зі складанням елементів у суднобудівництві та інших об’єктів, дуже корисною може бути розробка комплекту направляючих на магнітних кріпленнях, по яких пересувається каретка зі зварювальним інструментом. За наявності такої конструкції зварювання може проводитись у будь-якому просторовому положенні. Дія магнітних кріплень може бути скасована спеціальними важелями, які є на кожному кріпленні.

Розроблено малогабаритні й маневрові пристрої, які можуть зварювати шви, які недоступні для звичайних зварювальних тракторів та інших автоматів, які серійно випускаються промисловістю. Очевидно, що габарити зварювального обладнання можна значно зменшити, якщо його спеціалізувати для зварювання обмеженої номенклатури швів, що часто зустрічаються.

На рис. 10.5 представлені деякі конструкції пристроїв для малої механізації, які розроблені в ДКТБ ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.

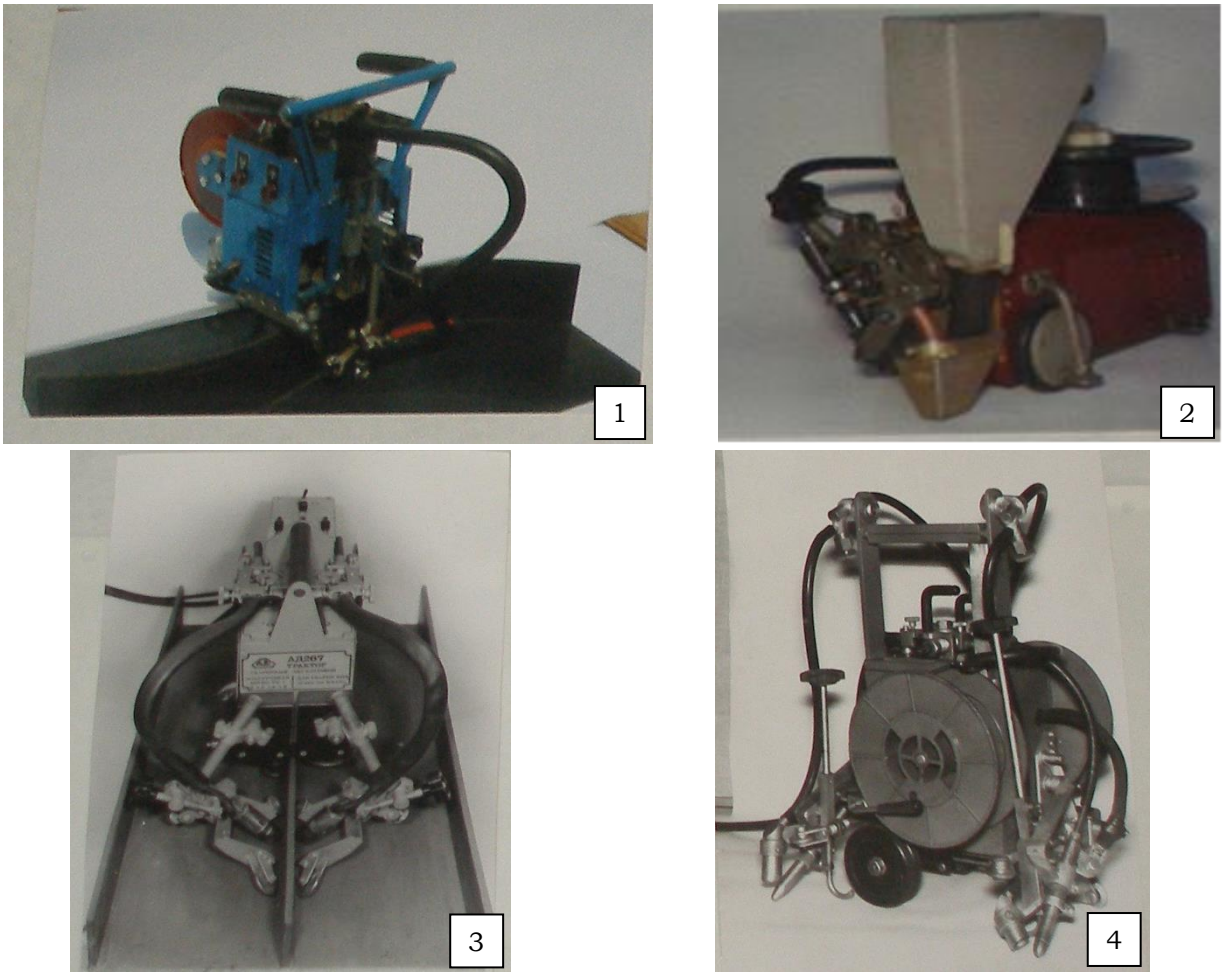


Рис. 10.5. Оригінальні розробки пристроїв для малої механізації:
1 – зварювання балок та каркасів; 2 –зварювання ванним способом; 3 – зварювання з координацією центра; 4 – зварювання тандемне – двома дугами

Можна зазначити, що більшість розробок пристроїв малої механізації зварювання дозволяє подвоїти продуктивність роботи зварювальників.

Прикладом дуже вдалої розробки обладнання як інноваційного об'єкта малої механізації є показаний на рис. 10.6 електрозаклепник А1830 без системи керування (пульт) та джерела живлення. Заклепник є зварювальним інструментом, за допомогою якого забезпечується:

- можливість притискання листа до конструкції за рахунок зусилля, що додається безпосередньо до інструмента;

- подача електродного дроту, захисного газу та зварювального струму до зони зварювання.

Мінімальна товщина листа – 0,4 мм. Найбільша товщина листа, що приварюється, визначається потужністю джерела зварювального струму, наприклад, джерело з номінальним струмом 300 А приварює лист товщиною до 2,0 мм. Товщина листа металоконструкції, до якої приварюється лист, не обмежена.

Заклепочник забезпечує зварювання в різних просторових положеннях у радіусі 5 м. Радіус дії може бути збільшений за спеціальним замовленням. Сфера застосування пристрою – електродугове точкове зварювання каркасів, кузовів, кабін, ангарів, судин та інших листових конструкцій.

Механізм подачі електродного дроту разом з касетою розміщений в одному корпусі. Як вузол подачі використана оригінальна розробка безредукторного механізму із застосуванням планетарних роликів.

Рис. 10.6. Електрозаклепник А1830

Маніпулятори та їхні нові можливості маніпуляторів для зварювального виробництва. З попереднього матеріалу доказово відомо, що сучасне машинобудування неможливо уявити без зварювання та споріднених процесів, для виконання яких необхідний комплекс обладнання, що забезпечує отримання швів заданої якості та конфігурації. До цього обладнання пред'являються численні і різноманітні вимоги, оскільки на умови виконання зварювання більше, ніж на будь-який інший технологічний процес обробки металів (різання, кування та ін.), впливають розміри і форма заготовок, якість і точність збирання, а також зміна в процесі роботи розмірів деталей внаслідок теплових деформацій та зміни різноманітних параметрів і режимів зварювання.

Вирішальне значення для комплексної механізації процесу зварювання має наявність у складі зварювального комплексу механічного зварювального обладнання (МЗО) та різного додаткового та допоміжного обладнання. До цього обладнання відносяться пристосування та механізми: для укладання, нахилу та обертання зварюваних виробів (стенди, обертачі, кантувачі, маніпулятори та ін.); для кріплення та переміщення зварювальних апаратів (рейкові колії, колони, візки та ін.).

Є велика кількість розробок механічного зварювального обладнання та досить багато виробників обладнання цієї категорії різного призначення. Насамперед це універсальне обладнання. На рис. 10.7 та 10.8 наведено приклади універсальних маніпуляторів загального призначення.

Універсальні маніпулятори забезпечують обертання виробу на 360° і нахил на кут від 90° до 360°, залежно від конструкції. Вони призначені для встановлення виробів у положення, зручне для зварювання та обертання зі зварювальною швидкістю при автоматичному дуговому електрозварюванні кругових швів під шаром флюсу, у середовищі захисних газів, а також при наплавних

роботах і різанні. Універсальні маніпулятори можуть використовуватися для повороту виробу на маршової швидкості та встановлення його в положення, зручне для напівавтоматичного та ручного дугового зварювання.

Рис. 10.7. Малогабаритний універсальний маніпулятор із системою керування і з можливістю обертання та нахилу виробу

Рис. 10.8. Потужний універсальний маніпулятор з можливістю обертання та нахилу виробу великих габаритів та ваги

Маніпулятори можуть мати замість електричної привідну гідравлічну систему, а також пневматичну або гідравлічну систему для механізму кріплення виробу.

На рис. 10.9-10.12 представлені для прикладу маніпулятори універсального типу спеціального призначення з додатковими можливостями щодо оперування виробом, що зварюється чи наплавляється.

Рис. 10.9. L-подібний універсальний маніпулятор

Рис. 10.10. U-подібний універсальний маніпулятор

Рис. 10.11. Універсальний маніпулятор зі столом, який піднімається

Рис. 10.12. Універсальний маніпулятор консольного типу

При виконанні зварювальних робіт, які потребують особливого підходу (великі габарити, вага, незвичні умови), розробляється унікальне механічне зварювальне обладнання, деяке з них представлені на рис. 10.13. Частину таких конструкцій з розгляду прийнятих та реалізованих рішень цілком можна віднести до інноваційних.

1 2

Рис. 10.13. Унікальні зразки МЗО: пересувний портал (1), установка для напівавтоматичного зварювання під флюсом кільцевих та поздовжніх внутрішніх швів (2)

Технологічність і можливості сучасного МЗО багато в чому залежать від типів приводів, які використовуються для забезпечення переміщення, нахилу та обертання [3], [6].

Відомо, що міцність зварного з'єднання, у тому числі технологічна міцність, значною мірою визначається структурою шва та ділянок зони термічного впливу, їхньою довжиною. Вирішальний вплив на розміри цих зон надає швидкість охолодження шва. Тому пошук інших можливостей регулювання швидкості охолодження структур у навколошовній зоні становить певний теоретичний та практичний інтерес. Крім цього, можливість керувати геометричними параметрами зварювального шва, зокрема шириною і глибиною проплавлення, залишається важливим завданням при проведенні наплавних робіт, що дозволяє, в тому числі керувати співвідношенням частки основного в наплавленому металі.

Одним із можливих способів, що дозволяє одночасно керувати геометричними параметрами та змінювати структури шва й навколошовної зони, є зварювання з введенням коливань низької частоти у виріб, що зварюється в процесі його нагрівання і охолодження. Останнє дозволяє змінювати як напрямок зростання кристалічних структур, так і їхню величину, що своєю чергою визначає міцність зварної сполуки.

Донедавна технічно вирішити таке завдання було складно. Надання коливальних рухів виробу вимагало використання приводів складної конструкції і високої собівартості. З появою комп'ютеризованих швидкодіючих приводів на базі вентильних електродвигунів спеціальної розробки, у тому числі безредукторних, та їх використання в механізованому зварювальному устаткуванні (рис. 10.14) значно розширило можливості останнього [14].

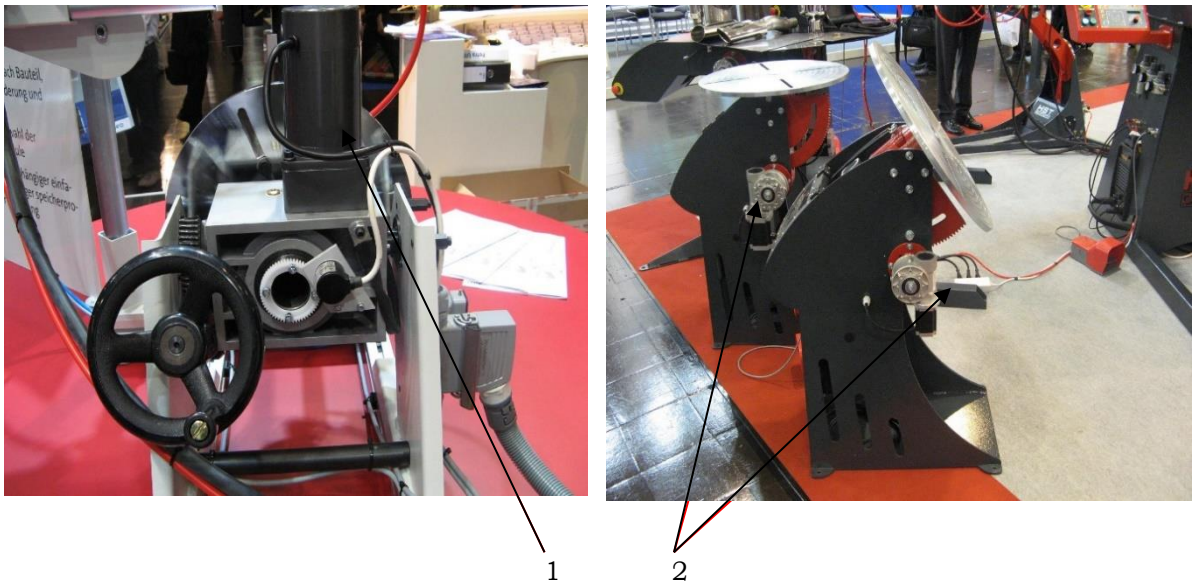


Рис. 10.14. Вентильний електродвигун приводу обертання (1) та нахилу (2) планшайби універсального маніпулятора

Вентильні електродвигуни в механізмах маніпуляторів з відповідною системою програмованого керування забезпечують високу точність позиціювання виробу та виведення на цю позицію можливості надання виробу вібраційних та коливальних рухів для забезпечення згаданих вище впливів на структуру металу шва або валика, а також впливу на формування з'єднання та комплекс впливів, які забезпечують суттєве підвищення продуктивності процесів зварювання та наплавлення.

Станки та автомати для зварювання та наплавлення. Станки та установки для наплавлення виконують дуже важливу функцію, вирішуючи питання скорочення поточних витрат на підприємствах яке завжди актуальне та вирішення завдання підвищення рентабельності будь-якого виробництва, особливо у кризовій ситуації, коли зниження поточних витрат – одна з основних напрямів виживання як окремих підприємств, так і цілих галузей промисловості.

Однією з основних витратних статей підтримки життєдіяльності будь-якого виробництва є витрати, пов'язані з ремонтом машин і агрегатів, забезпечення їх запасними деталями і вузлами. У питанні значного зменшення цієї статті витрат велику допомогу надає технологія відновлювального та зміцнювального наплавлення. Наплавлення знаходить широке застосування як при виготовленні нових деталей, так і при ремонті деталей які вийшли з ладу. При виготовленні деталі з вуглеводистої сталі із застосуванням наплавлення на її робочу поверхню можна нанести сплав, що має необхідний для цієї деталі комплекс властивостей: зносостійкість, жароміцність, термостійкість, корозійна стійкість та ін. Наплавлення при ремонті дозволяє багаторазово відновлювати початкові розміри зношених деталей, правильно обравши наплавочний матеріал і технологію, можна забезпечувати експлуатаційні характеристики лише на рівні нових деталей, і навіть перевершити їх. Оскільки маса наплавленого металу зазвичай не перевищує кількох

відсотків від маси наплавлювальної деталі, використовуючи відновлювальне наплавлення, можна багаторазово відновлювати зношені деталі, економити великі кошти на їх придбанні або метал і витрати на їх виготовленні. Використовуючи зміцнювальне наплавлення при виготовленні деталей, можна значно зменшити витрату дорогих високолегованих сталей і сплавів.

Крім цього, наплавлення має природоохоронне та ресурсозберігаюче значення, оскільки при використанні 1 кг наплавленого матеріалу дозволяє економити: 70-100 кг агломерату, 20-30 кг коксу, 4-5 кВт електроенергії, 6-8 м^3 природного газу.

З огляду на це актуальними є питання подальшого розвитку технічних засобів, станків та установок для наплавлення

Для виконання робіт з наплавлення для відновлення деталей або їх зміцнення є багато типів обладнання. Серед цього обладнання можна виділити таке обладнання, як станки. Основне направлення для обладнання цього типу – це наплавлення в автоматичному режимі поверхонь тіл обертання: різноманітні вали, колеса тощо. Однак є конструкції станків, які можуть здійснювати наплавлення повздовжніх поверхонь.

Станки для наплавлення для масового відновлення чи зміцнювання поверхонь виробляються серійно й застосовуються на багатьох підприємствах, особливо в ремонтних майстернях сільськогосподарського виробництва.

Треба особливо підкреслити, що, крім електродугового наплавлення, останнім часом станки почали модернізувати для електродугового напилення, що є новим.

Рис. 10.15. Станок для наплавлення на базі токарного верстата

Дуже часто як станок для наплавлення поверхонь тіл обертання застосовують елементи токарних верстатів або самі верстати з відповідною модернізацією.

На рис. 10.15 представлено станок для наплавлення під шаром флюсу, створений на базі токарного верстата. Станки такого типу зазвичай використовують для наплавлення невеликих тіл обертання, наприклад, відновлення наплавленням розподільчих валів та інше.

Більш об'ємі вузди та деталі тіл обертання, що потребують або ремонту, або зміцнення, наплавляються на спеціальних станках, які сконструйовані для ведення таких робіт. На рис. 10.16 показана установка (станок) для наплавлення під флюсом колісних пар розроблена й виготовляється в Україні.

Рис. 10.16. Установка РМ-9 для наплавлення гребенів залізничних колісних пар

Конкретизація кожної установки чи станка під конкретного замовника може здійснюватися з кількох причин. Однією з них може бути такий варіант, коли установка призначена для того ж самого найменування виробів, але при цьому група цих виробів складається з декількох різновидів, що значно відрізняються конструкцією і розмірами.

Іншими варіантами зміни якогось конкретного типу установки є зміна їхніх можливостей за габаритами деталей, що наплавляються, їхньої маси, а також зміна їхньої комплектації тощо.

Досить часто, йдучи в розріз із класичною технологією наплавлення якоїсь групи деталей, яка закладена в ідеологію установки, у процесі її освоєння виникають нестандартні побажання та пропозиції щодо дооснащення або невеликої переробки установки з метою підвищення її ефективності.

Дуже часто виникають проблеми наплавлення, пов'язані з виконанням роботи з відновлення або забезпечення певних механічних характеристик поверхонь вузд та деталей повздовжнього розташування – це, наприклад, можуть бути вузли штампового інструменту технологія відновлення поверхні якого потребує нанесення численних наплавлених валиків прямолінійного напрямку, або відновлення станини верстата з виконанням ряду довгих валиків.

У наведених прикладах потрібна установка чи станок для виконання повздовжнього наплавлення. Приклад сучасної автоматизованої установки - станка для наплавлення довгих деталей повздовжніми валиками представлено на рис. 10.17.

Автомати для зварювання та наплавлення. Усе раніше розглянуте в цьому розділі обладнання можна вважати автоматичним, але категорія автоматів для зварювання та наплавлення виділяється як окремий вид технічних засобів.

Рис. 10.17. Станок для повздовжнього наплавлення

Зварювальний автомат — механізм, який являє собою конструктивне об'єднання зварювальної головки з механізмом її переміщення уздовж шва, механізмами настановних переміщень, пристроєм для подачі флюсу або захисного газу, котушками або касетами для дроту, пультами керування або інших пристроїв. Якщо зварювальний апарат автомат переміщається в процесі зварювання механізованим способом щодо виробу, то він називається зварювальним автоматом. Будь-який зварювальний автомат – це універсальний інструмент, який здатний з'єднувати товсті металеві деталі (до 6 см), працювати з декількома електродами (деякі моделі) і зварювати розщепленою дугою. Крім того, така апаратура може виконувати такі операції без участі людини:

• порушувати дугу на початку зварювання;

• підтримувати стабільність зварювальної дуги при заданій потужності й проплавленні;

• подавати основні й допоміжні зварювальні матеріали в зону зварювання (дріт, флюс, газ);

• переміщати зварювальну дугу по зварному з'єднанню;

• закінчувати процес зварювання.

Треба які цікаву інформацію зазначити, що автомати для зварювання з’явилися раніше, ніж напівавтомати та інша подібна техніка.

Рис. 10.18. Автомат для зварювання під шаром флюсу

На рис. 10.18 представлено один із найбільш поширених і досконалих автоматів, які виробляються в Україні – А1412, який постійно вдосконалюється з використанням нових та інноваційних рішень А1412 – самохідний підвісний автомат для зварювання під шаром флюсу двома дугами електродними дротами суцільного перерізу діаметром 3,0-6,0 мм для загального використання в цехових умовах. Такого типу автомати, але, наприклад, для однодугового зварювання, зварювання в середовищі захисного газу розроблені та виготовляються як в Україні, так і за її межами. Додатково такі автомати можуть оснащуватися сучасними системами пошуку та відслідковування шва, локальними системами відсмоктування зварювального аерозолю та інше, що забезпечує певні переваги того чи іншого типу автомата.

Крім зазначених вище загальнопромислових типів автоматів, є великий перелік техніко-технологічних проблем умов ведення дугових процесів, які виходять за межі можливостей таких автоматів. Для прикладу розглянемо деякі цікаві та важливі розробки, виконані на сучасному рівні технічних можливостей і переважно є інноваційними.

На рис. 10.19 наведено вигляд спеціалізованого монтажного зварювального апарату нового покоління АД381М, призначений для електрошлакового зварювання металу завтовшки 30…100 мм. Забезпечений двома механізмами, що подають два електродні дроти діаметром 2…4 мм з роздільним, незалежним регулюванням швидкості подачі кожного з них.

Автомат складається з чотирьох модулів, що швидко монтуються за допомогою ключа-тріскачки без додаткових інструментів, що значно скорочує підготовчо-заключний час при виконанні електрошлакового шва. Як напрямна рейка використовується прокатний сталевий куточок перетином 50×50 мм. У конструкції автомата в системі його керування застосована сучасна елементна база.

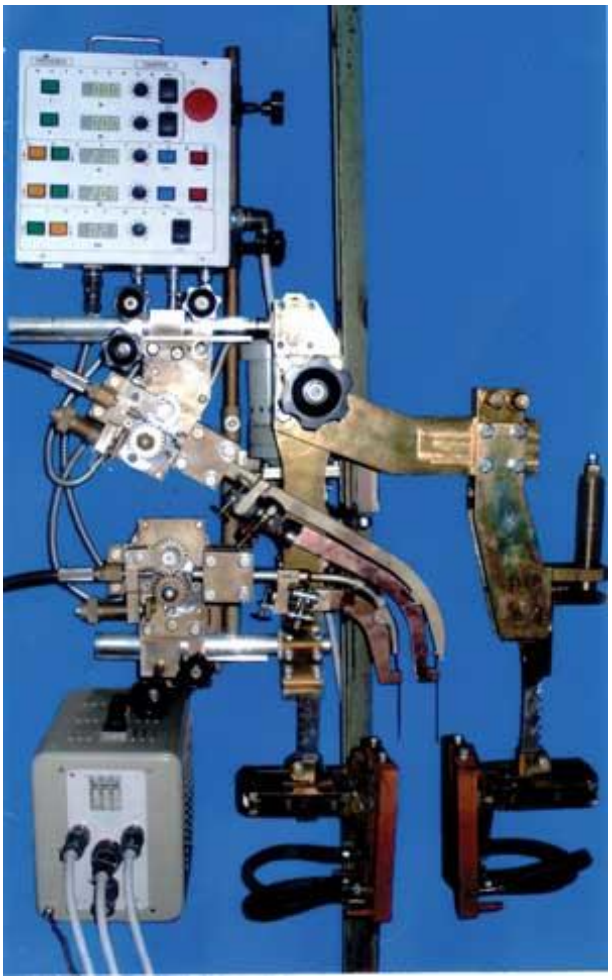


Рис. 10.19 Монтажний зварювальний апарат АД381М

Згідно з результатами, отриманими при застосуванні керованої імпульсної подачі електродного матеріалу, який плавиться, і базуючись на них, було виконано розробку та виготовлення автомата для наплавлення з використанням стрічкового електрода. Крім інноваційних рішень щодо застосування безколекторного швидкодійного вентильного електродвигуна з програмованою системою керування, було знайдено оригінальне технічне рішення по конструкції безредукторного механізму подачі електродної стрічки.

На рис. 10.20 представлено автомат для широкошарового наплавлення з імпульсною подачею порошкової електродної стрічки у стані випробувань.

Лабораторні та виробничі випробування автомата для наплавлення з імпульсною подачею електродної стрічки завширшки до 34 мм дозволили виявити особливості такого способу електродугового процесу при різних характеристиках імпульсного руху (частота, амплітуда, шпаруватість імпульсів). Це насамперед

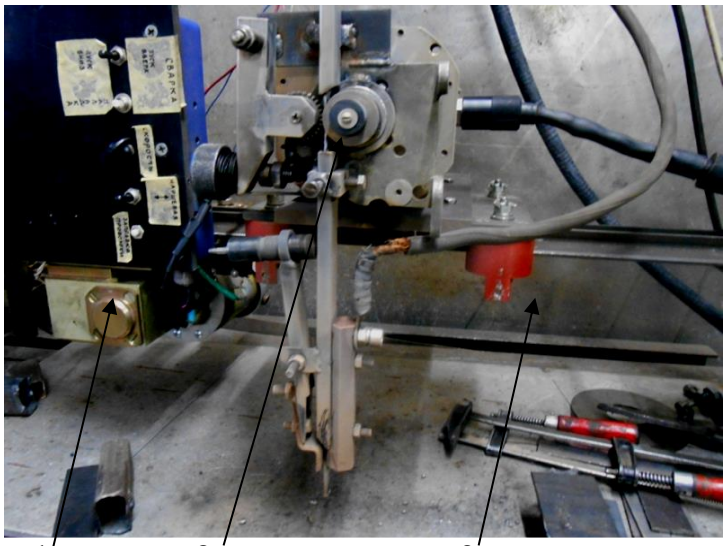


Рис. 10.20. Автомат для наплавлення з імпульсною подачею порошкової електродної стрічки:
1 – механізм переміщення пристрою подачі; 2 – імпульсний механізм подачі; 3 – напрямний вузол механізму переміщення

суттєве поліпшення структури металу наплавленого шару з покращенням механічних характеристик – твердості, підвищення супротиву стиранню. Можна зазначити більш якісне формування наплавленого валика й поверхні загалом. Суттєво знижуються втрати електродного металу. Можна вважати, що такий автомат і елементи його технологічного застосування з високою якістю виконання наплавлення може бути рекомендований до більш широкого застосування в промисловості.

Одним із напрямів розробок ІЕЗ ім. Є. О. Патона є створення комплексного науково-технічного продукту – способу автоматичного дугового зварювання мокрим способом. Обладнання, порошковий дріт та технології для його реалізації розповсюджені в даний час у різних сферах. Це ремонт кораблів та суден, підводних продуктопроводів, портових підводних споруд, будівельні роботи під водою та ін.

Якщо укрупнено розглядати обладнання для дугового зварювання та наплавлення, то можна виділити два основні його види. Це напівавтомати, які ми розглянули раніше, і автомобілі. Донедавна реальних конструкцій автоматів мало створювалося.

Слід зупинитись на двох особливостях цього напряму. Це вузькоспеціалізовані конструкції автоматів та автомати, які можуть бути використані на різних об’єктах зварювання, можливо з деякою їх модифікацією.

Прикладом спеціальної унікальної розробки є комплекс обладнання для підводного зварювання мокрим способом, призначений для приварювання заглушки до внутрішньої поверхні труб, що використовуються як елементи теплових насосів. Зварювання ведеться на глибинах понад 200 м у середовищі води із протикорозійним складом. Виконується робота на різних відстанях від поверхні у водорозчинному середовищі кутовими круговими швами за досить широким зазором. При цьому переважно внутрішній діаметр труби, де необхідно проводити зварювання, не перевищує 120...130 мм, що є дуже стисненими умовами для комплекту пристроїв автомата для дугового зварювання. На рис. 10.21 представлена схематично зварювальна частина розробленого автомата.

До складу автомата входить джерело зварювального струму, розглянуте вище, нова розробка розмотувача кабелю з локальною системою управління, кабель з рядом функцій, об'єднаних загальною оболонкою: прямий і зворотний

кабелі, кабель управління, елементи несучі. Усі ці розробки аналогів немає. Управління процесом зварювання виробляється комп'ютеризованою системою управління, що задає програму циклу зварювання, роботу системи подачі електродного дроту, зварювального переміщення.

На рис. 10.22 схематично представлений комплекс автомата для глибоководного підводного зварювання у стиснених умовах.

Автомат являє собою трубчасту металоконструкцію, що поєднує такі основні вузли: модуль подачі електродного дроту, модуль обертання зварювальної головки (механізму подачі), модуль контактних вузлів. Модуль подачі та модуль обертання виконані на основі безредукторних комп'ютеризованих електроприводів постійного струму у складі безколекторних електродвигунів із передачею обертального руху на подавальний ролик.

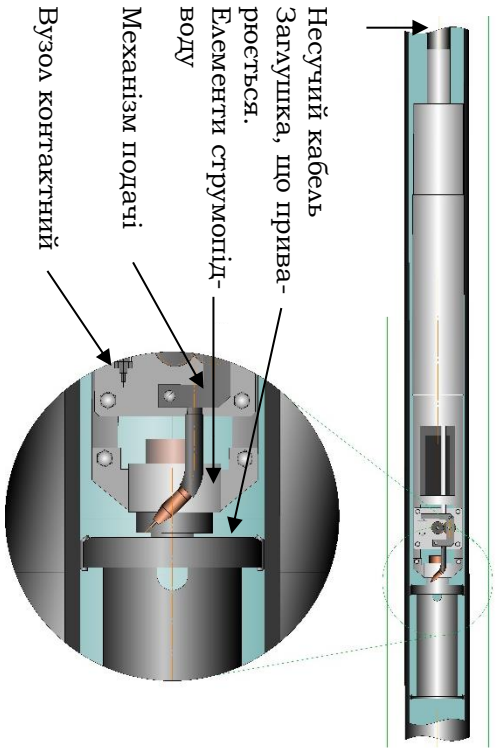


Рис. 10.21. Автомат для глибоководного підводного зварювання мокрим способом

Інша категорія розробки автоматів – автомати широкого застосування. Розроблено такі автомати, основу яких становлять добре відпрацьовані вузли механізмів координатного переміщення зварювального інструменту та системи подачі електродного дроту в конструктивах, захищених від впливу водного середовища. Ці вузли базуються на застосуванні безколекторних електродвигунів із комп'ютеризованими системами регульованих електроприводів. Розробка, в даний час проведена для ведення процесу по заданій (програмованої) траєкторії на горизонтальній або вертикальній площині. Загальне керування циклом зварювання, реалізація програмного переміщення зварювального інструменту здійснюється загальною комп'ютеризованою системою керування.

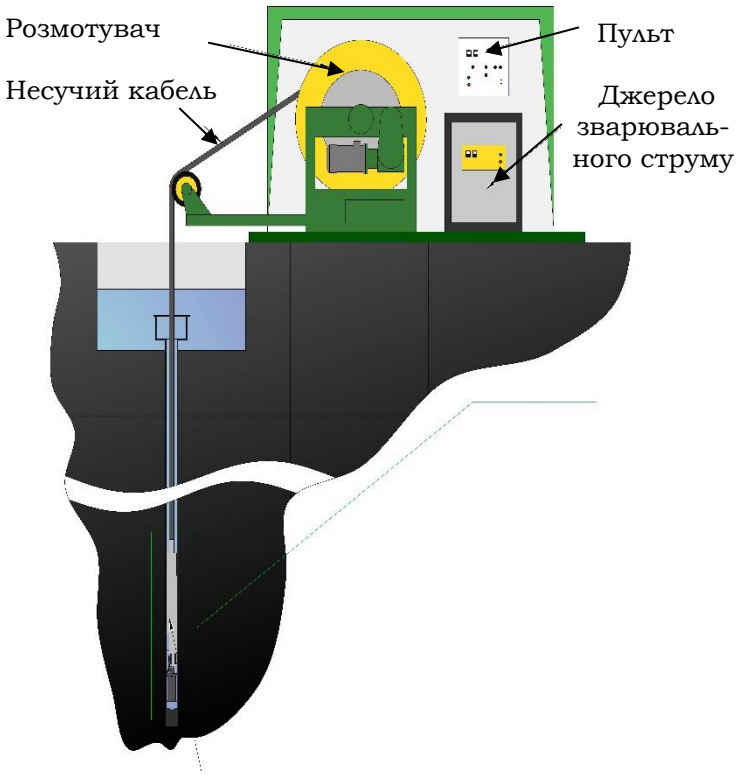


Рис. 10.22. Повний комплекс автомата для глибоководного підводного зварювання мокрим способом

На рис. 10.23 представлено автомат для підводного мокрого зварювання з механізмами координатних переміщень та системи подачі електродного дроту на основі комп'ютеризованих електроприводів із вентильними електродвигунами. Розроблений автомат має конструктивну базу, що перебудовується, і може легко модернізуватися для вирішення завдань зварювання під водою в місцях і глибинах, де доступ оператора водолаза обмежений або навіть неможливий. Зауважимо, що обсяг електродного дроту, що подається, у цій конструкції може бути достатнім для робіт зі зварювання і різання, що вимагають тривалого часу для її виконання.

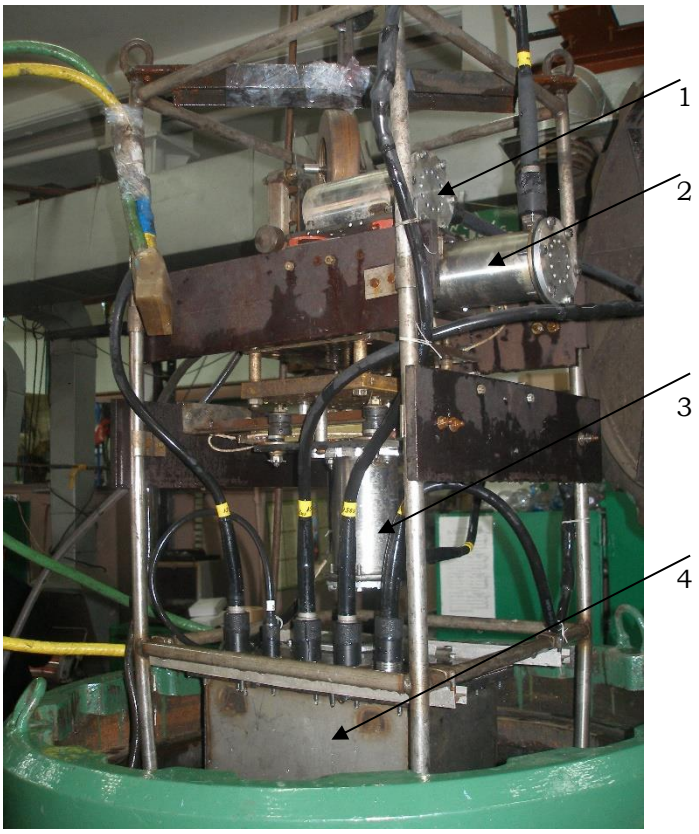


Рис. 10.23. Автомат для зварювання та наплавлення під водою з електродвигунами механізмів:
1 – поздовжнього переміщення;
2 – поперечного переміщення; 3-подачі;
4 – блок управління

Можливість програмованого управління рухами супортів зі зварювальним інструментом дана на рис. 10.24, де показані результати наплавлення під водою у випробувальній камері (глибина 200 м).

Сьогодні на основі наявного досвіду конструювання автоматів для підводного зварювання ведуться роботи зі створення автомата для зварювання під водою в тривимірному просторі, підвищення якості зварювальних процесів має бути забезпечене новими розробками по модуляції режимів, імпульсних алгоритмів функціонування джерел зварювального струму. (в основному інверторного типу, керованої імпульсної подачі електродного дроту.

Рис. 10. 24. Дугове наплавлення автоматично під водою з програмуванням двокоординатного переміщення зварювального інструменту

Останнім часом великий попит має обладнання – автомати для орбітального зварювання неповоротного стику, зокрема труб. Такі апарати орбітального зварювання є вузькоспеціальними. Вони використовуються при монтажі трубопроводів великої протяжності, ремонту теплообмінників, котлів. Це сьогодні найбільш перспективний метод монтажу труб. У цьому процесі дві ділянки труби

зварюються шляхом руху навколо місця стикування зварювальної дуги по колу, по «орбіті». Сегменти труби зварюються головкою, встановленою і закріпленою на обертовому пристрої. Сам апарат орбітального зварювання встановлюється в робочій зоні.

Є певні конструктивні рішення щодо встановлення апарату орбітального зварювання на трубі. Більшість з них являє собою роз'ємний направляючий пристрій, який закріплюється на трубі й має змогу, зчеплюючись зі зварювальною головкою, забезпечувати її рух навколо труби, застосовуючи різні типи передач, наприклад, зубчасту.

При орбітальному зварюванні неповоротних стиків найчастіше використовують аргонодугове зварювання електродом, який плавиться, можливо з присадним дротом. Однак останнім часом дедалі більше систем орбітального зварювання базується на процесі з електродом, який плавиться. Він забезпечує збільшення продуктивності зварювання з відносним його здешевленням. На рис. 10.25 представлено автомат для орбітального зварювання електродним дротом при виконанні робочого циклу.

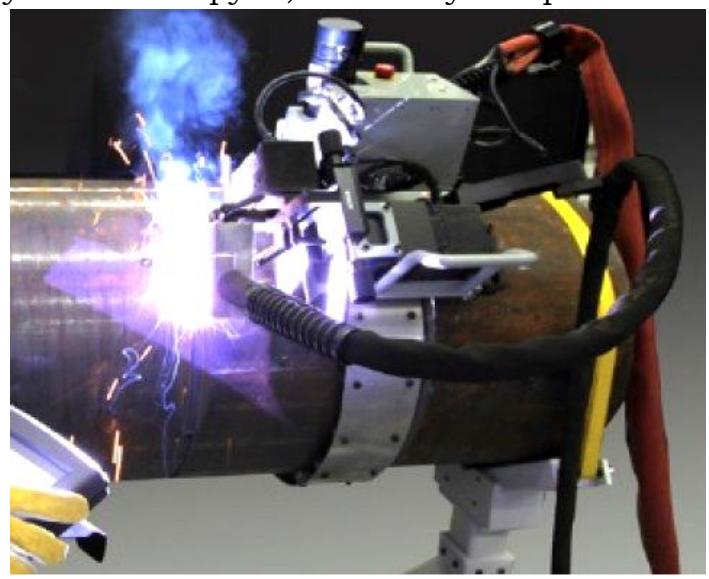


Рис. 10.25. Автомат для орбітального зварювання з використанням електрода, який плавиться

Треба зауважити, що сучасні розробки автоматів для орбітального зварювання неповоротних стиків мають систему керування процесом, яка змінює його параметри залежно від положення головки при її обертовому (зварювальному) русі.

Роботизоване зварювання також належить до автоматичного зварювання і являє собою автоматизований процес використання механізованих програмованих інструментів для зварювання та обробки деталі. Це порівняно нове застосування робототехніки вирішило проблему нестачі фахівців зі зварювання, фактично зайнявши більшу частину зварювальних робіт у промисловості.

Переваги роботизованого зварювання набагато перевершують переваги традиційного зварювання, а витрати на систему швидко окупаються за рахунок підвищення продуктивності, покращення якості, збільшення виробництва та скорочення відходів.

Роботизовані зварювальні системи виконують роботу швидко й ефективно, здійснюючи менше помилок, ніж їхні колеги люди, і водночас значно збільшують швидкість виробництва та поліпшують якість і узгодженість.

Автоматизована система створює узгоджені зварні шви з надзвичайно близькою точністю, багаторазово поміщаючи зварні шви однакової якості в те ж саме місце без втоми.

Автоматизовані зварювальні системи економлять енергію, забезпечуючи постійну роботу, скорочуючи дорогі запуски.

Поєднання більш високих швидкостей, якісніших зварних швів і зменшеної кількості браку – усе це сприяє швидкій окупності інвестицій.

У світі є досить багато виробників робототехніки з функцією електродугового зварювання електродом, який плавиться. Як приклад наведемо зразки найбільш відомих фірм, які спеціалізуються на виробництві такого типу роботів. На рис. 10.26 представлено декілька роботів відомої фірми Fanuc з різним зварювальним оснащенням і різними можливостями застосування. У комплекті робота встановлено механізм подавання електродного дроту певного техніко-технологічного призначення з відповідними характеристиками.

Рис. 10.26. Зварювальні роботи фірми *Fanuc*

Слід відокремити відомі фірми, що виробляють високоякісні зварювальні роботи. Це фірма Kawasaki з одним із найбільш популярних роботів, представлених на рис. 10.27.

Наведемо загальні технічні характеристики робота RS010N з контролером E40/E71.

Число ступенів свободи – 6 осей, максимальна досяжність – 1450 мм, максимальне завантаження – 10 кг, максимальний кут повороту – JT1 ± 180° JT2 +145°~-105° JT3 +150°~-163° JT4 ± 270° JT5 ± 145°, повороту JT1 250°/с JT2 250°/с JT3 215°/с JT4 365°/с JT5 380°/с JT6 700°/с. Момент JT4 22.0 Н·м JT5 22.0 Н·м JT6 10.0 Н·м 0,7 кг·м2 JT5 0,7 кг·м^2 JT6 0,2 кг·м^2, повторюваність ± 0,04 мм, маса – 150 кг, максимальна лінійна швидкість переміщення – 11 800 мм/с, рекомендований тип контролера – E40/E71, підлогова або стельова установка (настінна установка як опція).

Рис. 10.27. Робот фірми *Kawasaki*

Одним із найбільш поширених і відомих у багатьох країнах і в Україні конструкцій роботів, зварювальних зокрема, є промислові роботи фірми Kuka.

На рис. 10.28 представлений варіант робота фірми Kuka з комплектом обладнання для електродугового зварювання електродним дротом фірми KEMPPI.

Рис. 10.28. Робот фірми *Kuka* з комплектом обладнання для електродугового зварювання електродним дротом фірми KEMPPI:
1 – касета з електродним дротом; 2 – робот; 3 – джерело живлення; 4 – система керування; 5 – механізм подачі дроту; 6 – пальник; 7 – маніпулятор виробу

Дуже важливим пристроєм, яким комплектуються сучасні робототехнічні системи для зварювання в захисних газах є очищувач зварювального пальника. Він забезпечує із заданою циклічністю очищення зварювального пальника й тим самим дозволяє подовжувати час роботи комплексу без відхилень від встановлених режимів зварювання та наплавлення.

Комплексна автоматизація та механізація зварювальних процесів. При масовому виробництві постає проблема його комплексної механізації та автоматизації зварювального та відновлюваного процесів.

Виконання зварювальних робіт пов'язане з необхідністю використання комплексу обладнання, що забезпечує, найчастіше за участю зварювальника, отримання швів заданої якості та конфігурації. На умови виконання зварювання більше, ніж будь-який інший технологічний процес обробки металів, впливають розміри й форма заготовок, якість і точність складання, а також зміна в процесі роботи розмірів деталей внаслідок теплових деформацій. Тому до устаткування, що використовується в організацію зварювальних робіт, ставляться численні вимоги й приділяють велику увагу [1].

До складу комплексу технологічно пов'язаного між собою обладнання, що забезпечує проведення зварювальних робіт, залежно від ступеня його оснащеності входять:

• джерело живлення та зварювальний апарат з приладами управління, регулювання процесу та електродотримачем;

• роботи;

• механічне та допоміжне обладнання, призначене для маніпулювання зварюваним виробом у процесі накладання шва та для кріплення та переміщення зварювальних апаратів;

• технологічні складально-зварювальні пристосування, що дозволяють здійснити швидке й точне складання деталей під зварювання, утримати їх у потрібному положенні під час роботи та запобігти або зменшити при цьому короблення виробу, що зварюється.

У кожному окремому випадку комплекс або зварювальна установка може мати всі перелічені елементи або деякі з них. Оскільки значний час витрачається на допоміжні, складальні та додаткові роботи, що знижує ефективність застосування сучасних високопродуктивних способів зварювання, скорочення циклу виробництва та високу якість зварних швів можуть бути досягнуті тільки при комплексній механізації та автоматизації зварювальних, складальних та допоміжних операцій. Рівень комплексної механізації зумовлює наявність у складі установки технологічних пристроїв, механічного, допоміжного та іншого обладнання (транспортного, контрольного тощо) [1].

Існує велика кількість реалізованих проєктів комплексної автоматизації та механізації процесів зварювання та наплавлення, запропонованих українськими підприємствами з використанням спеціальних нових розробок механічного зварювального обладнання.

До таких належить комплекс для зварювання залізничних цистерн (рис. 10.29, *а*) для ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод», що складається з колони велосипедного типу КВТ-05 і роликового обертача. Розроблено та виготовлено комплекс (рис. 10.29, *б*) механізації зварювання трубопроводів діаметром до 0,3 м, довжиною до 6 м та масою до 2000 кг, що використовуються в об'єктах атомної енергетики, а також комплекс (10.29, *в*) для зварювання елементів, діаметром до 2 м, масою до 3000 кг, активної зони атомних реакторів. У разі (рис. 10.29, *б*) комплекс складався зі спеціального з двома стійками горизонтального обертача, включаючи колону для зварювального автомата, а комплекс (рис. 10.29, *в*) – універсального маніпулятора, роликового стенду та колони. Останній (рис. 10.29, *в*) був укомплектований спеціальною системою стеження за стиком, яка дозволяла для отримання постійної швидкості зварювання вести коригування швидкості обертання приводних роликів стенду. Для ТОВ «МПВФ «Енергетик» було розроблено унікальний зварювальний комплекс (рис. 10.29, *г*), що включає спеціальну колону Т-31060 з ходом робочого органу по горизонталі та вертикалі понад 3 м та тандемний роликовий стенд вантажопідйомністю до 5000 кг, які програмно були пов'язані між собою. Комплекс здійснює двостороннє автоматичне зварювання під флюсом поздовжніх та кільцевих швів барабанів парових котлів, обичайок ємностей великих діаметрів та товщини.

Рис. 10.29. Комплекси автоматизації та механізації зварювальних процесів із використанням спеціального механічного зварювального обладнання

Раціональність застосування в системах маніпуляторів, обертачів, пересувних колон нових розробок зварювально-наплавного обладнання зумовлена, у тому числі й можливістю цього обладнання підтримувати задані параметри робочого руху навіть у протяжних циклах, з високим ступенем точності здійснювати позиціонування робочого інструменту. Як приклад можна відзначити, що пересувні зварювальні колони можу виконувати високопродуктивне зварювання протяжних виробів типу настилів з можливістю високоточного сканування рельєфу поверхонь, що зварюються, що забезпечується застосуванням сучасних комп'ютеризованих електроприводів і датчиків відстані до поверхні, що зварюється.

Зупинимося на роботизованих комплексах, які можна вважати найбільш сучасним видом обладнання з великою кількістю задіяних інноваційних розробок та науково-технічних рішень.

На рис. 10.30 представлені приклади деяких робототехнічних комплексів як представників сучасної механізації зварювального та підготовчого виробництв.

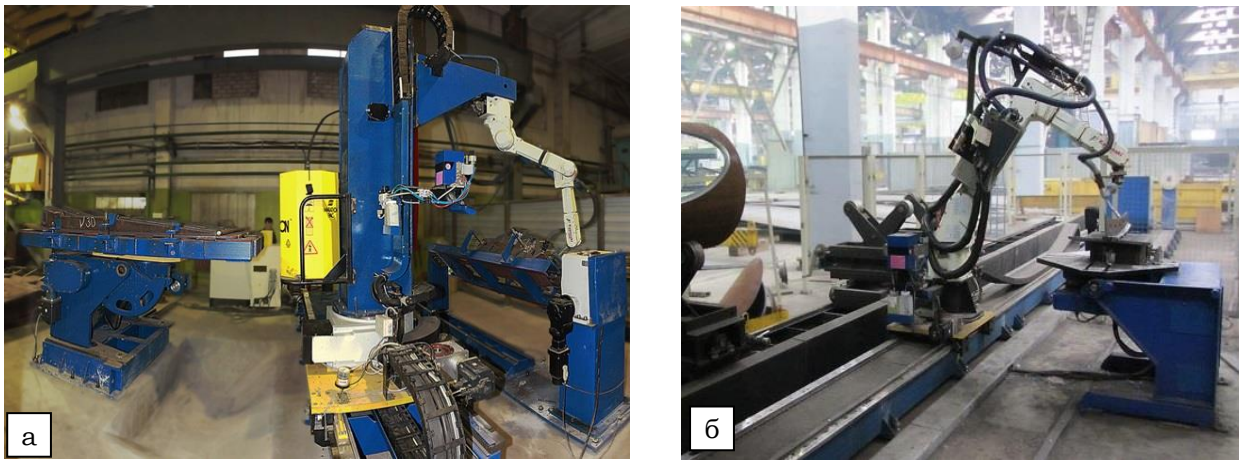


Рис. 10.30. Роботизовані комплекси із застосування універсального маніпулятора (а), універсального та двостоєчного горизонтального маніпулятора (б)

Роботизований комплекс (рис. 10.30, *а*) вирішує такі завдання, як різання труб різних діаметрів і довжин по складних 3D траєкторіях і не тільки забезпечує високоточне вирізання отворів, але також обрізання і торцювання труб. Обладнання дозволяє здійснювати різання труб довжиною до 12 м і діаметром до 1,2 м.

Роботизований комплекс представлень на рис. 10.30, *б* вирішує більш універсальні завдання з дугового зварювання. Наявність у його складі двох різнотипних маніпуляторів виробництва гарантує можливість зварювання великої та різноманітної номенклатури виробів. Нині обидва комплекси введені в експлуатацію і задіяні в серійному виробництві.

Література до розділу 10

1. Севбо П. И. Комплексная механизация й автоматизация сварочных процессов / П. И. Севбо. – Киев : Наукова думка, 1998. – 280 с.

2. Lebedev V. The realization of task coordinate control of instrument and work piece motions at mechanized and automatic arc welding / V. Lebedev, O. Kozyrco // Electrotechnic and Computer Sistem. – 2015. – № 19. – Pp. 41-45.

3. Гладырев А. И. Технологические предпосылки применения регулируемого и управляемого электропривода / А. И. Гладырев, Д. И. Родькин // Научные труды КПГИ. – Кременчуг (Украина), 2000. – Вып. 1. – С. 98–102.

4. Arc Welding. Edited by Prof. Wladislav Sudnik. InTech, 2011. – 320 p.

5. Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applicationl / Edited by: Low Kin Huat, Pro Literatur Verlag, Germany/ARS, Austria, 2006. – Pp. 702.

6. Omron Device Net Operation Manual Cat. No. W267-E1-11 Revised, April 2008.

7. Acarnley P. Stepping motors. A guide to theory and practice / Paul Acarnley. – 4th ed. – London: Institution of Engineering and Technology, 2007. – 159 p.

8. Оборудование, техника и технология электрошлаковой сварки неповоротных кольцевых стыков / Б. Е. Патон, К. А. Ющенко, И. И. Лычко, В. Д. Ковалев, С. И. Великий, С. И. Притула, А. Д. Чепурной, С. П. Никитченко, А. Н. Шалашный // Автоматическая сварка. – 2007. – № 7 (651). – С. 25-28.

9. Патон Б. Е. Современные направления исследований и разработок в области сварки и прочности конструкций / Б. Е. Патон //Автоматическая сварка. – 2003. – Октябрь-ноябрь. – С. 7-13.

10. Цыбулькин Г. А. Некоторые проблемы роботизации дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитного газа / Г. А. Цыбулькин // Автомат. сварка. – 2007. – № 5-6. – С. 20–25.

11. Pires J. Norberto. Welding Robots / Pires J. Norberto, Loureiro Altino, Bölmsjo Gunnar // Technology, System Issues and Application. – Springer-Verlag London, 2006. – 180 p.

12. Применение полуавтоматов блочно-модульной конструкции типа ПШ107 для сварки, наплавки и резки сталей и алюминия / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, В. Г. Пичак [и др.] // Автомат. сварка. – 2004. – № 4. – С. 32–37.

13. Автоматизация сварочных процессов с использованием механического сварочного оборудования / И. В. Лендел, В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов, Г. В. Жук //Автомат. Сварка. – 2017. – № 5-6. – С. 99-104.

14. Лебедєв В. О. Універсальний маніпулятор з можливістю низькочастотної вібраційної обробки зварювальної ванни Патент на корисну модель / В. О. Лебедєв, С. Ю. Максимов, І. В. Лендєл. – Публікація відомостей 10.06.2013, Бюл. № 11.

РОЗДІЛ 11
Застосування електромагнітних та інших полів і захисного газу для створення умов керування переносом електродного металу та перемішування металу зварювальної ванни

Матеріали, які використовувались при написанні цієї частини роботи, викладені в кінці глави в переліку літератури [1–13].

Використання електромагнітних полів. Застосування магнітних полів різного виду та способу отримання має великий вплив майже на всі складові електродугового зварювання. Це найбільше стосується механізованих і переважно автоматичних процесів із використанням електродного матеріалу який плавиться (електродні дроти, та стрічки).

Спочатку узагальнено розглянемо можливості електромагнітних полів щодо їх можливого впливу на окремі процеси зварювання:

- керування переносом електродного металу;
- вплив на формування шва або валика зовні та проплавлення основного матеріалу;
- зміна структури металу шва та навколошовної зони;
- можливість покращення продуктивності процесу

Керування перенесенням електродного металу при дуговому способі зварювання є важливим завданням, від вирішення якої залежить зниження втрат металу та якість формування швів.

Застосування магнітних полів певним чином є дуже ефективним засобом впливу на процес електродугового зварювання, але має суттєву ваду – його практично неможливо використовувати в обладнанні для напівавтоматичного зварювання через достатню великих мас котушок – селеноїдів та розмірів.

Використання електромагнітних впливів є ефективним способом керування перенесенням електродного металу. Так, при застосуванні аксіальних магнітних полів досягаються певні поліпшення процесу зварювання під флюсом. Проте цей вплив при зварюванні в захисних газах призводить до підвищення розбризкування.

Для керування перенесенням електродного металу з метою зниження втрат електродного металу застосовують імпульсні магнітні поля. Встановлено, що застосування таких полів веде до зменшення дисперсії розподілу розмірів крапель при зварюванні в CO_2 майже вдвічі. При цьому використання імпульсних магнітних полів дозволяє зменшити втрати електродного металу при зварюванні в газовій суміші, а також при зварюванні в CO_2 майже на третину в порівнянням з процесами без використання магнітних полів. На графіках рис. 11.1 показана залежність втрат електродного металу від частот магнітного поля для процесу в CO_2 електродним дротом Св08Г2с при напрузі зварювання 24 В та для процесу зварювання порошковим електродним дротом ППАН при напрузі зварювання 36 В.

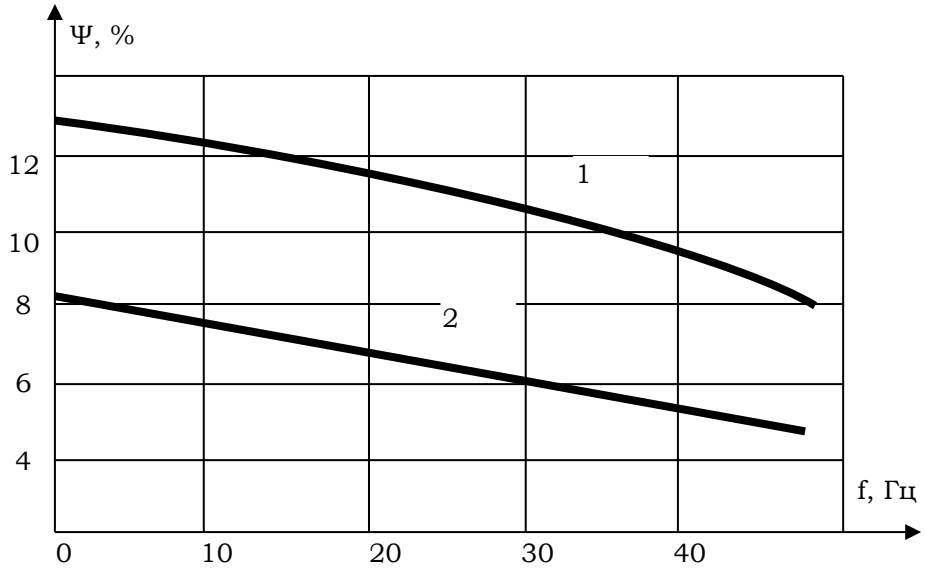


Рис. 11.1 Залежність втрат електродного металу від частоти f електромагнітного поля при зварюванні:
1 – у CO_2; 2 – порошковим електродним дротом

Таким чином, застосування імпульсних електромагнітних полів аксіального типу дозволяє збільшити частоту переносу крапель, при цьому зменшуються їхні розміри. Треба зазначити, що ефективність зазначених полів зростає зі збільшенням їх частоти але тут виникає проблема обмеження частоти генерування імпульсних полів. З одного боку, потрібна достатня потужність імпульсів керуючого магнітно поля, а з іншого боку, є обмеження внаслідок інерційності самого поля.

На рис. 11.2 представлена у схематичному вигляді система для реалізації електромагнітного впливу на дуговий процес. Цей пристрій кріпиться до мундштука зварювального автомата, зварювальний дріт проходить через отвір, що був усередині феромагнітного сердечника. Живлення котушки здійснюється від спеціального генератора з регулюванням частоти імпульсів.

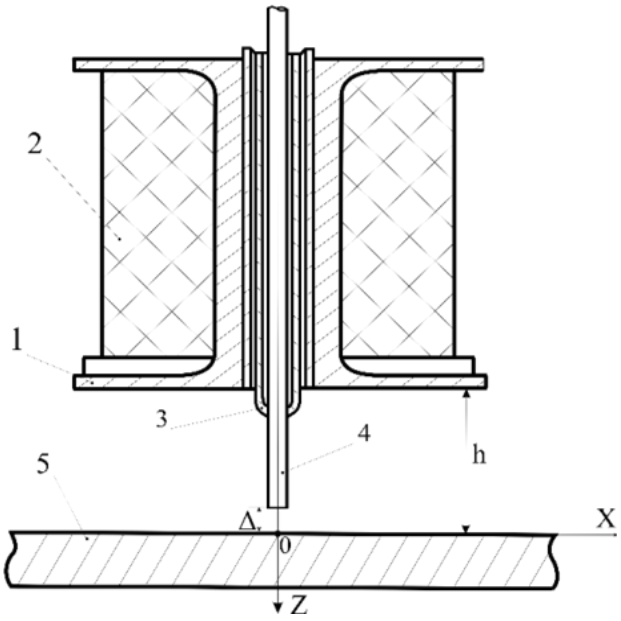


Рис. 11.2. Пристрій для створення поздовжнього поля:
1 – буртик осердя; 2 – котушка; 3 – мундштук; 4 – електродний дріт; 5 – виріб, який зварюється

Розглянемо вплив поздовжнього магнітного поля на продуктивність розплавлення електродного металу при дуговому зварюванні та наплавленні.

При наплавленні дротом серед аргону зварювальним струмом I = 150…220 А було показано, що вплив повздовжнього магнітного поля підвищує продуктивність розплавлення дроту приблизно на 30 %.

Встановлено, що при дуговому зварюванні маловуглецевим (феромагнітним) дротом Св-08А під флюсом в діапазоні струмів 200…1000 А в постійному магнітному полі збільшення коефіцієнта розплавлення електродного дроту (α_p) становить приблизно 50 % при прямій полярності процесу, 30 % – при зворотній полярності та 40 % – при зварюванні на змінному струмі.

Як уже зазначалося, вплив зовнішнього магнітного поля змінює характер перенесення електродного металу, це пов'язано зі зменшенням розміру краплі в напрямку осі електрода при її обертанні на торці електрода навколо його осі під дією електромагнітних сил. Відцентрові сили викликають дроблення електродного металу на дрібніші краплі, які розлітаються радіально на всі боки. За даними швидкісної кінозйомки крапля на торці електрода має форму еліпсоподібну. При цьому зменшується висота краплі в напрямку осі електрода (і час її існування), це покращує умови теплопередачі через краплю (q) і підвищує коефіцієнт розплавлення електродного дроту.

Дослідження показали, що коефіцієнт розплавлення електродного дроту (α_p) має найбільше значення при накладенні поздовжнього імпульсно - односпрямованого магнітного поля. При наплавленні без впливу електромагнітного поля коефіцієнт розплавлення дроту становив 11,7 г/(А·год), при накладенні поздовжнього імпульсно-односпрямованого магнітного поля αр збільшився до значення 12,6 г/(А·год).

Оцінка впливу поперечного магнітного поля на продуктивність розплавлення електродного металу для прикладу визначалася при дуговому зварюванні та наплавленні при аргонодуговому зварюванні електродом, що плавиться. Зварювання проводилося дротом Св-08Г2С діаметром 1,0 мм на струмі $Iзв$ = 210 А при частотах f = 3 Гц і f = 50 Гц та напрузі на дузі $U_д$ = 33 В. Порівняно з поздовжнім, поперечне магнітне поле мало менший вплив на інтенсивність плавлення електродного дроту. Під впливом імпульсно-односпрямованого поперечного поля αр збільшувався з 11,7 г/(А·год) до 12,2 г/(А·год).

Цікавою та практично корисною є, що раніше зазначалося, перебудова дуги й розосередження плями нагріву на виробі при впливі поздовжнього магнітного поля призводить до зниження глибини проплавлення основного металу і збільшення ширини шва.

Для підвищення ефективності впливу магнітних полів пропонується використовувати комбінування поздовжнього та поперечного магнітного поля. У цьому випадку можливо суттєво впливати одночасно й на процеси кристалізації, і процеси формування швів. Це досягається за рахунок послідовного (розділеного в часі) впливу на зону зварювання реверсивним поздовжнім та поперечним магнітними полями. При зварюванні електродом, що не плавиться, при впливі поперечного магнітного поля з індукцією 6…10 мТл на передню частину ванни досягається збільшення глибини проплавлення металу-шва на 50…65 %. Однак на практиці найчастіше застосовують наплавлення під флюсом. При впливі магнітного поля треба враховувати, що електродний дріт і виріб (а також і сердечник соленоїда) є феромагнетиками.

Система феромагнітних тіл (зварювальний дріт, сердечник соленоїда та виріб (основний метал)) обумовлює складний розподіл магнітного поля в просторі. Між торцем зварювального дроту та виробом знаходиться неферомагнітний повітряний зазор (що символізує наявність зварювальної дуги), який також впливає на будову магнітного поля в зоні зварювання.

Встановлено, що соленоїд за наявності електродного дроту і сердечника з феромагнітного матеріалу створює спадний розподіл поздовжньої компоненти індукції *Bz* в радіальному напрямку, а тангенціальна компонента індукції *Br* незначна. При дії ПРМП з таким розподілом індукції *Bz* глибина проплавлення зменшується вдвічі, а ширина валика збільшується приблизно в 1,5 раза.

Збільшення ширини валика при впливі знакозмінного частотою 50 Гц ПЗМП не пояснюється підвищенням напруги дуги, що спостерігається при цьому, а пов'язано зі змінами форми дуги, які відбуваються і при наплавленні під флюсом електродом, що плавиться.

Постійне та знакозмінне частотою 50 Гц магнітне поле практично однаково впливають на геометричні розміри перерізу валика. При вплив постійного магнітного поля через переміщення розплаву зварювальної ванни під впливом сил Лоренца вісь наплавленого валика зміщується на 3…5 мм.

Встановлено, що з наплавлення з впливом знакозмінного частотою 50 Гц ПРМП коефіцієнт форми шва можна збільшити в 6…7 разів при зменшенні глибини проплавлення основного металу в 7…12 разів.

Вплив індукції магнітного поля та його частоти представлений на графіках рис. 11.3.

Швидкість зварювання при постійній погонній енергії в цьому випадку можна підвищити в 1,4 рази. Згідно з результатами експериментів вплив змінного ПРМП на розміри валика при індукції вище 80 мТл незначне.

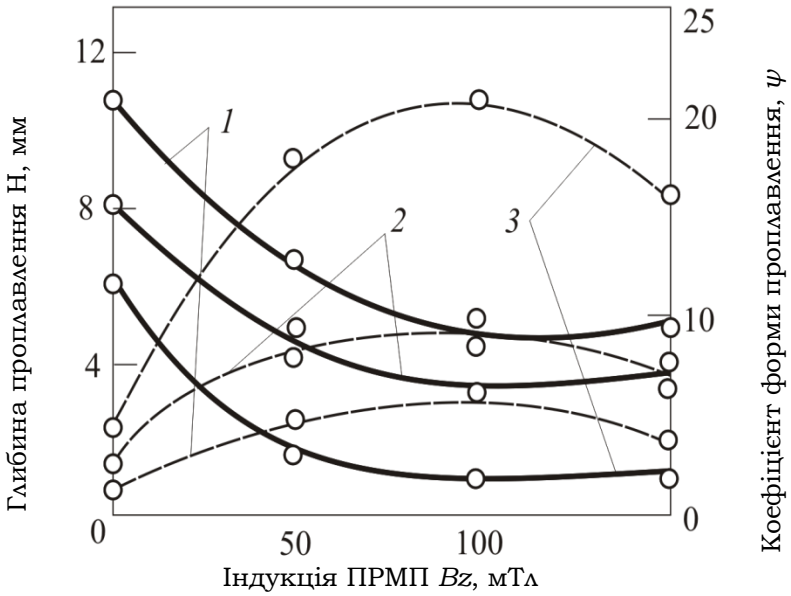


Рис. 11.3. Залежність глибини проплавлення (суцільні лінії) та коефіцієнта форми проплавлення шва (штрихові) від індукції магнітного поля (зворотна полярність, de = 5 мм) [50]:
1 – струм зварювання 900 А; 2 – струм зварювання 800 А, 3 – струм зварювання 650 А

Встановлено, що з наплавці валиків під флюсом дротами Св-08А і зі сталі 12Х18Н10Т з впливом ПРМП спостерігалося незначне збільшення глибини і площі проплавлення (приблизно 10 %), а збільшення ширини валика мало спостерігалося.

Отримані зміни геометричних розмірів валиків слід пояснювати змінами будови дуги та її розмірів, оскільки в експериментах використовувалося змінне поздовжнє магнітне поле частотою 50 Гц, яке не могло індукувати потоки рідкого металу у зварювальній ванні.

Збільшення глибини проплавлення основного металу при дії змінного поздовжнього магнітного поля ПРМП частотою 50 Гц пов'язане лише з його впливом на стовп дуги, і не зумовлено рухом рідкого металу у ванні.

Проводилася оцінка впливу електромагнітних полів на геометричні розміри швів та наплавлених валиків як одного з важливих факторів.

Отримані зміни геометричних розмірів валиків слід пояснювати змінами будови дуги та її розмірів, оскільки в експериментах використовувалося змінне поздовжнє магнітне поле частотою 50 Гц, яке не могло індукувати потоки рідкого металу у зварювальній ванні. Збільшення глибини проплавлення основного металу при дії змінного поздовжнього магнітного поля ПРМП частотою 50 Гц пов'язане лише з його впливом на стовп дуги, і не зумовлено рухом рідкого металу у ванні.

Те, що відноситься до застосування поперечного магнітного поля до процесів дугового зварювання і наплавлення під флюсом, вивчали вплив змінного магнітного поля на геометрію зварних швів і валиків, що наплавляються. З метою здійснення коливань дуги упоперек шва при зварюванні дротом Св-08А діаметром 3 і 4 мм під флюсом АН-348А на автоматі АДС-1000 був встановлений спеціальний електромагніт, живлення котушки якого здійснювалося змінним струмом промислової частоти. Зварювання стикового з'єднання і наплавлення виробляли на пластинах зі сталі Ст3 товщиною 11 мм на струмах 400…1000 А. Попередні вимірювання індукції магнітного поля в зоні дуги, що примикає до виробу, показали, що величина індукції магнітного поля визначається відстанню магнітної системи ПОМП) від виробу. Крім того, істотний вплив на інтенсивність керуючого магнітного поля надавала форма виробу, що зварюється. При переході від пластини без обробки до пластини з обробкою величина магнітної індукції знижувалася в 4…7 разів. В дослідженнях встановили залежність коефіцієнта форми наплавленого валика ($\psi = b/h$) та глибини проплавлення від струму дуги при різних швидкостях наплавлення та умовах магнітного впливу. Наведені дані показують, що накладення змінного ПОМП дозволяє збільшити коефіцієнт форми наплавленого валика в 15…25 разів. При цьому глибина проплавлення основного металу, залежно від режиму наплавлення, може зменшуватися на 10…50 %. Дослідженнями відзначені деякі технологічні особливості процесу зварювання під флюсом із впливом змінного ПОМП. Було встановлено, що стабільність процесу при зварюванні в змінному ПОМП визначається напругою дуги. Величина напруги на дузі при зварюванні в змінному ПОМП не повинна перевищувати 40…45 В. Інакше включення магнітного поля викликає порушення стабільності процесу і призводить до тимчасового згасання дуги, що несприятливо позначається на якості зварного шва (валика), викликаючи утворення пор і шлакових включень.

Вивчався вплив постійного та змінного ПОМП на геометричні розміри валика при наплавленні дротом Св-06Х18Н9Т діаметром 5 мм під флюсом АН-26 на пластину зі сталі 12Х18Н10Т. Для впливу на дугу постійного ПОМП було виготовлено пристрій, що є П-подібний магнітопровід зі сталі (сталь 45) і котушки з ізольованого мідного дроту з числом витків W = 120, що живиться від випрямляча. Така конструкція пристрою забезпечувала рівномірне розподілення тангенціальної компоненти індукції поля *Bx* у просторі між полюсами при незначній величині нормальної компоненти індукції *Bz.* Пристрій введення ПОМП розташовувалося під пластиною, що наплавляється. Наплавлення починали на відстані 150...200 мм до ділянки між полюсами. На міжполюсній ділянці вісь валика під впливом ПОМП відхилялася від початкової осі, причому максимальна величина відхилення була практично пропорційна значенню компоненти магнітного поля Вх. Зі зростанням зварювального струму відхилення осі валика дещо зростало. При знакоперемінному магнітному полі частотою 0,5 Гц зміщення осі валика відповідали частоті поля, але воно в 2...3 рази було менше, ніж зміщення, отримане при дії постійного поля з такою ж індукцією *Bx*. При частоті 1 Гц (і такої ж індукції Вх) усунення осі валика були ледь помітні, а при частоті 2 Гц практично відсутні. Розширення валика при частоті 50 Гц відбувалося пропорційно до індукції поля *Bx*, якщо *Bx* ≥ 15 мТл, при цьому глибина проплавлення (*Hпр*) і висота посилення (*Hус*) зменшувалися. вважається, що величина індукції *Bx* ≈ 15 мТл є граничним значенням при частоті ПОМП 50 Гц, оскільки при *Bx* = 15 мТл розширення валика при наплавленні не відбувалося. Зазначено, що зі збільшенням частоти ПОМП необхідна велика індукція *Bx*, щоб однаковою мірою розширити наплавлений валик. Однак слід враховувати, що при дії ПОМП максимальну індукцію поля лімітують обриви дуги та пов'язані з ними порушення формування металу шва.

Встановлено, що при рівній індукції біля поверхні немагнітних і феромагнітних виробів при наплавленні розширення валика відбувається з однаковою мірою. Однак у другому випадку силу, яка намагнічує в пристрої введення ПОМП, необхідно суттєво збільшити (в 4...5 разів).

Одним зі способів підвищення міцності та пластичності, металу шва, як вже вказувалося, є подрібнення його грубої стовпчастої структури. З наявних методів впливу на процес кристалізації металу зварювальної ванни було виділено два основні шляхи: металургійний, який пов'язаний із властивостями металу, і технологічний, що визначає способи впливу на метал у процесі зварювання чи наплавлення.

Металургійний шлях заснований на застосуванні металу з природно дрібним зерном або модифікуванні зварювальної ванни хімічними елементами через присадний дріт, флюси або спеціальні пасти, або за допомогою введення відповідних порошкових матеріалів безпосередньо у хвостову частину ванни. Можна розглядати методи попередньої підготовки основного металу перед зварюванням, що включають, наприклад, механічну попереднє закалювання або наклеп кромок металу, що зварюється. У зоні деформованого металу протікає процес рекристалізації, який сприяє утворенню дуже дрібного зерна.

Технологічний шлях включає не тільки способи оптимізації технологічних параметрів зварювання, якими займалися багато дослідників протягом тривалого часу. Сюди можна додати і методи зовнішнього силового, теплового або електромагнітного впливу на розплав у процесі його кристалізації. Найчастіше виникають труднощі й із вибором дрібнозернистого металу. Іноді доводиться зварювати метали зі структурою великого зерна або складнолеговані сплави, що інтенсивно розробляються останнім часом. Тому визначення характеру розвитку структури у процесі кристалізації викликає значні труднощі.

Найбільш ефективними технологічними методами є застосування безконтактних способів впливу на процес кристалізації металу шва, таким як застосування зовнішніх керуючих магнітних полів.

При застосуванні зовнішніх керуючих полів відбувається електромагнітне перемішування (ЕМП) рідких потоків зварювальної ванни. Подрібнення структури швів, що досягається при ЕМП, відбувається внаслідок періодичної зміни параметрів зони концентраційного переохолодження, що залежать від градієнта температур у міжфазній поверхні. Підвищення градієнта температур при подачі перегрітого металу неминуче приводить до зменшення швидкості зростання кристалітів і навіть їх оплавлення. У умовах знижується швидкість кристалізації і рівень концентраційного переохолодження. Після реверсування руху рідкого металу градієнт температур знижується до менших значень, ніж при звичайних умовах зварювання. При цьому миттєві швидкості кристалізації підвищуються в 1,5...10 разів, збільшуючи довжину концентраційного переохолодження, і це пояснює ефект подрібнення структури швів.

Досліджувався процес накладання зовнішнього джерела збурень та його вплив на характер процесу кристалізації. Основною ідеєю робіт було отримання оптимальних режимів зовнішнього впливу на зварювальну ванну, і тому отримання параметричного резонансу. Явище параметричного резонансу дозволило активно впливати на зародкову зону і створювати умови утворення додаткових центрів кристалізації для отримання дрібнозернистої структури. Прикладом є експериментально отримані результати зварювання аустенітної сталі Х18Н10Т вольфрамовим електродом, що не плавиться, з поперечними коливаннями дуги з частотою 3 Гц. Мікроструктура зазнавала значних змін - зникала стовпчастість первинних дендритів, властива іншим режимам коливань дуги, межі кристалітів стали розмитими і зникла площина слабини. Це своєю чергою благотворно вплинуло на характеристики зварного шва. Однак у роботах не представлений порівняльний аналіз різних частот для сталей цього класу, що не дозволяє дати загальну оцінку такого способу розрахунку режимів зварювання із застосуванням зовнішнього магнітного поля.

У багатьох дослідженнях наведено окремі випадки застосування зовнішнього магнітного поля, але немає конкретних рекомендацій для застосування різних режимів зварювання залежно від товщини і складу деталей, що з'єднуються. Експериментальним шляхом визначено оптимальні значення параметрів зовнішнього магнітного поля деяких металів і сплавів.

Досліджувався вплив змінного ПРМП на структуру та механічні властивості швів при зварюванні під флюсом сталі 09Г2С. З рис. 11.4 видно, що ступінь подрібнення структури залежить від індукції та частоти поздовжнього магнітного поля.

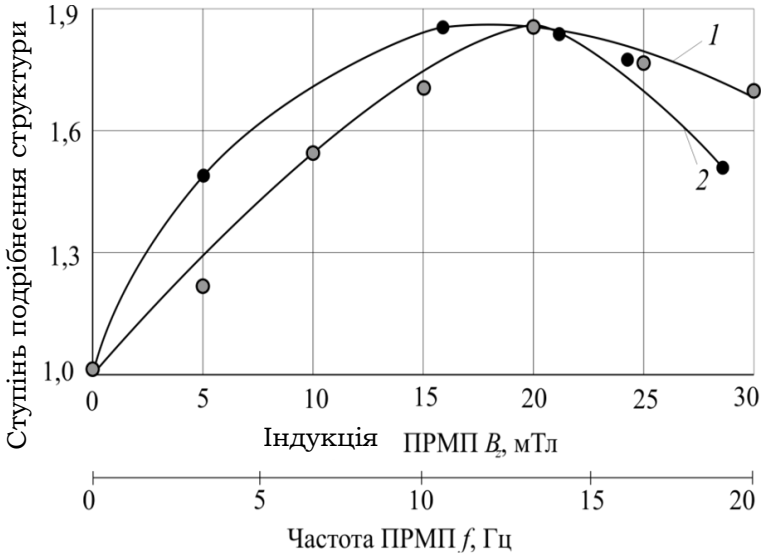


Рис. 11.4. Залежність ступеня подрібнення структури металу шва від:
1 – індукції магнітного поля за f = 10,5 Гц;
2 – частоти реверсування ПЗМП при Bz = 20 мТл

Максимальне подрібнення зерен спостерігається при індукції Bz = 20 мТл та частоті реверсування 10-14 Гц. Унаслідок цього збільшувалися міцнісні та механічні властивості металу швів. Це пояснюється тим, що легуючі елементи більш рівномірно розподіляються в металі шва. Такий результат виходить, якщо зварювання виконується при оптимальних значеннях параметрів електромагнітного перемішування.

Треба вказати що ефективним э застосування електромагнітних полів при реалізації процесу наплавлення стрічковим електродом [10], [11].

Значні технологічні результати отримані при застосуванні цілеспрямованої дії магнітних полів при виконанні зварювання у водному середовищі мокрим способом. Це стосується як структур металу, так і формування швів. Суттєвим недоліком цього способу мокрого зварювання є обладнання для генерування магнітних впливів в водному середовищі.

Наявність великої кількості матеріалів, що стосуються дії магнітних полів на процеси електродугового зварювання і наплавлення є необхідність зробити наступні узагальнюючі висновки.

Максимальна ефективність ЕМВ у кожному даному випадку досягається правильним вибором властивостей управляючих магнітних полів. При цьому аксіальні УМП частіше застосовують для управління кристалізацією, а радіальні – процесами формування швів.

Виникнення негативних побічних ефектів при зварюванні та наплавленні із застосуванням традиційних ЕМВ пов'язано з різним впливом зовнішнього магнітного поля на дугу як джерело нагріву і краплі на торці електродного дроту з одного боку і розплав ванни – з іншого. Їх усунення досягається шляхом оптимізації параметрів УМП.

Найбільш перспективним напрямом підвищення ефективності ЕМВ, що забезпечує комплексне поліпшення процесів формування та кристалізації швів, є застосування комбінованих УМП. Необхідне проведення подальших досліджень для всебічного з'ясування ступеня впливу таких ЕМВ на показники якості швів.

Застосування акустичних та високочастотних електромагнітних полів. При автоматичному зварюванні та деяких випадках механізованому зварюванні та наплавленні можливе застосування ультразвукових впливів у двох основних інтерпретаціях:

- з передачею впливів через виріб у зварювальну ванну;
- з передачею впливу на електродний дріт.

Ультразвукові коливання, що вводяться безпосередньо в рідку ванну, використовуються безпосередньо у зварювальному процесі для підвищення міцності зварного шва в металоконструкціях. Ультразвукові поля високої інтенсивності, що вводяться в метал, що кристалізується, створюють нові умови для протікання процесу кристалізації з такими основними змінами структури:

- зниження розмірів зерна;
- руйнування стовпчастої структури;
- забезпечення однорідності зварного шва;
- більш рівномірний розподіл неметалевих включень по всьому об'єму зварного шва;
- зниження рівня ліквацийних процесів.

Досягнені ефекти є наслідком низки явищ як наслідків застосування ультразвукових полів:

- підвищення ступеня перемішування металу ванни;
- зміна швидкості кристалізації;
- вплив на градієнт температур.

Незважаючи на те, що застосування ультразвукових коливань при електродуговому зварюванні плавленням призводить до підвищення якості та поліпшення механічних характеристик наплавленого металу їх застосування дуже обмежене через відсутність у наш час надійних працездатних коливальних систем, які можуть стійко працювати в реальних умовах зварювального виробництва. Крім цього, потрібно подальше вдосконалення способів введення ультразвукових коливань у ванну рідкого металу.

Для прикладу зазначимо, що здебільшого при односторонньому зварюванні з використанням ультразвукових коливань якість швів великою мірою залежать від характеристик підкладкових пристроїв, з якими сполучаються вібратори. При цьому перевага віддається мідним ковзним підкладкам (безпосередній контакт з рідким металом ванни), оскільки термоізолюючі підкладки, наприклад керамічні і флюсові, погані провідники ультразвукових коливань. Усе це значною мірою ускладнює конструкцію зварювального обладнання та суттєво обмежує застосування цього способу зварювання.

Зупинимося на способі зварювання із введенням ультразвукових коливань безпосередньо в електродний дріт в обладнанні для дугового автоматичного та механізованого зварювання плавленням. Цей спосіб більшою мірою належить до процесів з використанням сталевого електродного дроту, що є феромагнітним матеріалом. При накладенні на рухомий електродний дріт високочастотних електромагнітних коливань (поля) певної частоти у дроті створюється поздовжня хвиля, яка у вигляді енергетичного впливу безперервно

передається металу розплавленої краплі рідкого металу на торці електрода, що плавиться. Це дозволяє збільшити частоту переходу крапель у зварювальну ванну, що призводить до зниження області (зони) термічного впливу та, як наслідок, – підвищення якості зварних швів.

Слід зазначити ще одну інтерпретацію результату високочастотного електромагнітного впливу на електродний дріт з феромагнітними властивостями (сталь) [19]. При зазначеному впливі матеріал дроту змінює свої лінійні розміри (магнітострикційний ефект), що може розглядатися як наноімпульсна подача електродного дроту, що супроводжує його конвенційного руху з передачею імпульсу руху краплі на торці дроту при горінні дуги. Це, як зазначалося, збільшує частоту переходу крапель у зварювальну ванну, з технологічним ефектом.

Подача захисного середовища. Спосіб зварювання з подачею захисного середовища, переважно з імпульсною подачею захисного газу, нині, наскільки нам відомо, ще перебуває у стані експериментального вивчення. Перспективність цього напряму визначається тим, що зміна швидкості подачі газу веде до зміни параметрів перенесення крапель електродного металу у зварювальну ванну, зокрема частоти переходу. При збільшенні швидкості газового потоку із сопла зростає його тиск на краплю поблизу торця електродного дроту й у ванну переходять дрібніші краплі, але з більшою частотою. Зауважимо, що внаслідок зниження часу переходу краплі у рідку ванну змінюється швидкість металургійних процесів та інтенсивність вигоряння легуючих елементів.

Є розробки різних варіантів імпульсної подачі захисних газів, з-поміж яких основними є: застосування одного типу газу та поперемінною подачею кількох типів газів.

Важливо зауважити, що серед них основними є: з подачею одного типу газу, з почерговою подачею кількох типів газів. Ефективність застосування почергової (поперемінної) подачі різних газів розглянуто в роботі [26]. Показано, що, наприклад, при подачі в поперемінному режимі аргону й гелію отримано новий технологічний процес, у якому завдяки імпульсній зміні тиску в дуговому проміжку, який визначається різною щільністю та потенціалів іонізації аргону і гелію, виникає ефект імпульсного впливу на зварювальну ванну. Це сприяє одержанню металу зварного шва та наплавленого шару з дезорієнтованою дрібнозернистою структурою металу з високими показниками пластичності та міцності металу. Слід додати, що в процесі зварювання та наплавлення, гелій, володіючи високою плинністю, проникає у стик між кромками та забезпечує захист та підігрів зворотної сторони шва. Порівняно з традиційною технологією дугового зварювання в захисних газах без пульсацій, нова технологія більш ефективна для отримання бездефектних швів.

Зовнішній вигляд швів за різної частоти імпульсної подачі аргону і гелію різний. Частота значною мірою впливає на форму і лускатість поверхні металу швів. Імпульсна подача захисного газу із частотою до 20 Гц впливає на геометричні розміри металу швів. Однак необхідно враховувати той факт, що зі збільшенням частоти імпульсної подачі складніше забезпечити подачу захисних газів окремими порціями без змішування, більш високі вимоги ставляться до газової апаратури.

Широкому поширенню процесів зварювання та наплавлення, на нашу думку, перешкоджає інерційність всієї системи подачі захисного газу. Проблему не можна ефективно вирішити розміщенням клапана безпосередньо біля газового сопла.

Рис. 11.5 Газовий захист при зварюванні в захисних газах:
а – конвенційний одноструменевий;
б – двоструменевий

Цікавим з погляду впливу на зварний шов і вдосконалення системи подачі захисного газу вбачається порівняно новий процес, заснований на способі зварювання з двоструменевим газовим захистом. При двоструменевому газовому захисті внутрішній струмінь охоплюється зовнішнім струменем, який стабілізує внутрішній струмінь, знижує його турбулентність і забезпечує захист навколошовної зони й обмежує підсмоктування повітря в зону горіння дуги. Підвищений газодинамічний тиск внутрішнього газового струменя сприяє більш інтенсивному перемішування рідкої ванни та розплавленої електродного металу краплі з нею. Крапля швидше охолоджується і рухається від торця електрода, що сприяє зниженню вигоряння легуючих елементів у ній. Дія способу зварювання з конвенційний одноструменевим газовим захистом та двоструменевим захистом представлена на рис. 11.5.

На рис. 11.6 показані порівняльні макрошліфи валиків наплавлених при використанні одноструменевого та двоструменевого газових захистів. Різниця полягає, зокрема, у більш геометрично правильному формуванні валика та проплавленні основного металу, що безумовно впливає на покращенні механічних властивостей шва та наплавленого шару.

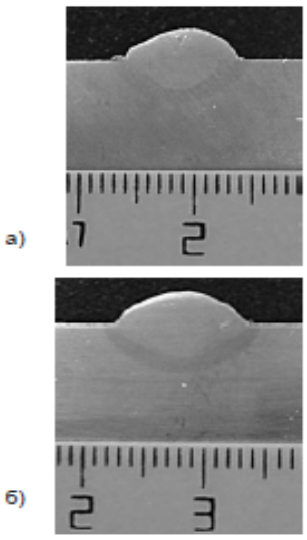


Рис. 11.6. Валики наплавлені при використанні захисного газу 15 л/хв:
а – одноструменевий газовий захист;
б – двоструменевий газовий захист

Слід зазначити, що зі збільшенням швидкості подачі газу поліпшується якість формування шва та захист зони зварювання.

Використання двостуменевого захисту порівняно з одноструменевим захистом забезпечує подрібнення структури металу шва зменшує хімічну неоднорідність та плавний перехід від металу шва до основного металу.

Дослідження показують, що всі геометричні розміри швів при зварюванні залежать від способу газового захисту, швидкості витоку газу, витрата захисного газу. Таким чином, можна зазначити, що за допомогою захисного газу можна керувати формуванням шва та наплавленого шару. Для прикладу на рис. 11.7 представлена залежність глибини проплавлення від витрат газу для різних способів подачі захисного газу.

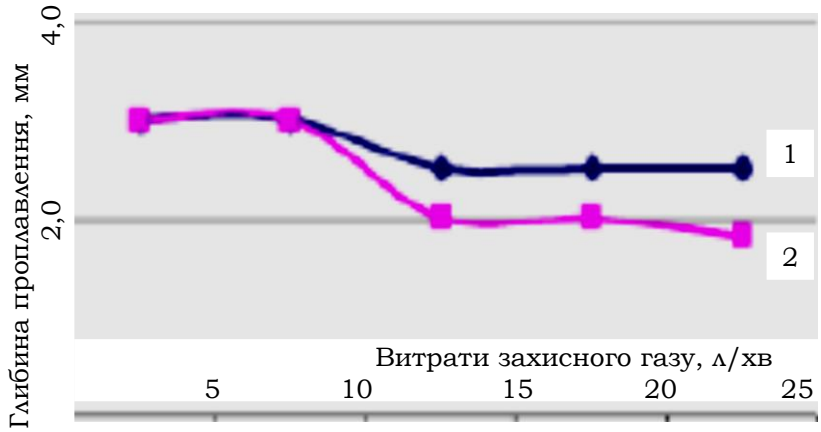


Рис. 11.7. Залежність глибини проплавлення від витрат захисного газу:
1 – одноструменева подача;
2 – двоструменева подача

Дослідження щодо інших параметрів шва показують, що при підвищенні витрат газу висота валика зменшується, а ширина збільшується. І все це при однакових енергетичних параметрах дугового процесу.

Взагалі можна вважати встановленим, що газодинамічний вплив захисного газу суттєво впливає на формоутворення та геометрію шва, який зварюється, при використанні електрода, який плавиться. Цей ефект має велике практичне значення і дає можливість підвищити експлуатаційну надійність звареної конструкції практично без додаткових витрат. Це насамперед стосуються конструкцій, які працюють при змінних навантаженнях.

При зварюванні часто в якості захисного середовища використовують суміші газів, які забезпечують певні результати в формуванні з'єднань та в поліпшенні механічних властивостей швів та наплавлених шарів. Пошук та вибір ефективного складу сумішей газів є одним із перспективних напрямів удосконалення зварювального процесу.

При складанні сумішей газів виникає проблема включення в цей состав досить коштовних інертних газів. Так, у практиці зварювання з кордоном широко використовують суміш $Ar+CO_2$, яка має певні переваги в порівнянні з процесом в чистому CO_2. Зменшується розбризкування, покращуються механічні властивості з'єднання. Проте застосування суміші $Ar+CO_2$, пов'язано з високою вартістю аргона. Одним із найбільш перспективних напрямків зниження витрат суміші $Ar+CO_2$ або чистого аргону є застосування комбінованого способу газового захисту, коли суміш $Ar+CO_2$, або чистий аргон. На рис. 11.8 показано пальник для реалізації процесу з комбінованим захистом. Суміш $Ar+CO_2$, або чистий аргон подається по центральному каналу та активно бере участь у фізико-металургійних процесах, які відбуваються в краплі електродного металу та у ванні, що забезпечує зазначені вище переваги в порівнянні з зварюванням в CO_2. Функцію відтиснення повітря бере на себе чистий CO_2, який подається коаксіально суміші чи

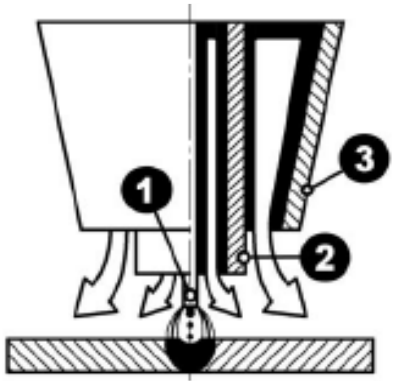


Рис. 11.8. Схема процесу зварювання в умовах комбінованого газового захисту:
1 – електродний дріт;
2 – сопло, яке формує внутрішній рух газу (Ar або Ar + CO_2);
3 – сопло, яке формує зовнішній кільцевий рух газу (CO_2), що виконує захисну функцію

чистому аргону по кільцевому каналу пальника. У цьому випадку витрати аргону можуть бути знижені. При цьому не тільки не знижується якість результату дугового процесу, а навіть результати набувають більш значних показників по економії витратних матеріалів та підвищенні механічних властивостей конструкцій розглянутим способом.

Використання ультразвуку. Зварювання з використанням ультразвуку має мале поширення і застосовується лише для зварювання тонколистових металоконструкцій та виробів типу фольги. Більш цікавою є використання ультразвукових коливань разом з іншими джерелами нагріву, зокрема електродугового зварювання. При цьому ультразвукові коливання значною мірою впливають на процеси структуризації металу ванни з подрібненням кристалітів для отримання бажаної дрібнозернистої структури.

Існують такі способи застосування ультразвукових коливань у процесі зварювання:

- накладання коливань на електрод;
- передача коливань на корпус пальника
- передача коливань зварюваним елементам конструкції;
- використання дуги як джерела ультразвукового випромінювання.

На рис. 11.9 представлена спрощена структурна схема для процесу механізованого зварювання в захисному газі з введенням ультразвукових коливань у пластини, які зварюються. Треба зазначити, що дуже великою проблемою при застосуванні приладів для генерування ультразвукових коливань є їх підведення до потрібного місця. Це має бути дуже щільний зв'язок між джерелом коливань та об'єктом впливу.

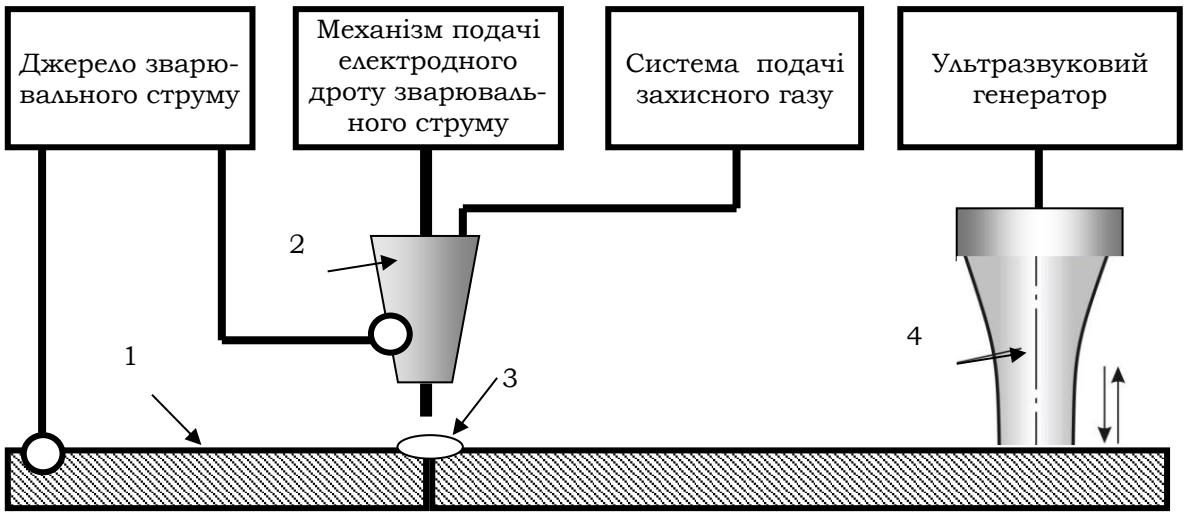
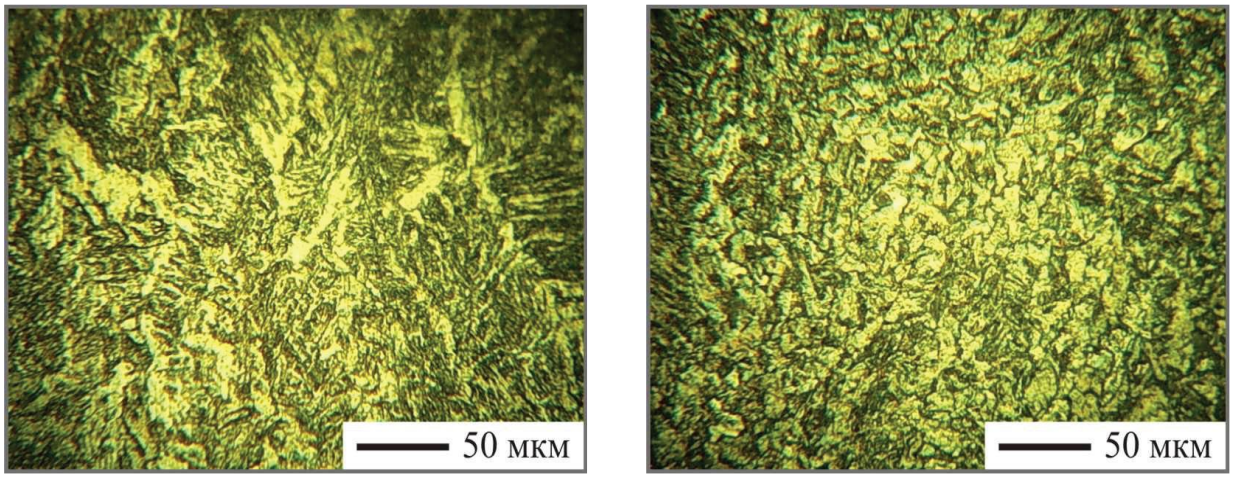


Рис. 11.9. Структурна схема механізованого зварювання в захисному газі з використанням ультразвукового впливу:
1 – струмопідвод; 2 –пластини які зварюються;
3 – ванна; 4 – вузол передачі коливань

Одним із найважливіших моментів при проведенні зварювання з накладенням коливань є визначення місця їх застосування до пластини та місця зварювання, у якому має забезпечуватися стабільний ультразвуковий вплив.

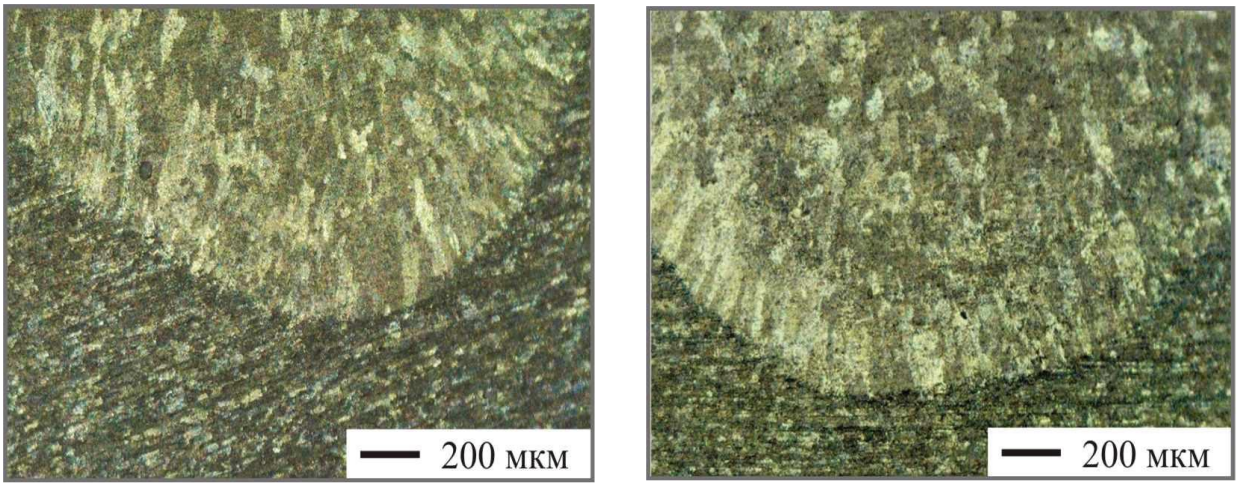
У результаті накладання ультразвукових коливань у процесі зварювання приводять до змін мікроструктури зварного шва.

Для Ст3 як свідчать матеріали на рис. 11.10 ефект від дії коливань полягає у значному зменшенні частки дендритної ліквації. Для алюмінію АМг4 дія коливань позначається на зменшенні висоти зони дендритів і це видно на рис. 11.11. Різний характер впливу зумовлений більш тривалим часом у ньому кристалізації сталі в порівнянні з алюмінієм, що дозволяє коливанням здійснити більший вплив.



а *б*

Рис. 11.10. Мікроструктура металу шва сталі Ст3, отриманого:
а – без коливань; б – з коливаннями



а *б*

Рис. 11.11. Мікроструктура зони сплавлення сплаву АМг4, отриманої:
а – без коливань; б – з коливаннями

Зміни мікроструктур є наслідком дії ефектів, що виникають у розплавленому металі, при введенні в нього ультразвукових коливань. До явищ, які мають значний вплив на кінетику процесу кристалізації, належать звуковий тиск, кавітація та акустичні течії.

Введення в систему коливань збільшує вільну енергію системи, яка характеризує перехід компонентів розплаву з рідкої фази у тверду.

Отримані зміни мікроструктури приводять до підвищення якості зварного з'єднання. Так, зварний шов, отриманий з накладенням коливань і володіє рівномірною структурою зі зменшенням дендритної ліквації, має меншу усадку в процесі охолодження, що знижує зварювальні деформації. Це виявляється у зменшенні прогину з'єднання. Випробування з'єднань на розрив також показують підвищення характеристик. Накладання коливань призводить до збільшення тимчасового опору на 5...10 %. Найбільший вплив ультразвук надає пластичність металу шва, подовження якого збільшується на 13...22 %. Результати вимірів тимчасового опору та подовження зразків при випробуванні на розтягування після електродугового зварювання представлені рис. 10.12.

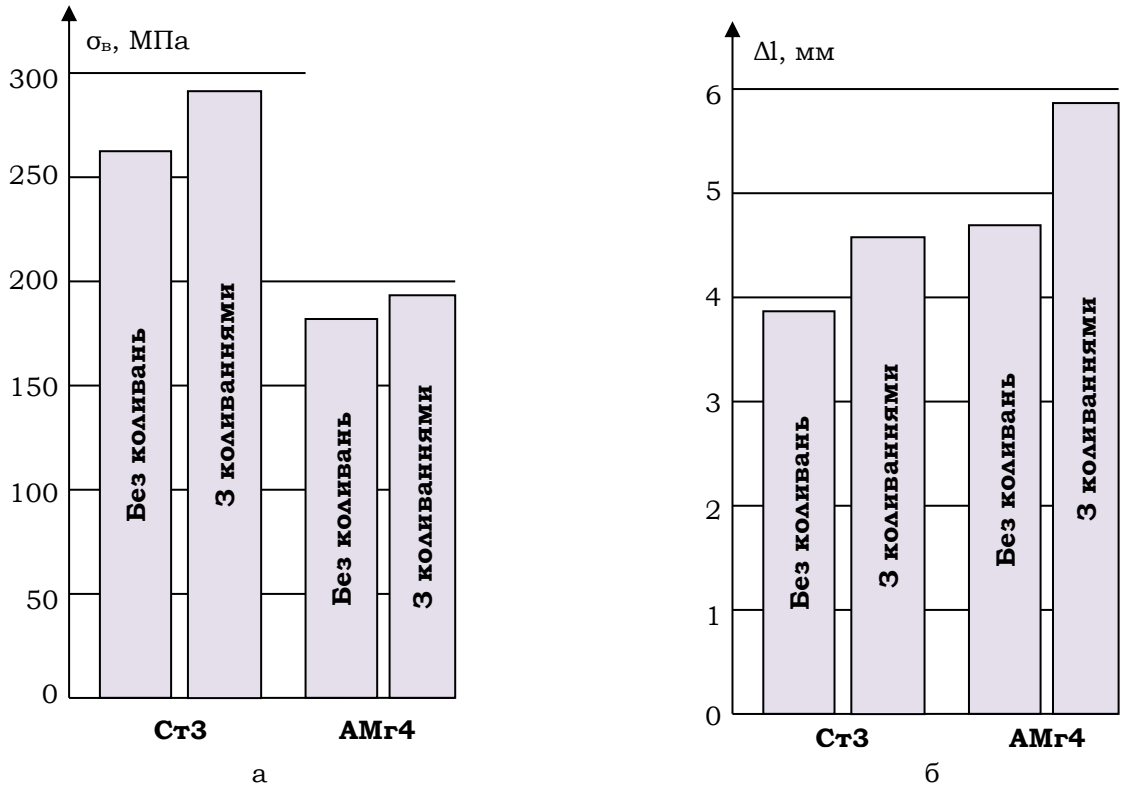


Рис. 11.12. Механічні характеристики сталі та сплаву алюмінію із застосуванням ультразвукових коливань та без них:
а – тимчасовий опір; б – подовження зразків при випробуванні на розтягування

Незважаючи на суттєвий якісний вплив на зварювальний процес ультразвукових коливань він не набув у теперішній час значного поширення. Це можна пояснити низкою причин, основні з яких такі.

1. Необхідність використання додаткового обладнання – ультразвукового генератора та коливальної системи.

2. Складність організації процесу, пов'язаного з погодженням режимів зварювання та акустико-технологічних параметрів ультразвукового дії.

3. Переважно використання більше складних і великогабаритних магнітострикційних перетворювачів, що вимагають примусового охолодження, оскільки п'єзокерамічні втрачають ефективність при високих температурах.

4. Підвищення енергетичних витрат на проведення зварювального процесу.

Вказані недоліки застосування процесу з використанням ультразвукового впливу він знаходить певне застосування в ряді технологічних рішень, які пов'язані з покращенням результатів електродугового зварювання з використанням електрода, який плавиться. Це стосується автоматизованого зварювального обладнання.

Література до розділу 11

1. Basic concept and viability of electromagnetically controlled molten pool welding process / Y. Manabe, S. Zenitani, Y. Hiromoto et al. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. XI, XII). 10/2006 43.

2. Czernysz W. Influence of electromagnetic effect in welding on the increase in resistance to hot cracking / W. Czernysz, R. Ryzhov, E. Tyrec // Welding International. – 2004. – Vol. 18. – Pp. 257–262.

3. Eihhorn F., Dilthey U., Huwer W. Unterpulver — Auftragschweissen mit 60…90 und 120 mm breiten Gr–Nn–Stahlbandelektroden / F. Eihhorn, U. Dilthey, W. Huwer // Industrie – Anzeiger. – 1972. – № 98. – S. 2369–2372.

4. Kang Y. H. Characteristics of welding and arc signal in narrow groove gas metal arc welding using electromagnetic arc oscillation / Y. H. Kang, S. A. Na // Welding J. – 2003. – № 3. – Pp. 93–99.

5. Абралов М. А. Влияние электромагнитного воздействия на свойства и структуру сварных соединений сплава 01420 / М. А. Абралов, Р. У. Абдурахманов, А. Т. Йулдашев // Автомат. сварка. – 1977. – № 5. – С. 21–24.

6. Влияние внешнего электромагнитного воздействия на содержание водорода в металле швов при мокрой подводной сварке / С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко, Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь // Автомат. сварка. – 2003. – № 6. – С. 55–56.

7. Влияние внешних электромагнитных воздействий на микроструктуру и химический состав швов при подводной мокрой сварке / Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // Автомат. сварка. – 2005. – № 10. – С. 41–42.

8. Пахаренко В. А. Расчет оптимальных параметров магнитного поля при аргонодуговой сварке с перемешиванием ванны / В. А. Пахаренко // Автомат. сварка. – 1982. – № 7. – С. 39–41.

9. Применение внешних электромагнитных воздействий для улучшения механических свойств при подводной мокрой сварке / Р. Н. Рыжов, В. А. Кожухарь, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // Автомат. Сварка. – 2004. – № 11. – С. 53–54.

10. Размышляев А. Д. Влияние магнитного поля на размеры зоны проплавления при наплавке под флюсом / А. Д. Размышляев // Автомат. сварка. – 1996. – № 8. – С. 25–27, 30.

11. Рыжов Р. Н. Внешние электромагнитные воздействия в процессах дуговой сварки и наплавки (обзор) / Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов // Автомат. сварка. – 2006. – № 10. – С. 36–44.

12. Рыжов Р. Н. Выбор оптимальных параметров внешнего электромагнитного воздействия при дуговых способах сварки / Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов // Автомат. сварка. – 2005. – № 6. – С. 27–31.

13. Рыжов Р. Н. Применение шестиполюсной электромагнитной системы для управления параметрами формирования швов при сварке неплавящимся электродом / Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов, А. В. Малышев // Автомат. сварка. – 2004. – № 2. – С. 45–49.

14. Рыжов Р. Н. Методика расчета параметров управляющего электромагнитного воздействия при дуговой сварке конструкционных сталей / Р. Н. Рыжов, В. Д. Кузнецов, Е. А. Прилипко // Вестн. НТУУ «КПИ». – 2005. – № 45. – С. 166–167.

15. Рыжов Р. Н. Особенности формирования и кристаллизации швов при TIG-сварке с отклонениями дуги магнитным полем / Р. Н. Рыжов, В. С. Семенюк, А. А. Титов // Автомат. сварка. – 2004. – № 4. – С. 17–20.

16. Рыжов Р. Н. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию горячих трещин при ручной дуговой сварке неплавящимся электродом / Р. Н. Рыжов, И. О. Скачков, В. П. Черныш // Автомат. сварка. – 1997. – № 4. – С. 25–29.

17. Сварка плавящимся электродом в защитных газах с электромагнитным перемешиванием / В. П. Игумнов, С. Н. Мальцев, Ю. Д. Коньков и др. // Автомат. сварка. – 1983. – № 3. – С. 41–42, 59.

18. Сохранение глубины провара в условиях электромагнитного перемешивания сварочной ванны / И.В. Малинкин, В. Ю. Поповский, В. В. Сыроватка, В. П. Черныш // Автомат. сварка. – 1971. – № 8. – С. 46–48.

19. Тарасов Н. М. Применение высокочастотного электромагнитного поля для дозированного переноса капель электродного металла / Н. М. Тарасов, С. С. Капустин // Автомат. сварка. – 1982. – № 8. – С. 10–12.

20. Чаюн А. Г. Дуговая сварка алюминиевого сплава 01420 с применением электромагнитного перемешивания / А. Г. Чаюн, В. В. Сыроватка, В. И. Матяш // Автомат. сварка. – 1981. – № 6. – С. 19–21.

21. Черныш В. П. Оборудование для сварки с электромагнитным перемешиванием / В. П. Черныш, С. Н. Кухарь. – Киев : Вища шк., 1984. – 56 с.

22. Черныш В. П. Предупреждение нарушений формирования швов при повышенной скорости сварки и переменном зазоре между кромками / В. П. Черныш, В. И. Матяш // Автомат. сварка. – 1990. – № 9. – С. 9–11.

23. Черныш В. П. Влияние режима электромагнитного перемешивания на химическую микронеоднородность швов / В. П. Черныш, В. А. Пахаренко, В. Д. Кузнецов // Автомат. Сварка. – 1980. – № 1. – С. 76–77.

24. Чинахов Д. А. Влияние двухструйной газовой защиты на эксплуатационные свойства сварных соединений судостроительной стали GL-E36 / Д. А. Чинахов //Автоматическая сварка. – 2009. – № 9. – С. 39–42.

25. Шаферовский В. А. Влияние аксиального магнитного поля на проплавляющую способность дуги при сварке толстолистовой стали с программированием режима / В. А. Шаферовский // Автомат. сварка. – 1996. – № 8. – С. 20–24.

26. Шейко П. П. Технологические особенности сварки плавящимся электродом низколегированных сталей с чередующейся подачей защитных газов / П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, С. А. Шевчук // Автомат. сварка. – 1997. – № 8. – С. 32–36.

РОЗДІЛ 12
Зварювальне обладнання з комбінованими імпульсними та іншими впливами на дуговий процес

Загальні відомості про комбіновані впливи на процеси зварювання та наплавлення. У цьому розділі будуть розглянуті лише декілька прикладів суміщення процесів та комбіновані рішення при вдосконаленні техніки і технології дугового зварювання та наплавлення. Можна зазначити, що є велика кількість розробок у цьому напрямі розвитку зварювальної техніки та технологій, а ще більше може бути запропоновано, тому що практично більшість наявних та нових техніко-технологічних рішень може бути використано з іншими розробками для одержання нових чи посилення наявних ефектів. На рис. 12.1 представлені узагальнено можливі варіанти для створення комбінованих впливів на процеси електродугового зварювання та наплавлення Варіанти на рис. 12.1 визначені на основі робіт [22], [26] та деяких інших.

Рис. 12.1. Впливи для застосування в дуговому механізованому обладнанні

Дугові механізовані процеси зварювання та наплавлення які реалізуються за допомогою механізованого обладнання, є найбільш поширених засобів з'єднання, відновлення та зміцнення металів. Це ставить завдання

вдосконалення як самих процесів, так і обладнання. У цьому ж ряді вирішуються задачі покращення технологічних показників електродних матеріалів та засобів захисту зварювальної ванни.

Одним із головних напрямків вдосконалення техніки та технології електродугового зварювання та наплавлення в теперішній час, коли з'являються нові техніко-технологічні рішення, є можливість застосувати різні види впливів на дуговий процес одночасно. У цьому матеріалі ми будемо розглядати використання тільки технічних засобів впливу на процеси зварювання та наплавлення.

Суміщення або комбінація застосування технічних засобів може відбуватися як з використання систем самого зварювального апарату, так і з залученням допоміжного обладнання. Можна вказати на застосування як складових деяких технологічних способів впливу на результати зварювального процесу, а також використання спеціальних електродних матеріалів, захисних матеріалів та різних модифікаторів, наприклад, у вигляді пасти.

Комбінований вплив систем зварювального обладнання. Яскравими прикладами такого поєднання можуть бути системи: живлення дуги, подачі електродного дроту, подачі захисного газу. Наведемо деякі приклади.

У матеріалах ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України [19] є дані на використання джерела живлення та системи подачі, які функціонують з імпульсними алгоритмами на одній вибраній частоті в певній залежності один від одного при формуванні. Така залежність загалом зумовлена інерційними властивостями задіяних систем. Якісне представлення сумісної дії такого способу керування процесом з використанням сучасних швидкодійних конструкцій механізму подачі з вентильним електроприводом та джерела живлення дуги інверторного типу представлені осцилограмами на рис. 12.2. Перевагами такого суміщення впливу є ефективне керування перенесенням електродного металу для сталей та алюмінію без формування імпульсів подачі з надмірними амплітудами, розширює зону обслуговування напівавтомата – нема потреби компенсувати затухання амплітуди механічних імпульсів.

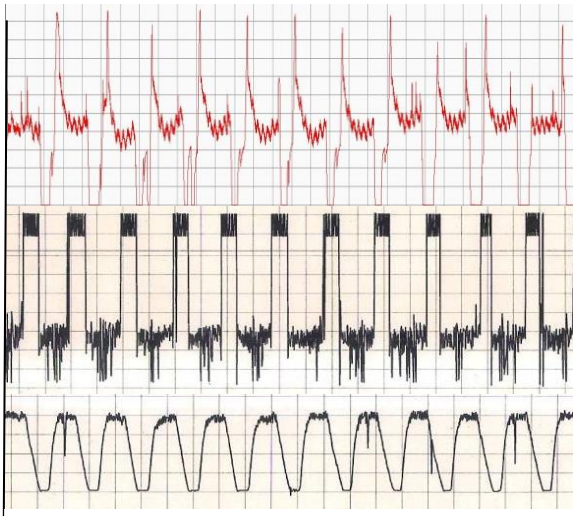


Рис. 12.2. Осцилограми суміщеного впливу зверху до низу: струм; імпульси джерела; імпульси швидкості подачі

Використовується достатньо проста в технічному виконанні розробка з комбінованим впливом на дуговий процес – поєднання імпульсної подачі електродного дроту з модульованим режимом роботи джерела зварювального струму. Частоти генерування імпульсів різні. На рис. 12.3 наведена конструкція напівавтомата для здійснення такої технології, яка з успіхом використовується при веденні зварювальних робіт в положеннях відмінних від нижнього (вертикаль та стеля). Обидві розробки були здійснені в ІЕЗ ім. Є. О. Патона.

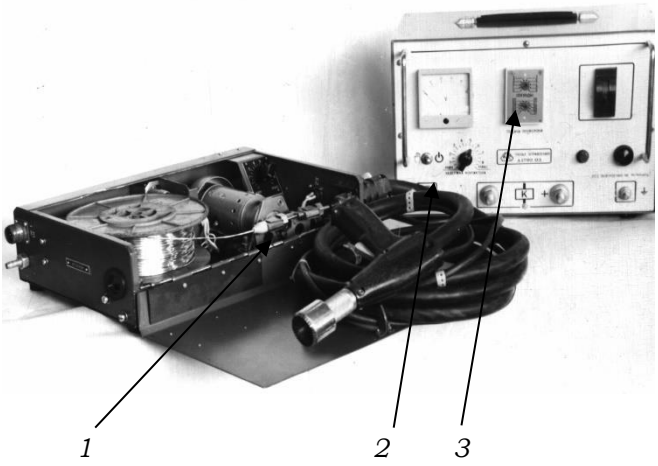


Рис. 12.3. Напівавтомат з комбінацією імпульсної подачі та модулювання режимів зварювання:
1 – механізм імпульсної подачі; 2 – блок управління; 3 – модулятор режимів

Приведені вище алгоритми сумісного функціонування джерела живлення дуги та системи подачі електрода найбільш прості й дієві.

У розробках зварювального обладнання багатьох закордонних виробників (KEMPPY, FRONIUS та інші) є рішення з використанням інших способів сумісної роботи джерела та системи подачі, пов'язані певними структурами зворотних зв'язків і направлених на ефективний вплив у процесі формування та перенесення електродного металу і це достатньо широко відзначено в роботі [13].

Слід згадати роботи ІЕЗ ім. Є. О. Патона [13], у яких здійснюється суміжна робота системи керування подачею захисного газу та джерела зварювального струму. Розглядаються два варіанти реалізації цього виду зварювання. Це використання одного типу газу та більш цікаве чергування подачі двох видів газів. На рис. 12.4 представлені осцилограми процесу зварювання сплавів алюмінію із залученням комбінованої дії. Результати у вигляді швів показані на рис. 12.5. Цей спосіб досить ефективний, але є проблеми з формуванням імпульсів подачі газу.

Важливу роль відіграють різні по конструкції та напрямку дії засоби генерування електромагнітних полів як суміжні дії, що сприяють покращенню процесу перенесення електродного металу, перемішуванню ванни розплавленого металу з ефектом подрібнення кристалітів і поліпшенню якості наплавленого металу.

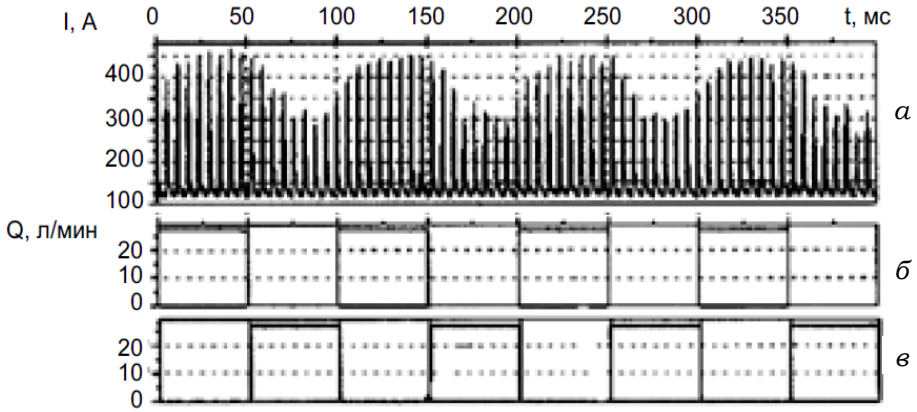


Рис. 12.4. Осцилограми імпульсно – дугового процесу зварювання плавким електродом з імпульсним чергуванням захисних газів:
а – струм зварювання; б – подача аргону; в – подача гелію

Цікавими для розробників та користувачів є розробки які для досягнення нового рівня результатів використовують різні допоміжні механічні, електромеханічні системи що здійснюють коливання зварювального інструменту та коливання ванни. Нами запропонований і практично реалізований спосіб та

комплекс обладнання для наплавлення та зварювання з механічним керованим поперечними щодо направлення руху електрода коливанням ванни розплавленого металу.

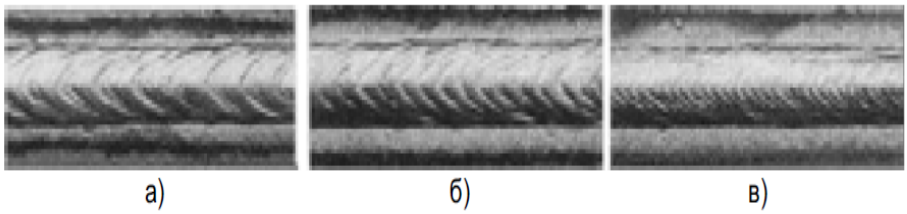


Рис. 12.5. Вид швів при наплавленні алюмінієвого сплаву при різній частоті поперемінної імпульсної подачі захисних газів аргону й гелію:
а – 5 Гц; б – 10 Гц; в – 20 Гц

Експериментальні дослідження цієї розробки довели її ефективність по ряду показників, у тому числі підвищенню механічних якостей наплавленого шару та продуктивності роботи.

Дуже цікавою є розробка системи комбінованого впливу на дуговий процес високочастотних коливань (кГц) електродного дроту й модуляцію режимів зварювання з вираженими результатами щодо зменшення втрат електродного металу на розбризкування і покращенню якості металу шва. Також ефективним є процес з імпульсною подачею електродного дроту та модуляції режимів, а також алгоритми роботи зварювального обладнання із застосуванням імпульсів джерела зварювального струму та модуляції. При цьому використовуються пізні частоти.

Комбінований вплив систем з застосуванням допоміжного обладнання та систем нагріву різного походження. Особливу категорію здійснення комбінованого впливу на дуговий процес є рішення з використанням декількох різних джерел нагріву. Це насамперед рішення, які пов'язані зі стороннім додатковим нагрівом електродного дроту та виробу, який зварюється чи наплавляється.

Слід особливо виділити ті технологічні процеси дугового зварювання та наплавлення, у яких використовуються різні комбінації джерел допоміжного тепла, яке вводиться в металеву ванну.

Можна навести декілька важливих прикладів. Є техніко-технологічні варіанти рішень із певними особливостями реалізації способу наплавлення плазма-МІГ із застосуванням плазмової дуги та електроду який плавиться.

В одному з рішень цього процесу плазмова дуга очищає поверхню деталі від оксидів, іонізований газ стабілізує характер плавлення електрода, яке протікає при меншій густині струму, а отже, при меншому тиску дуги. При цьому знижується проплавлення, зменшується перегрів крапель та випар компонентів електродного металу, який наплавляється. Цей процес може виконуватись із використанням імпульсних складових як основних, так і додаткових систем, чи ця дія може бути окремою.

Плазмове наплавлення електродом, що плавиться (плазма-МИГ) є перспективним процесом для пошарового формування металевих виробів. Цей гібридний

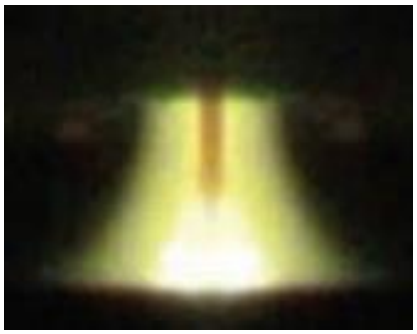


Рис. 12.6. Наплавлення способом плазма-МІГ

процес поєднує в собі два дугові процеси: наплавлення електродом, що плавиться, і плазмове наплавлення. Одночасне співвісне горіння двох дуг: плазмової дуги і дуги з електродом, який плавиться (МІГ дуги) представлено на рис. 12.6. Особливістю процесу плазма-МІГ є те, що кожна дуга живиться від власного зварювального джерела.

Спосіб плазма-МІГ застосовується для зварювання та наплавлення вуглецевих і легованих сталей, кольорових металів і сплавів, різнорідних матеріалів. Цей спосіб використовується для зварювання корпусів і ємностей, відновлювальної та зміцнюючого наплавлення прес-форм і клапанів і т. ін. Як присадочні матеріали застосовують дроти як суцільного перерізу, так і порошкові. Слід вказати на перспективність способу плазма-МІГ при реалізації адитивних технологій.

Проте серед усіх розробок у цьому напрямку отримує поширення в певних галузях ефективний спосіб зварювання, який використовує лазерно-дуговий процес із різними варіантами виконання.

Зазначимо, що поєднання лазерного зварювання з дуговим зварюванням називається "гібридним зварюванням". Це означає, що лазерний промінь та електрична дуга діють одночасно в одній зварювальній зоні впливаючи та підтримуючи один одного.

На рис. 12.7 у спрощеному схематичному вигляді представлений процес лазерно-дугового зварювання

Лазерно-дугове гібридне зварювання може за один прохід зварювати деталі товщиною 15 мм і більше без підготовки кромок, при цьому забезпечується якісне проплавлення.

Швидкість цього способу в 3–4 рази вища, ніж при використанні звичайного дугового зварювання. Процес може забезпечити регулювання термічного циклу. Усі вказані можливості є основними перевагами лазерно-дугового зварювання та є одним із найбільш перспективних технологій зварювання товстостінних конструкцій, але достатня кількість інших особливостей цього процесу, особливо, коли використовуються імпульсні (модульовані) режими їхньої роботи.

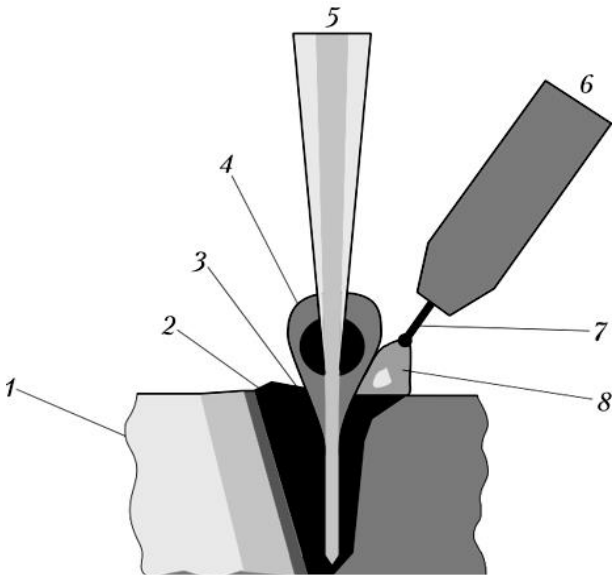
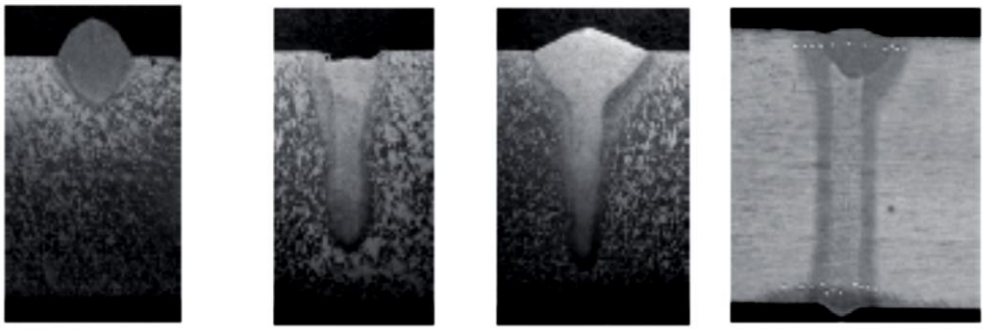


Рис. 12.7. Схема процесу лазерно-дугового зварювання:
1 – затверділий розплав; 2 – розплав;
3 – парогазовий канал;
4 – іонізовані пари металу;
5 – лазерне випромінювання;
6 – пальник;

На рис. 12.8. представлені в порівнянні форми проплавлення при різних способах застосування електродугового лазерного та гібридного зварювання. Видно суттєві відмінності дії зазначених процесів.



1 2 3 4

Рис. 12.8. Форми проплавлення:
1 – дугове зварювання в середовищі захитаного газу; 2 – лазерне зварювання; 3, 4 – гібридне зварювання з різними енергетичними та механічними співвідношеннями параметрів дуги та лазерного променю

Встановлено, що одночасне введення імпульсної модуляції лазерного випромінювання та дугового процесу з рівними частотами 50 Гц для зварювання сталі 08Х18Н10Т забезпечує подрібнення дендритів і зменшенню кута їх нахилу до вертикальної осі шва. Такий вплив впливає на підвищення міцності швів.

Ще однією перевагою гібридного лазерно-дугового зварювання з модуляцією обох складових є зменшення погонної енергії, що зокрема позитивно впливає на процеси теплової деформації виробу, який зварюється.

Можливості, які дає спосіб гібридного лазерно-дугового зварювання передбачають їх широке використання в широкому спектрі машинобудівних галузей.

Гібридне зварювання набуло популярності в таких галузях, як автомобілебудування через присутність у цій галузі алюмінію, у суднобудуванні – оскільки вирішує питання з деформаціями та великим теплопокладанням, при зварюванні труб – зменшуючи обсяг обробки.

Так само цей вид зварювання дозволяє перейти на надміцні сплави та легковагову конструкцію без деформації.

Розглянемо деякі конкретні приклади ефективного застосування гібридного лазерно-дугового зварювання .

При виробництві прямошовних труб високого тиску використовують високоміцні низколеговані сталі товщиною стінки 30 мм і більше застосування способу зварювання кореневих швів, який розглядається, дозволяє замінити до чотирьох проходів дугового зварювання та знизити споживання електроенергії в 2 рази, а електродних матеріалів у 3 рази, а також підвищити продуктивність робіт удвічі.

Окремо можна зазначити, що цей спосіб зварювання з успіхом використовується при зварюванні газо- та нафтопроводів у польових умовах.

Широке застосування гібридно лазерно-дугове зварювання знайшло в автомобілебудівній промисловості. Конструкція автомобіля Audi (рис. 12.9, *б*) виконана новою технологією забезпечує зниження маси до 40 %.

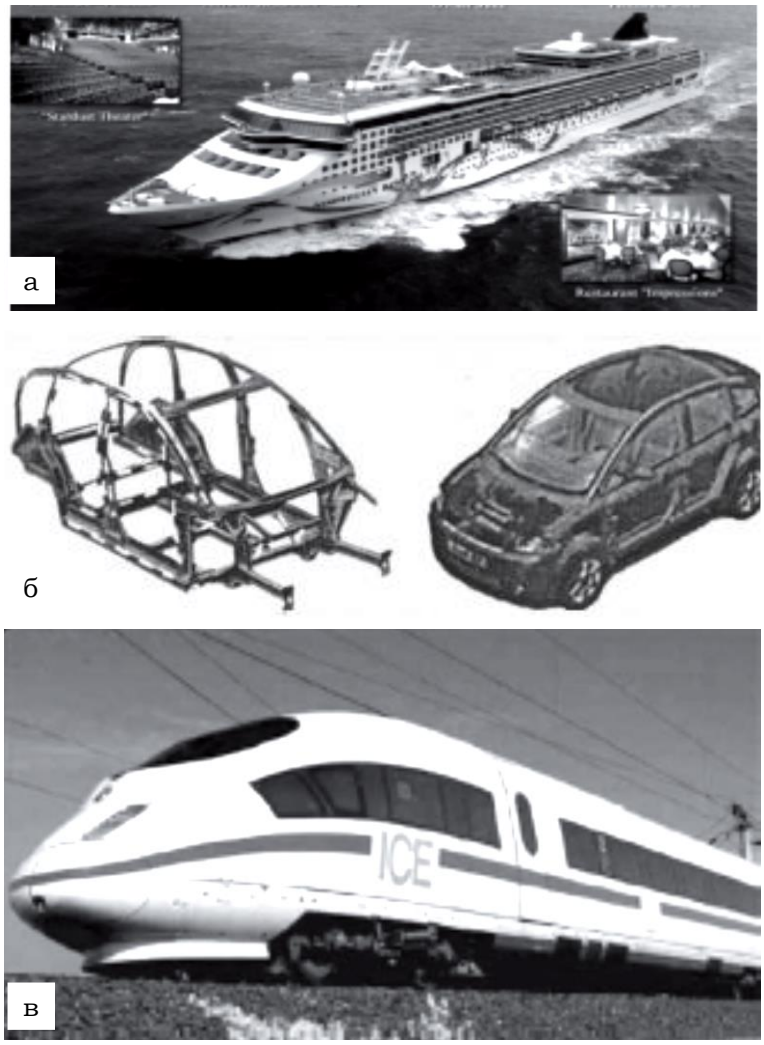


Рис. 12.9. Транспортні засоби при виготовленні яких застосовується гібридне лазерно-дугового зварювання:
1- кораблі; 2- автомобілі,
3- залізничний транспорт

Застосування лазерних комбінованих технологій зварювання в судобудуванні (приклад на рис. 12.9, *а*) показало, що при виготовленні звичайних судових конструкцій продуктивність панелей зі довжиною швів до 16 м збільшується на 100 % внаслідок значного підвищення швидкості зварювання, а також низького тепловкладення і, як наслідок, виключення наступного ручного оброблення, наприклад, правлення.

Порівняння дугового зварювання в середовищі захисних газів з гібридним лазерно-дуговим зварюванням показує, що без втрати стабільності останнє дозволяє зменшити товщину панелей або збільшити відстань між елементами жорсткості. Це дозволяє суттєво зменшити масу конструкційних матеріалів.

Гібридне лазерно-дугове зварювання використовують при виробництві сучасних високошвидкісних потягів, наприклад, таких як Lufthansa Airport Express (рис. 12.9, *в*) (у конструкції 12 вагонів закладено 15 км швів, які зварюються).

Цей спосіб зварювання використовують у мостобудуванні. При цьому полегшується конструкція та збільшується транспортна спроможність за рахунок застосування високоміцних сталей. Є дані про застосування способу зварювання, який розглядається в космічній та авіаційній промисловості, а також в хімічній, енергетиці та в багатьох інших галузях.

Слід наголосити, що лазерно-дугове зварювання як комбінований спосіб зварювання постійно вдосконалюється, має широкі перспективи, у тому числі і за рахунок використання імпульсних алгоритмів роботи складових обладнання, наприклад, імпульсної подачі електродного дроту.

Акустичні (ультразвукові) поля. Зупинимось ще раз дуже коротко на застосуванні акустичних, зокрема ультразвукових полів при веденні електродугових процесів зварювання з використанням електрода, який плавиться, як комбінованого процесу.

Насамперед зазначимо, що сам спосіб високочастотного ультразвукового зварювання досить поширений для певних умов та матеріалів, але при зварюванні металу має суттєві недоліки. Це передусім дуже складне та дороге обладнання, можливість зварювання тільки малих перерізів виробів, необхідність створювати стискання деталей, які зварюються, та інші недоліки використання процесу. Усе це зумовлено недостатнім тепловим ефектом від ВЧ (ультразвукових) коливань.

Для розширення можливостей ультразвукового зварювання можна використати відповідні способів додаткового введення тепла, наприклад, допоміжний місцевий імпульсний нагрів заготовок від окремого зовнішнього джерела тепла. Можна також організувати сумісну роботу ультразвукової установки та електродугового процесу механізованим чи автоматизованим зварювальним обладнанням.

Розглянуто тільки частина обладнання та процеси, які вже відомі і частково набули поширення, але є таки, про які тут не згадано. Можна констатувати, що використання у сфері зварювання та наплавлення суміщених рішень можуть забезпечити досить суттєві результати. Проблема тут є і в створенні та ефективному використанню відповідного обладнання.

Важливо зауважити, що введення в технологічні процеси зварювання та наплавлення допоміжних впливів та суміщення операцій завжди потребує підвищення витрат. Крім цього, треба мати на увазі, що згадані нововведення пов'язані з новими поглядами на системи керування та регулювання тому, розширюється чисельність керованих параметрів.

Комбінований вплив із застосуванням технологічних можливостей та матеріалів. Ще раз підкреслимо, що дугові механізовані процеси зварювання та наплавлення, які реалізуються за допомогою напівавтоматів, дійсно зостаються одними з найбільш поширених технологічних засобів з'єднання, відновлення та зміцнення металів. Таке значне поширення технологічних процесів напівавтоматичного та автоматичного зварювання та суміжних технологій постійно й обов'язково ставить завдання вдосконалення як самих процесів, так і обладнання – його окремих систем напівавтоматів і автоматів загалом. У цьому ж ряді вирішуються задачі покращення технологічних показників електродних матеріалів та засобів захисту зварювальної ванни.

Відома велика кількість технічних рішень, пов'язаних з підвищенням технічного рівня та технологічної ефективності окремих систем напівавтоматів і автоматів, наприклад [21], [27], та тих, які вже розглядалися в попередніх розділах. Суттєві поліпшення формування зварного з'єднання, зниження втрат електродного металу на розбризкування здійснює пошук та вибір оптимальних режимів ведення дугового механізованого процесу. Рішення багатьох задач зварювального виробництва стало можливим завдяки застосуванню нових матеріалів та захисних середовищ, наприклад, при застосуванні сумішей газів.

Тут треба відзначити, що всі вищевказані технічні та технологічні рішення, а також рішення по нових матеріалах можна об'єднати однією загальною метою – енерго- і ресурсозбереження. При цьому ці рішення направлені переважно на такі зміни в процесах переносу електродного металу, які і приводять до поліпшення якості зварного з'єднання та навколошовної зони

(експлуатаційні характеристики), зниження втрат електродного металу, розширення діапазону товщини матеріалу, який зварюється (проплавлення) без застосування допоміжних технологічних прийомів, застосуванню зварювання в різних просторових положеннях.

Аналізуючи вказані направлення у вдосконаленні напівавтоматичних та автоматичних процесів зварювання та наплавлення, можна зазначити, що цей процес на сьогодні сповільнився, і якихось нових значущих розробок немає. Отже, необхідно звернути увагу на використання в механізованих процесах зварювання та наплавлення комбінованих впливів.

Метою цієї частини роботи є розгляд наявних та можливих нових напрямків, які пов'язані з одночасним використанням декількох впливів та суміщення процесів, скерованих на вдосконалення процесів та дугового механізованого й автоматизованого обладнання.

Для деякого спрощення понять віднесемо застосування нових електродних матеріалів та захисних середовищ до впливів. Це певною мірою умовний поділ, хоч у багатьох випадках застосування нових матеріалів і нових захисних середовищ здійснюють досить суттєвий вплив на процеси переносу електродного металу, формування зварного з'єднання і наплавлених валиків. Можливі впливи, які пропонуються чи можуть бути запропоновані для використання в дуговому механізованому обладнанні для зварювання, які засновуються також на використанні нових матеріалів, технологічних рішень тощо.

Насамперед зазначимо, що застосування при зварюванні імпульсно-дугового процесу стало вже звичайною справою, зокрема при зварюванні алюмінію та його сплавів, зварюванні високолегованих сталей. Застосовуються на практиці процеси зварювання з модуляцією режимів у різній технічній реалізації. Є достатньо велика кількість розробок з механізмами імпульсної подачі електродного дроту, у тому числі з практичним виходом. Кожен із цих впливів має визначену дію на процеси зварювання та наплавлення. Так, імпульсно-дугове зварювання і зварювання з імпульсною подачею електродного дроту дозволяє певною мірою керувати перенесенням електродного металу. Модуляція режимів зварювання впливає на регулювання тепловкладень у розплавлений метал – ванну. Однак слід зауважити, що, наприклад, реалізація імпульсно-дугового процесу пов'язана зі значним розходом електроенергії в імпульсі управління переносом електродного металу, при цьому параметри цих імпульсів здебільшого необхідно суттєво завишати для того, щоб гарантувати кероване перенесення. Забезпечення керованого переносу за рахунок імпульсного руху електродного дроту також має визначені обмеження, суть яких полягає в тому, що необхідно одержати великі значення прискорень виконавчих вузлів (рушіїв) механізмів імпульсного подавання, що не завжди здійснено, зокрема в напівавтоматах з довгими шланговими тримачами, які призначені для зварювання в захисному середовищі вуглекислого газу. У зв'язку з вищевказаним було запропоновано використовувати комбінації процесів імпульсно-дугового й імпульсного подавання електродного дроту в простих синхронних варіантах, коли імпульс подачі по часу збігався з імпульсом джерела зварювального струму, але в різних апаратних виконаннях, що викладено в літературі й зазначено в цьому матеріалі. Нами

був запропонований, реалізований і випробуваний варіант комбінованого технічного рішення у вигляді напівавтомату із застосуванням певних рішень з алгоритмізації взаємодій обох імпульсних впливів. У такому напівавтоматі отримання основного результату – досягнення керованого переносу електродного металу з усіма перевагами вирішення цієї задачі відзначилось на суттєвому спрощенні як тракту подачі електродного дроту, так і на імпульсному джерелі зварювального струму. При цьому відзначається значне (25…40 %) зниження затрат енергії імпульсного впливу від зварювального джерела.

Існує розробка ще одного варіанта комбінованого впливу на процеси зварювання та наплавлення. Це застосування імпульсної подачі електродного дроту при реалізації модульованих режимів дугового процесу [25]. Дуже близький до цього способу зварювання є процес з одночасним використанням модуляції зварювального струму з імпульсними алгоритмами роботи джерела зварювання.

Застосування такого напівавтомата із зазначеними алгоритмами функціонування дозволило, зокрема і при цілеспрямовано вибраних параметрах імпульсної подачі (крок, частота, прискорення) та модуляції (частота, струм, напруга в імпульсі та паузі), зварювати без дефектів (провали шву) малі товщини металу без застосування якихось технологічних засобів (підкладки, планки), що раніше було неможливо ніяким іншим видом зварювання електродом, який плавиться, у тому числі поодиноким імпульсно-дуговим процесам та процесам з імпульсною подачею електродного дроту при будь-яких збігах параметрів імпульсного руху. У цьому випадку надійно виконується зварювання в різних, відмінних від нижнього просторово орієнтованих швів. Є ще певні позитивні ефекти, які дозволяють поліпшити структуру та властивості металу шва та навколошовної зони.

Крім цього, застосування комбінації імпульсна подача – модуляція вирішило завдання зміцнення тонкошарового наплавлення лез інструменту малої товщини самозахисними наплавляючи чи електродними дротами (ножі подрібнювачів рослинної маси, шихти, лемеші плугів та ін.).

Сьогодні, з огляду на [21], у практиці будівництва практично відсутня надійна технологія та обладнання для автоматичного зварювання якісних (високі механічні властивості, плавний перехід до основного металу – для металоконструкцій, які працюють в умовах знакозмінних навантажень) кутових швів таврових та інших з'єднань в умовах стелі та у вертикальному положенні з катетом 6…10 мм. Для вирішення цієї задачі запропонований новий спосіб зварювання просторово орієнтованих кутових швів. Цей спосіб включає в себе використання комбінації впливів – модуляції режимів (до перериву процесу) та коливань дуги поперек шва. У цьому випадку зварні шви формуються без підрізів і напливів з плавним переходом до основного металу. вочевидь, що технологічні можливості цього способу зварювання базуються на використанні дуги модульованого чи періодичного впливу з примусовим охолодженням зварювальної ванни. На відміну від раніше розглянутих комбінацій впливів, останній спосіб пропонує установку в склад зварювального апарату допоміжного пристрою для виконання коливань дуги. У такому випадку, як уже розглянуто в попередніх розділах, це механічний пристрій для коливання зварювального пальника, але взагалі можливе коливання дуги магнітним полем.

Цікавими, на наш погляд, є комбінації впливів на дуговий процес з використанням допоміжних силових факторів. Так, для управління формуванням кореневих швів, зокрема їхнього зворотного боку, можна застосовувати модульовані процеси – як засобу формування зворотного боку кореневого шву та підвищення напору захисного газу – як засобу уникнути вгинання шва при зварюванні на спуск неповоротного стику в положенні від 100 до 180^0. У цитованій роботі згадується спосіб зварювання, який дозволяє регулювати проплавлення кореневого шву допоміжною зовнішньою силою, яка створюється за рахунок різниці тисків діючих на зовнішню та внутрішню поверхні ванни кореневого шву.

Є допоміжний силовий вплив газового середовища при зварюванні вузьких зазорів між деталями. У цьому випадку деталі попередньо збирають без зазору, а гарантований зазор отримують шляхом прорізання стику потоком ріжучого газу, який спричиняє тиск на зварювальну ванну. Тут ведеться одночасно два процеси – зварювання та прорізання як методу впливу на ванну розплавленого металу.

Про вплив допоміжного підігріву вильоту електродного дроту на процес дугового зварювання з підвищенням його продуктивності відомо досить давно. Є інший ефект від підігріву електродного дроту. Дріт (електродний чи для присадки) з титану попередньо нагрівають у середовищі азоту до температури, при якій на поверхні дроту створюється нітрид титану. Це забезпечує якісний процес зварювання титану та його сплавів, знижує вимоги до підготовки виробів, що зварюються, спрощує обладнання.

Найважливішими характеристиками дугового механізованого процесу є режими (струм, напруга, швидкість зварювання, швидкість подавання захисного газу), при яких цей процес здійснюється. Тому режим механізованого зварювання та наплавлення вже сам по собі є потужним засобом впливу на технологічний результат. У цьому напрямку виконано велику кількість робіт, але найбільшу зацікавленість для практичного застосування в теперішній час з використанням сучасної елементної бази представляють ті з них, які базуються на виборі та підтриманні режимів за рахунок зворотних з'язків та їх комбінацій. Основні технічні рішення щодо організації зворотних з'язків у дуговому механізованому обладнанні, які як вже згадувалось систематизовано в роботі [13]. Є технічні рішення по організації регулювання режимів в напівавтоматах для зварювання, у яких виділення та використання зворотних з'язків впливає не стільки на режими дугового процесу, а безпосередньо на той результат, який можна отримати при установці та підтриманні цих режимів. Як приклад можна навести ситуацію, коли системою управління напівавтомату з використанням комбінації зворотних з'язків досягається такий вплив на течію процесу зварювання в середовищі вуглекислого газу з короткими замиканнями дугового проміжку, при якому забезпечується визначене оптимальне співвідношення меж часом короткого замикання та часом горіння дуги, що є ознакою стійкості процесу.

Ефективними рішеннями є ті, у яких управління режимами дугового процесу існує разом із цілеспрямованим вибором зварювальних матеріалів. Зупинимось на аналізі впливу режимів дугового процесу, склад шихти порошкових дротів та флюсів на формування наплавлених на нахилені площини горизонтальних валиків, що є актуальним при виконанні згаданих робіт на ряді великогабаритних деталей (гірничо-збагачувальне обладнання, великомодульні шестерні з косими зубами та інше). Зроблено висновок, що керувати формуванням валиків із забезпеченням певних параметрів їх текучості (утриманні на нахиленій поверхні) можна, сполучуючи зміну режимів наплавлення, состава шихти, дроту і флюсів.

У дуговому механізованому обладнанні є технічні рішення, у яких певний вплив на дуговий процес здійснюється за рахунок зміни в процесі характеристик систем, які забезпечують цикл зварювання. Це системи подачі електродного дроту, живлення дуги, створення захисного середовища. Дистанційна зміна їхніх характеристик (швидкість подавання, напруга зварювання) визначає режими роботи дугового обладнання. Тимчасом з'являються розробки, в яких використовуються інші можливості систем механізованого обладнання. Це, наприклад, використання вже згаданих комбінованих характеристик джерел живлення дуги – падаючої характеристики в діапазоні робочих струмів та напруги та пологопадаючої на зниженій напрузі та підвищеному струмі. Така зовнішня характеристика забезпечує поліпшення умов оплавлення кромок та переходу крапель електродного металу у ванну,. а також зменшення розбризкування. З урахуванням цього технічного рішення запропонована технологія зварювання в середовищі вуглекислого газу.

Зміну характеристик витоку захисного газу можна використати комбіновано – для вищезгаданого впливу на зварювальну ванну і для управління перенесенням електродного металу При цьому можуть бути отримані досить суттєві результати. Проблема тут полягає у створенні відповідного обладнання.

Можна відзначити роботи, де різні дугові процеси комбінуються для рішення комплексної задачі. Прикладом тому може слугувати використання дугового загартування з використанням електрода, який не плавиться, та механізованого наплавлення із застосуванням достатньо дешевих порошкових електродних дротів. У цьому випадку виключається застосування високо зносостійких електродних матеріалів із проблемами наступної механічної обробки. Необхідну якість наплавленому шару надає рознесене в часі дугове загартування.

У процесі загартування металорізального інструменту методом наплавлення комбінацію наплавлення та загартування виконували наступним чином (спрощені цикли нагріву та охолодження основного та наплавленого металів виключено). Заготовку інструменту наплавляли на наплавочній установці порошковим електродним дротом ПП-90Х4В18Ф дугою, яка є допоміжною, у захисно-легуючому середовищі азоту. Такий спосіб наплавлення ріжучого інструменту забезпечує отримання високих експлуатаційних властивостей наплавленої ріжучої частини та зміцнення корпусу інструменту за рахунок суміщення (комбінації) процесу наплавлення із загартуванням основного металу.

Особливу увагу приділимо дуговому механізованому обладнанню з використанням управління переносом електродного металу і впливу на дугу (обертання) керованих магнітних полів у часткове доповнення до попередніх глав. Вивчення можливості переносу електродного металу магнітним полем при зварюванні в вуглекислому газі є констатація факту що повне повного управління в цьому випадку отримати неможливо. На наше переконання, тут необхідне використання комбінації впливів, наприклад імпульсна подача - імпульсне повздовжнє магнітне поле.

Зупинимося на технічних рішеннях, які пов'язані з використанням зварювальних матеріалів.

Електродний дріт та захисні середовища. Тут розглянемо такі основні напрями:

- комбінація декількох електродних дротів та присадок;
- комбінація дротів різних конструкцій та складу;
- комбінація захисних середовищ

В останній час одержують розповсюдження апарати для механізованого зварювання декількома електродними дротами.

Зварювальний апарат з двома системами подачі електродного дроту може бути в декількох варіантах:

- одне загальне джерело зварювального струму та один загальний наконечник для підводу струму;
- два джерела зварювального струму та один загальний наконечник для підводу струму;
- два джерела зварювального струму, які синхронізовано та два ізольованих один від одного наконечника для підводу струму.

Показано, що використання дугового механізованого та автоматизованого обладнання з комбінацією двох систем подачі електродного дроту дозволяє більш ніж удвічі збільшити швидкості зварювання чи наплавлення. Визначено, що найкращі ефекти при використанні такого обладнання досягаються при використанні джерел зварювального стуму інверторного типу з імпульсним характером вихідної (зварювальної) напруги. Однак автори розробки застерігають, що застосування високопродуктивних апаратів з двома системами подачі електродного дроту має деякі обмеження, основне з яких полягає в тому, що кількість параметрів зварювання, які необхідно встановлювати та підтримувати в цьому випадку, приблизно в два рази більше, ніж при застосуванні звичайних систем.

Нами запропоновано та технічно реалізовано вже згаданий апарат (у варіантах для напівавтоматичного та автоматичного зварювання і наплавлення під шаром флюсу, в середовищі захисного середовища, з використанням самозахисних електродних дротів) з трьома системами подачі електродного дроту (імпульсна чи плавна), одним загальним джерелом зварювального струму й одним загальним наконечником для підводу струму, який має назву "Триплет" який уже згадувався в попередніх розділах. Цей апарат постійно модернізується. У цьому випадку алгоритми управління зварювального процесу базуються на

переключенні роботи механізмів подачі електродного дроту з імпульсною подачею. При здійсненні згаданої розробки, зокрема при зварюванні в середовищі вуглекислого газу були поставлені та вирішені такі основні завдання:

1. Суттєве збільшення продуктивності процесів зварювання та наплавлення.

2. Цілеспрямована зміна форми зварного з'єднання та співвідношення наплавленого та проплавленого металів.

3. Зниження втрат електродного металу.

4. Покращення механічних властивостей шва.

Тут особливо слід відзначити, що використання більш тонких електродних дротів, які за продуктивністю не поступаються одному дроту більшого діаметра при інших рівних умовах, веде до підвищення проплавлення основного металу. При цьому ширина шва не зменшується, оскільки зона термічного впливу дуги не звужується.

Видаються цікавими технічні рішення, які пов'язані з обертанням дуги за рахунок маніпуляцій з електродним дротом без впливу допоміжних джерел енергії. Цікаво в цьому напрямку для наступних міркувань технічне рішення, у якому використовуються два електродних дроти, скручені між собою. Один з них має більший діаметр, ніж другий. Тонша проволока навивається на товсту по спіралі. У процесі зварювання дуга збуджується між основним металом та кінцями обох дротів. Дріт меншого діаметра плавиться швидше. У процесі плавлення кінець дроту малого діаметра безперервно звершує круговий рух навколо дроту більшого діаметра. Обертання дуги при згаданій комбінації електродних дротів дозволяє рівномірно формувати шов, зокрема при зварюванні у вузький зазор та більш надійно проплавляти бокові кромки, запобігаючи появі непроварів. Такий спосіб рекомендовано для застосування при зварюванні по вузькому зазору.

Порівняно давно запропоновані технічні рішення, засновані на застосуванні комбінацій двох електродних дротів різних марок (один із них може бути присадкою), де один із дротів основний, а другий – додатковий. Застосування наплавлення одночасно двома дротами різних марок дозволяє в значних межах регулювати хімічний склад металу наплавлення та підвищити продуктивність процесу. Це дозволяє більш економно та ефективно вести наплавлення, що зміцнює виріб, а в багатьох випадках наплавляти та зварювати метали різних складів і навіть різні метали.

Можливе використання допоміжного дроту як присадки при механізованому наплавленні під флюсом як варіант легування наплавленого шару. При цьому збільшення відносної маси знеструмленої присадки підвищує коефіцієнт переходу легуючих елементів, стабілізуючи хімічний та фазовий склад шарів багатошарового наплавлення, знижує відносну масу флюсу та питому витрату енергії.

Відомо, що подача любого газу в зону горіння дуги може значною мірою змінити фізичні та металургійні процеси зварювання та наплавлення. Ці властивості інертних та активних газів цілеспрямовано використовуються для організації захисного середовища при дуговому процесі з використанням

електрода який плавиться. Суттєвий ефект дає застосування при зварюванні в захисному середовищі у вигляді комбінацій різних газів. Так відомі відносно недорогі двох та трьох компонентні суміші, використання яких веде до підвищення стабільності процесу зварювання. Використання чотирикомпонентної суміші газів на основі аргону, відомої як суміш Т.І.М.Е., дозволяє створювати у зварювальній дузі особовий вид плазми, яка забезпечує стабільність горіння дуги зі струмом більше ніж 1000 А. Такий високопродуктивний процес дугового зварювання в захисних газах характеризується особовим видом переносу електродного металу – струйно-обертовий перенос [11], який відзначається не тільки особливим характером переносу електродного металу, але й суттєвим впливом на результати зварювання та наплавлення.

Зварювання алюмінію [25] електродом, який плавиться, в аргоні стаціонарною дугою характеризується підвищеним рівнем шпарин у метала шва. Для покращення якості шва при цьому запропоновано комбінований процес використанні імпульсно-дугового зварювання в середовищі гелію. Це одне з перспективних направлень, коли комбінуються апаратні засоби із застосуванням нових захисних середовищ та зварювальних матеріалів.

Так, використання імпульсно-дугового процесу при зварюванні електродом, який плавиться і який є активованим багатокомпонентними сполученнями на базі лужних та лужноземельних металів (електродний дріт АП-АН 5) в середовищі вуглекислого газу на змінному струмі дозволяє забезпечити горіння дуги, мілкий крапельний перенос електродного металу, гарне формування шва, високі значення коефіцієнтів розплавлення та низький рівень розбризкування [10].

Значний інтерес викликає застосування при зварюванні активних флюсів як діючого засобу для суттєвого поліпшення показників продуктивності, зниження затрат на підготовчі збірно-зварювальні роботи при монтажу, а також покращення якості зварних з'єднань. У роботі [22] розглянуто варіанти застосування активних флюсів при зварюванні електродним дротом, який плавиться, типу Св-08Г2С в аргоні, вуглекислому газі та в двох компонентній комбінації захисних газів. Відзначено ефекти збільшення проплавлення, зміни форми шва. Зниження погонної енергії (більш ефективне використання енергії зварювальної дуги), поліпшення механічних властивостей шва. Тут також розглядаються комбінації впливу на зварювальний процес. Крім вказаного, вочевидь, можливе застосування активуючого флюсу при різних режимах: безперервного, імпульсного, з коливаннями електродного дроту, як це, наприклад, запропоновано в роботі [23].

Слід особливо виділити ті технологічні процеси дугового зварювання та наплавлення, у яких використовуються різні комбінації джерел допоміжного тепла, яке вводиться у ванну.

Є особливості декількох варіантів реалізації способу наплавлення плазма-МІГ із застосуванням плазмової дуги та електрода, який плавиться. В одному з варіантів цього процесу плазмова дуга очищає поверхню деталі від оксиді, іонізований газ стабілізує характер плавлення електрода, яке протікає при меншій густині струму, а отже, при меншому тиску дуги. При цьому знижується

проплавлення, зменшується перегрів крапель та випар компонентів електродного металу, який наплавляється. Задачі збільшення швидкості зварювання та розширення товщини деталей, які зварюються, можуть бути вирішені при розробці комбінованих способів, які передбачають використання двох або більше джерел у зоні зварювання.

Цікавим видається одночасне використання в процесі зварювання комбінації впливів, які здійснюються технічними засобами зварювального обладнання (механізми подачі, джерела струму) та новими матеріалами (електродними дротами, захисними середовищами, в тому числі багатокомпонентними та активуючими). Аналіз патентної та технічної літератури показує, що таких досліджень практично не проводилось (виключаючи згадану роботу зі струйно-обертовим перенесенням у суміші T.I.M.E), а ці роботи, безперечно, потрібно віднести до числа перспективних.

Можна також відзначити, що розробка та впровадження гібридних технологій, що поєднують у собі пошарове формування з подальшою термічною та механічною обробкою, є одним із перспективних шляхів розвитку машинобудування.

Важливо зауважити, що введення в технологічні процеси зварювання та наплавлення допоміжних впливів та суміщення операцій завжди потребує підвищення витрат. Крім цього, слід мати на увазі, що згадані нововведення пов'язані з новими поглядами на системи керування та регулювання, тому розширюється число керованих параметрів. Це, крім згаданого, потребує обслуговування зварювального обладнання на новому рівні з певною кваліфікацією діючого та ремонтного персоналу, а також технологічного персоналу.

Зауважимо, що запропонована робота не претендує на повноту викладу матеріалу з цього питання, оскільки в цьому напрямку дійсні багато технічних і технологічних рішень. Частка розробок не увійшла до цього аналізу через складності відтворення, незіставної з ефектом від їх використання. Робота лише в деякій частці систематизує розробки з використання комбінованих дій і поєднанню процесів при вдосконаленні техніки й технології дугового зварювання і наплавлення, а також, по можливості, дає відповідь на питання за наслідками використання вказаних дій у зварювальному й відновному виробництвах.

Розглянуто тільки частину обладнання та процеси, які вже відомі й частково набули поширення, але є такі, про яких у цій роботі не згадано. Таким чином, можна констатувати, що використання у сфері зварювання та наплавлення суміщених рішень можуть забезпечити досить суттєві результати. Проблема тут є і в створенні та ефективному використанню відповідного обладнання.

Крім цього, слід мати на увазі, що згадані нововведення пов'язані з новими поглядами на системи керування та регулювання, тому що розширюється чисельність керованих параметрів.

Усе це передбачено в напрацюваннях учених в галузі зварювання, зміцнюючого та відновленого виробництв, наприклад, як зазначено в [19] та багатьох інших вітчизняних та закордонних роботах.

Література до розділу 12

1. August F. Mans. Synchro – arc metal transfer / Union Carbide Corp. Патент США, кл. 219-137 № 3581053, заявл. 5.12.67., опубл. 25.05.71.

2. Beal R. Mechanical electrode oscillation in deep transfer welding / R. Beal, R. Taylor // Metal Construction and Brit. Weld. 1. – 1969. – Vol. 1, № 4. – Pp. 174-178.

3. Dilthey U. Schutzgase zum MAG – Hochleistungaschweiβen / Dilthey U. et al. // Schweiβen & Schneiden. – 1995. – Vol. 47. № 2. – S. 118-123.

4. Michie K. Twin-Wire GMAW: Process Charac-teristics and Applications / Ken Michie, Stephen Blackman, T.E.B. Ogunbiyi // WELDING JOURNAL. – MAY 1999. – Pp. 31-34.

5. Twist arc welding process / Kimura S., Godai T., Ichihara I., Nagai Y., Kashimura T. // IIW. Doc. №XII-B-258-79. S.I. Weld. Div. Kobe Steel, 1979. – 25 pp.

6. Real-time controlled short-circuiting metal transfer in CO2 arc welding / Q. Li, Q. Wang, S. Yang, I. Zin // Abstracts of papers. Presented at 78 th American welding society. – Los-Angeles, 1997.

7. Аснис А. Е. Полуавтоматическая сварка с увеличенным вылетом электрода в смеси углекислого газа и кислорода / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман, В. Р. Покладий // Автомат. сварка. – 1972. – № 4. – С. 75.

8. Багров В. А. Дуговая наплавка системы Fe-C-Cr-Mn-Ti-Si с применением дополнительной присадки / В. А. Багров, В. Н. Кальянов //Автомат. сварка. – 1999. – № 5. – С. 62-63.

9. Лебедєв В. О. Суміщення процесів та комбіновані при вдосконаленні техніки та технології дугового зварювання та наплавлення / В. О. Лебедєв, М.М. Бриков, Н.А. Макаренко // Міжнародна науково-технічна конференція „Міцність і довговічність сучасних матеріалів та конструкцій“ присвячена 70-річчю від дня народження член-кореспондента НАН України, проф. Яснія Петра Володимировича. – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 134–136.

10. Воропай Н. М. Влияние легкоионизируемых добавок на характеристики процессов сварки в углекислом газе на переменном токе и импульсной дугой / Н. М. Воропай, Н. И. Костенюк, С. И. Макаревич // Автомат. сварка. – 1998. – № 7. – С. 11-14.

11. Герольд Г. Особенности дуговой сварки в защитных газах со струйно-вращательным переносом электродного металла / Г. Герольд, И. Помранке, Г. Цвинкерт // Автомат. сварка. – 1998. – № 11. – С. 40-47.

12. Жерносеков А. М. Комбинированное импульсное воздействие защитных газов и сварочного тока при сварке плавящимся электродом / А. М. Жерносеков, В. Н. Сидорец, С. А. Шевчук // Сварочное производство. – 2013. – № 12. – С. 9-13.

13. Лебедев В. А. Влияние направляющего канала сварочного полуавтомата на параметры импульсной подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев // Автомат. сварка. – 1999. – № 2. – С. 45-48.

14. Лебедев В. А. Тенденции развития механизированной сварки с управляемым пе-реносом электродного металла (Обзор) / В. А. Лебедев // Автомат. сварка. – 2010. – № 10. – С. 45-53.

15. Лебедев В. А. Новые механизмы подачи электродной проволоки / В. А. Лебедев, В. Ф. Мошкин, В. Г. Пичак // Автомат. сварка. – 1996. – № 5. – С. 39-44.

16. Направления разработок механизмов подачи электродной проволоки в современных аппаратах для дуговой сварки / А. И. Чвертко, М. Г. Бельфор, В. Е. Патон и др. // Автомат. сварка. – 1975. – № 10. – С. 56-60.

17. Особенности структурных превращений при сварке низколегированных сталей пульсирующей дугой в среде углекислого газа / В. Ф. Грабин, А. В. Денисенко, В. Г. Ковтуненко и др. // Автомат. сварка. – 1998. – № 7. – С. 15-25.

18. Патент 3137, B23 K9/173, Украина. Способ дуговой механизированной сварки / В. С. Базаров, Л. Н. Копылов, В. А. Ковтуненко и др. – Бюл. № 5-1, 1994.

19. Патон Б. Е. Проблемы сварки на рубеже веков / Б. Е. Патон // Сварка и родственные технологии – в 21 век : сб. тр. международ. конф. – Киев : НАНУ, ИЭС им О. Е. Патона, 1998. – С. 5-12.

20. Оборудование для дуговых механизированных процессов сварки и наплавки / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, С. И. Притула // Автоматизация и современные технологии. – 2002. – № 8. – С. 33-41.

21. Сварка в CO2 с питанием от источников тока с комбинированной внешней характеристикой / А. Г. Потапьевский, А. П. Карпенко, В. С. Гринюк, В. Г. Капшевич // Сб. научн. трудов Импульсные процессы сварки. – Киев, 1988. – С. 68-73.

22. Применение активирующего флюса при сварке неповоротных стыков трубопроводов при монтаже атомных электростанций / М. М. Савицкий, Г. М. Мельничук, В. Л. Карида и др. // Автомат. сварка. – 1981. – № 11. – С. 71-72.

23. Применение активных флюсов и активных газов для повышения эффективности дуговой и плазменной сварки / Б. Е. Патон, М. М. Савицкий, В. С. Гвоздецкий и др.// Автомат. сварка. – 2003. – № 5. – С. 3-6.

24. Рябцев И. А. Формирование наплавленного металла на наклонные и вертикальные поверхности / И. А. Рябцев, Ю. М. Кусков, Я. П. Черняк // Автомат. сварка. – 2000. – № 4. – С. 23-26.

25. Современные способы дуговой сварки алюминиевых сплавов (Обзор) / А. Я. Ищенко, И. В. Довбищенко, В. П. Будник и др. // Автомат. сварка. –1994. – № 5-6. – С. 35-37.

26. Чигирёв В. В. Технологические особенности плазма-МИГ наплавки / В. В. Чигирёв, К. А. Кондрашев // Сборник трудов международной конференции. – 2000. – С. 139.

27. Шелягин В. Д. Тенденции развития лазерно-дуговой сварки / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин // Автоматическая сварка. – 2002. – № 6. – С. 28–32.

РОЗДІЛ 13

Сертифікація. Проблеми освоєння нової зварювальної техніки та техніки для наплавлення

Відомості про сертифікацію зварювального обладнання. Сертифікація – це дуже важлива процедура, особливо для нового інноваційного обладнання для зварювання та наплавлення і його специфічних вузлів. Це стосується як споживачів вітчизняного зварювального обладнання, так і споживачів обладнання, яке виготовлено за кордоном, а споживається і працює в Україні.

Сертифікація зварювального обладнання та обладнання для наплавлення належить до числа необхідних процедур, які передують виходу автоматів, напівавтоматів, окремих вузлів та блоків на ринок і далі у виробництво, де вони експлуатуються. Проблеми сертифікації продукції тією чи іншою мірою стосуються всього ланцюга тих, хто її створює: розробників, конструкторів, виробника та споживача. Сертифікація передбачає підтвердження третьою стороною показників, характеристик та властивостей продукції на основі випробувань, атестації виробництва та сертифікації систем якості.

Розрізнюють обов'язкову сертифікацію, яка проводиться з метою відповідності продукції чинним законодавчим актам, вимогам нормативних документів, міжнародним та національним стандартам інших держав, а також добровільну сертифікацію, яка відбувається на відповідність вимогам, які не віднесені до обов'язкових. У випадку добровільної сертифікації відповідність всім обов'язковим вимогам виконуються обов'язково. Нормативні документи, яким повинна відповідати обов'язкова сертифікація повинні бути зареєстровані у встановленому порядку. При добровільній сертифікації нормативні документи, яким повинен відповідати цей тип сертифікації погоджується між виробником продукції та її споживачем.

Лугове механізоване обладнання будь-якого призначення належить до тієї групи продукції, які підлягають сертифікації в Державній системі сертифікації (далі Система). Це стосується до всіх груп матеріалів для зварювання.

Обов'язкові вимоги, які ставляться до продукції органами Державної сертифікації, це вимоги встановлені чинними законодавчими актами чи нормативними актами, наприклад, забезпечення безпеки життю та здоров'ю людей, охорони довкілля, взаємозамінність, сумісність і т. ін.

Сертифікат та/або знак відповідності свідчить про те, що контроль за відповідністю продукції вимогам стандартів здійснюється органами зі сертифікації продукції, органи зі сертифікації систем якості, випробувальні лабораторії тощо. На сертифіковану в Системі продукцію видається сертифікат відповідності та наноситься відповідний знак. Система встановлює таке розподілення відповідальності за сертифіковану продукцію:

- виробник несе відповідальність за невідповідність сертифікованої продукції вимогам нормативних документів, а також застосування сертифікатів та знаків відповідності з порушенням правил Системи;

- продавець несе відповідальність за відсутність сертифіката або знака відповідності за продукцію, що реалізується;

- випробувальна лабораторія (центр) несе відповідальність за недостовірність та необ'єктивність результатів випробувань продукціє яка сертифікується;

Технічний нагляд за виробництвом сертифікованої продукції в Системі виконує орган зі сертифікації цієї продукції або за дорученням інші організації.

Укрупнено проведення сертифікації в загальному випадку повинно містити таку інформацію:

- представлення та розгляд заявки на сертифікацію продукції;

- аналіз представленої документації:

- прийняття рішення по поданій заявці з визначенням схеми (моделі) сертифікації;

- обстеження виробництва, продукція якого сертифікується;

- атестація вказаного виробництва;

- відбір, ідентифікація зразків продукції та їх випробування;

- аналіз отриманих результатів та прийняття рішення про можливість видачі сертифіката відповідності;

- видача сертифіката відповідності; представлення ліцензій та занесення сертифікованої продукції в Реєстр Системи;

- визнання сертифіката відповідності, який видано іноземним органом сертифікації.

Підтвердження факту сертифікації продукції може здійснено одним зі способів:

- оригінал сертифіката відповідності;

- знак відповідності, який встановлюється виробництвом продукції після відповідного рішення;

- копія сертифіката відповідності, яка завірена органом, який ухвалив рішення про його видачу;

- інформація в документації, яка додається до продукції при її постачанні споживачу.

У нормативних документах на продукцію, які використовуються під час проведення обов'язкової сертифікації, повинні бути чітко та однозначно визначені вимоги, які підтверджуються сертифікацією. Це стосується методів, умов, обсягу та порядку випробувань продукції, які переважно в повному обсязі викладаються в технічних умовах, які спираються на відповідні стандарти. У зв'язку з цим ще на стадіях розробки та конструювання дугового механізованого та автоматичного обладнання слід особливо ретельно підходити до питань його сертифікації та наступного технічного нагляду за його виробництвом, якщо стоїть завдання тиражування цього обладнання у вигляді серії чи партії.

Необхідно знати умови виробництва, де зварювальне обладнання того чи іншого типу буде виготовлятися. Сертифікація продукції передбачає атестацію виробництва з метою оцінки технічних можливостей підприємства-виробника забезпечити стабільний випуск продукції, яка відповідає вимогам нормативних документів, та видачі рекомендацій щодо періодичності випробувань.

Важливими при проведенні сертифікації продукції є питання, які пов'язані з проведенням технічного нагляду за сертифікованою продукцією з визначеною періодичністю. Цей нагляд здійснюють органи, які ухвалили рішення про сертифікацію продукції. При цьому виконується комплекс робіт з основними направленнями:

1. Стан документації.

1.1. Аналіз стану нормативної, конструкторської та технологічної документації.

1.2. Наявність змін у документації, які можуть вплинути на безпечність продукції.

1.3. Наявність протоколів типових випробувань продукції для підтвердження відсутності впливу внесених змін.

2. Стан контролю та випробувань.

2.1. Аналіз стану вхідного контролю сировини, матеріалів, комплектуючих.

2.2. Аналіз стану контролю технологічних параметрів.

2.3. Аналіз контролю готової продукції по показниках безпеки.

2.4. Стан контрольного, вимірювального та випробувального обладнання.

2.5. Відбір та ідентифікація зразків сертифікованої продукції для проведення контрольних випробувань.

2.6. Аналіз результатів контрольних випробувань сертифікованої продукції.

3. Стан технологічного обладнання.

3.1. Відповідність технологічного обладнання, яке використовується, вимогам документації.

3,2 Наявність та виконання графіка планово-попереджувальних робіт.

3.3. Наявність замін технологічного обладнання.

4. Стан технологічної дисципліни.

5. Стан зберігання, упаковки та відвантаження.

6. Аналіз претензій та рекламацій.

7. Контроль за виконанням корегувальних дій за результатами попередніх перевірок.

8. Контроль над правильністю використання сертифікату та знака відповідності.

Більшість із вказаних робіт проводиться також і на етапах початкових випробувань продукції при її сертифікації, а також при атестуванні виробництва.

З вищезазначеного очевидно, що тільки тісний зв'язок та співробітництво всіх розробників, конструкторів та виробників продукції, а в нашому випадку – дугового механізованого та автоматичного обладнання може забезпечити комплексне вирішення складної задачі – його сертифікації, починаючи з моменту створення конструкторської документації до її постійної перевірки при нагляді за виготовленням.

Основою для створення наступної нормативної документації можна використовувати стандарти, які наведені у вищевикладеному матеріалі з урахуванням застосування їх необхідних пунктів.

Особливу увагу слід звернути на добровільну сертифікацію. Сертифіковане таким чином дугове зварювальне обладнання може бути особливо престижним як для розробника й виробників, так і для споживачів.

Ухвалюючи рішення про добровільну сертифікацію, необхідно виявити ті споживчі якості автоматів та напівавтоматів, досягнення і підтримання на високому рівні яких свідчило б про високий рівень обладнання, здатності підприємства-виробника гарантувати постійне підтвердження цього рівня. При цьому споживач завжди повинен бути впевненим у високій якості зварювального обладнання його гарантованих технологічних можливостях. Визначимо той можливий перелік параметрів технічних і технологічних характеристик, які з огляду на досвід розробок матеріалів виставок та вивчення споживчого попиту можуть бути внесені в склад нормативної документації для добровільної сертифікації.

9. Збудження дугового процесу не більш ніж після 1-2 коротких замикань без відстрілу “шматка” дроту.

10. Ведення дугового процесу любого призначення (зварювання, наплавлення, різання сталі, алюмінію та його сплавів) з мінімально можливим і гарантованим, а за дотриманням певних умов розбризкування електродного металу. Наприклад, при зварюванні у вуглецевому газі.

11. Можливості зварювання та наплавлення мінімально можливих товщин метала без пропалення, зокрема й без застосування допоміжних підкладок.

12. Можливість роботи від джерела живлення дуги будь-якої конструкції та будь-якого ступеня технічної досконалості. Вимоги до джерела: визначений вигляд вольт-амперних характеристик та його потужності.

13. Можливість суміщення в одній конструкції декількох функцій дугового механізованого та автоматичного обладнання.

14. Можливість зниження вимог до кваліфікації оператора.

15. Гарантований захист (засобами, які входять у комплект обладнання) оператора та навколишнього середовища від шкідливого аерозолю як наслідку дугового процесу.

16. Гарантована товщина та ширина різу металу у напівавтоматів, які призначені для дугового різання спеціальними порошковими дротами.

17. Необхідних для споживача якостей та технологічних можливостей може, як ми вже впевнились вище, може бути більше, і частина з них з чітким кількісним визначенням параметрів може входити до складу нормативної документації для добровільної сертифікації.

Освоєння нової зварювальної техніки та техніки для наплавлення та її обслуговування. Один із найефективніших і найпростіших способів досягти високої якості зварювання – це правильне обслуговування зварювального обладнання. Обслуговування зварювального апарату потребує мало часу та в довгостроковій перспективі дозволяє заощадити багато часу та грошей завдяки більшому терміну служби обладнання, якості зварювання та ефективності.

Навіть найякісніший і надійніший зварювальний апарат може вийти з ладу та вимагати ремонту. Якщо зламався зварювальний автомат, напівавтомат, робот чи навіть інвертор – ремонт необхідний. Вартість ремонту здебільшого коштує значно дешевше, ніж купівля нового зварювального обладнання.

Придбання нового зварювального обладнання з погляду керівництва замовника – це очікуване потенційне підвищення продуктивності, зниження браку, зменшення експлуатаційних витрат, отримання швидкого та явного економічного ефекту на зварювальному виробництві та на виробництвах з відновлення та зміцнення вузлів та деталей. Це все має бути так, але для отримання бажаного результату потрібно пройти шлях правильної адаптації та впровадження нового обладнання на конкретному виробництві. Не секрет, що багато зварювальників, особливо старшого покоління, з побоюванням ставляться до всього нового, вони бояться, що можливо доведеться міняти якісь свої звички, що вже склалися, перебудовуватися, хтось їх навчатиме, тоді як вони вважають, що і так все знають. Саме відторгнення з боку зварників всього нового і незвичного є головною проблемою, яка може якщо не звести до мінімуму ефект від придбання нового обладнання, то, принаймні, значно затягнути і відстрочити досягнення результату. Так само до проблем можна ще віднести те, що нове обладнання має дуже широкі можливості, які можуть при правильному підході відкрити нові перспективи для збільшення продуктивності при переході на інші технологічні процеси (наприклад, перехід від класичної механізованої MIG зварювання до імпульсних процесів. Наприклад, Pulsed MIG) має більшу універсальність (наприклад, за рахунок мультипроцесності сучасних зварювальних систем), але для максимального використання можливостей обладнання треба їх розуміти і планувати правильне їх застосування при вирішенні поточних і перспективних виробничих завдань. Нове обладнання може бути ще одним інструментом для заохочення перспективних зварювальників, які хочуть розвиватися у своїй професії, цікавляться питаннями підвищення своєї кваліфікації, збільшення продуктивності та зниження браку. Передача обладнання насамперед для освоєння таким співробітникам підкреслить зацікавленість керівництва підприємства в результатах їхньої праці та високій довірі. Тільки вирішення озвучених проблем у сукупності здатне виправдати всі очікування, що покладаються на нове обладнання, і навіть перевершити їх.

Основні проблеми, які можуть виникнути при впровадженні нового обладнання:

- людський чинник у вигляді небажання зварників вчитися чогось нового та їх прагнення працювати по-старому;

- незнання всіх можливостей нового обладнання та перспектив його максимального залучення у виробничому процесі;

- відсутність розуміння керівництва необхідність стимулювання фахівців, що у процесі впровадження нового обладнання

Якщо не вирішувати ці проблеми і пустити процес впровадження нового обладнання на самоплив, то позитивного результату, на який очікує керівництво, буде складно досягти. Тут невипадково звертається увага на термін «нове обладнання», розуміючи, що це щось принципове нове, а не просто заміна посту, що вийшов з ладу, на такий же або додаткове придбання вже експлуатованих моделей для організації нових робочих місць.

Рис. 13.1. Робоча кабіна для зварювальників

Коротко зупинимось на сучасному робочому місці зварювальника - оператора. Для зварювальника, який працює напівавтоматом це місце стаціонарне і виглядає приблизно як на рис. 13.1.

Робоче місце обов'язково комплектується фільтровентиляційним апаратом.

Сучасні фільтровентиляційні установки забезпечують не тільки захист оператора від шкідливих аерозолів, а також захист навколишнього середовища. З-поміж кращих систем такого типу слід згадати KEMPPY.

Однак, крім стаціонарних постів для зварювання, є безліч постів, які організовуються безпосередньо біля об'єкта зварювання чи наплавлення. Робоча вентиляція та електробезпека є пріоритетними факторами для проведення зварювальних робіт.

Загальні принципи організації робочого місця – кабіни зварника. Вона повинна бути:

- без даху (стелі);
- з негорючих матеріалів на металевому каркасі;
- перегородки піднято від підлоги (зазор залежить від типу зварювання);
- площею не менше 3 м^2 у стаціонарному варіанті;
- з працюючою припливно-витяжною вентиляцією над робочим столом (суворо обов'язково);
- при цьому ширина проходів від робочого стола не менше метра.

Площа посту повинна дозволяти розмістити необхідну для зручного розміщення необхідного обладнання: зварювального столу (обов'язковий для виробів до 15 кг), джерела струму, стільця (для потокових та конвеєрних ліній зварювання), тумби (ящика) під інструмент та електродні матеріали. Необов'язкового: шафки, стелажу, балона із захисним газом (якщо він потрібен за технологією).

Устаткування нестаціонарного робочого місця зварювальника.

На рис. 13.2 показана робота зварників у нестаціонарних умовах при виготовленні довгомірних металоконструкцій.

Тут дещо простіше. На вулиці тимчасове робоче місце зварювальника має бути захищене від опадів. У приміщенні місце роботи зварювальника має бути закрите вогнетривкими щитами, мати необхідні за типом зварювання засоби пожежогасіння.

При роботі в замкнутих і важкодоступних місцях необхідно обладнати місцеве освітлення на безпечній напрузі 12 В для створення освітленості не менше 30 лк.

Рис. 13.2. Робота зварників у нестаціонарних умовах при виготовленні довгомірних металоконструкцій

Навчання зварників та наладчиків.

Настійно рекомендується обов'язково проводити навчання зварювальників та наладчиків. Яким би добрим, технологічним і простим, на наш погляд, не було обладнання, кінцевий результат буде тільки тоді, коли люди перестануть його побоюватися або боятися, що вони можуть його зламати, зрозуміють, що воно дає можливість досягти кращого результату з меншими зусиллями з їхнього боку. Якщо керівництво замовника ще й додатково стимулює своїх співробітників, які освоюють нове обладнання, то очікуваний результат проявиться максимально швидко.

Пропоновані рішення.

• навчання зварників для зняття бар'єру побоювання нового та незвичного обладнання, появи впевненості в його надійності, простоті та продуктивності, відкриття потенційних плюсів від його використання у вигляді збільшення виробітку з меншими зусиллями, зниження браку, можливості для професійного зростання;

• навчання наладчиків для правильної організації поточного та планово-попереджувального обслуговування обладнання з урахуванням його особливостей;

• обговорення з технологічним персоналом перспектив максимального використання можливостей обладнання та підвищення коефіцієнта його задіяності у виробничому процесі;

• обговорення з керівництвом питань комплексного підходу до впровадження нового обладнання в існуючий технологічний процес, необхідності активного залучення персоналу Замовника в цей процес та його зацікавленості в досягненні поставлених цілей у максимально короткі терміни.

Покажемо на прикладі введення в експлуатацію обладнання Miller Electric.

Зважаючи на досвід, навчання зварювальників та наладчиків з налаштування, роботи та правильної експлуатації обладнання Miller Electric займає в середньому від 2 до 4 годин залежно від моделі. Консультації з технологічних можливостей застосування нового обладнання можуть бути проведені як у процесі навчання зварювальників і наладчиків, так і дистанційно в межах технічної підтримки обладнання, що надається. Після навчання персоналу - зварювальників позитивний і швидкий результат роботи нового обладнання буде гарантований!

Зварювальне обладнання Miller Electric є інтуїтивно зрозумілим, простим, максимально доброзичливим та ергономічним, оскільки воно створене зварювальниками для зварювальників.

Усі технологічні параметри розподілені на кілька груп (рівнів) залежно від затребуваності та частоти зміни. На панелі джерел/механізмів подачі знаходяться тільки органи оперативного управління, такі як вибір режимів, регулювання напруги (довжини дуги), сили струму (швидкості подачі), доступ до осередків пам'яті, а також індикатори для відображення значень параметрів, час передустановки та зварювання. Всі органи управління кнопки й регулятори дозволяють проводити налаштування без зняття зварювальних краг. Усі позначення інтуїтивно зрозумілі, активні функції додатково підсвічуються світлодіодами на кнопках. Доступ до налаштувань, які не потрібні безпосередньо під час зварювання, організований через системне меню, таким чином, запобігає можливості їх випадкової зміни.

Обладнання дозволяє провести максимально тонке налаштування практично будь-яких параметрів, виду їх відображення на індикаторах, врахувати індивідуальні особливості, побажання та звички зварників. Для налаштування доступні кілька рівнів меню. У першому рівні зазвичай можна змінювати робочі параметри процесу зварювання (встановлювати режим роботи кнопки (тригера) пальника, час попереднього та післязварювального продування захисним газом, параметри старту та заварювання кратера, вибирати тип процесу MIG/Pulsed MIG), у другому рівні - технологічні параметри (інші налаштування імпульсних процесів у тому числі з подвійним імпульсом), параметри відображення значень на індикаторах, блокування та обмеження технологічних режимів, показання лічильників кількості циклів і часу горіння дуги), у третьому – інженерні (скидання до заводських налаштувань, перегляд помилок). Також існують ще й приховані меню для ще більш глибокого налаштування та обслуговування. Логіка організації меню також визначається затребуваністю зміни тих чи інших параметрів.

Зварювальники в усьому світі цінують обладнання Miller Electric за його безпрецедентні технічні можливості, які поєднуються з максимально продуманою ергономікою та зручністю під час експлуатації. За простотою панелі управління приховані практичні необмежені налаштування, які дозволяють досягти практично будь-який бажаний результат. Обладнання дозволяє задовольнити запити будь-яких зварювальників від «консервативних», які звикли отримувати у свої руки максимальний контроль над зварювальною дугою і самим керувати процесом формування зварювальної ванни, до «просунутих», які вірять у сучасні передові технології та готові ефективно використовувати закладені в обладнання адаптивні здібності. У процесі навчання орієнтування йде для кожного зварювальника для акцентування його уваги на потрібних йому настройках.

Незважаючи на те, що будь-яке обладнання Miller Electric має підвищену надійність і збільшений міжсервісний інтервал, повністю виключити його періодичне технічне обслуговування не можна. Конкретні рекомендації кожної моделі вказуються в інструкції з експлуатації і докладно розглядаються під час

навчання. Окремо загострюється увага на ті моменти, які від обслуговування звичного зварювального устаткування інших марок. Здебільшого це те, що знімати кришку обладнання для його продування не потрібно. Достатньо продути лише систему його охолодження зовні. Необхідність періодичної перевірки ізоляції, очищення та протягування всіх силових з'єднань, цілісності кабелю управління та газового шлангу стандартна для будь-якого обладнання. Також розглядаються різні варіанти правильного підключення до електричних мереж споживача (більшість моделей дозволяють працювати як від 1, так і від 3 фазних мереж).

Компанія Miller Electric спеціально спроєктувала всі свої механізми подачі та джерела живлення так, що експлуатаційні витрати зведені до мінімуму, а саме до придбання лише витратних деталей для зварювальних пальників (сопла, наконечники, канали). Ролики подачі зварювального дроту, вали привода механізму подачі, напрямні тощо не є витратними деталями.

Зварювальне обладнання – матеріали – персонал – це складові технологічних завдань зварювального виробництва, вирішення яких у сукупності забезпечує виконання конкретного виробничого завдання. У цьому ланцюгу обладнання є безпосереднім інструментом, який має забезпечити технічну можливість виконання зварювання із заданими параметрами. Обладнання може бути універсальним або спеціальним, може працювати з різним завантаженням, вимагати різної кваліфікації зварювальників, мати різні ресурси, експлуатаційні витрати можуть сильно відрізнятися. Від розумності вибору зварювального обладнання та правильної організації його роботи та обслуговування безпосередньо залежатиме економічний ефект від його придбання та використання. Хто має передбачити всі ці моменти на етапі планування розвитку зварювального виробництва? Вирішення цих питань має бути в компетенції відповідної технологічної служби підприємства.

З огляду на високу динаміку розвитку галузі металообробки, появи нових матеріалів, інших підходів до проектування та високої конкуренції, технологічна служба сучасного машинобудівного підприємства повинна вирішувати не тільки оперативні виробничі завдання, а й займатися перспективним опрацюванням питань підготовки виробництва до нових вигідних замовлень, а також підвищенням ефективності виробництва. Це питання вимог до технічних характеристик зварювального устаткування, його універсальності, підвищення коефіцієнта його залучення, зниження експлуатаційних витрат.

ПРИКЛАД. Налаштування напівавтомата з джерелом XMT-350/450 MPa та механізмом подачі S-74 MPa Plus. Комплект напівавтомата представлений на рис. 13.3.

Універсальність цього комплекту укладена в можливості вирішення дуже широкого кола виробничих завдань за рахунок мультипроцесності (ручне дугове зварювання, повітряно-дугова строжка, ручне аргонодугове зварювання з контактним підпалом Lift-Arc, механізована MIG/MAG та імпульсне зварювання всіма видами) та максимальної сумісності моделей механізму подачі з джерелом струму. Устаткування можна використовувати для механізованого зварювання практично будь-яких легованих сталей, сплавів, алюмінію, нікелю,

мельхіору, кремнистої бронзи. Джерела XMT-350/450 MPa мають 22 встановлені бібліотеки з синергетичними програмами для імпульсних режимів зварювання Pulsed MIG, які доступні для використання без додаткових витрат.

Основне завдання виробника - надати зварювальнику максимальні можливості з налаштування обладнання під будь-які завдання та при цьому зберегти ергономіку, зручність при експлуатації та виключити помилки у зміні налаштувань під час роботи. Саме тому всі налаштування розділені на кілька рівнів за принципом затребуваності в регулюванні параметрів, функції, що використовуються найчастіше, і параметри винесені в більш глибокі рівні меню або приховані для захисту від ненавмисної зміни. Обладнання дозволяє досягти практично будь-якого бажаного результату і для цього потрібно знати всі його можливості та розуміти застосовність тих чи інших налаштувань.

Рис. 13.3. Комплект напівавтомата з джерелом XMT-350/450 MPa та механізмом подачі S-74 MPa Plus

Налаштування механізму подачі S-74 MPa PLUS.

У цьому матеріалі немає сенсу розглядати процес безпосереднього підключення механізму подачі S-74 MPa Plus до джерела струму, через те, що він максимально простий і неможливо щось не так і не туди підключити.

Єдине, про що хотілося б згадати, що механізм подачі дозволяє незалежно налаштовувати притиск передньої і задньої пари роликів, що забезпечує більш стабільну, впевнену і рівномірну подачу будь-яких видів зварювальних матеріалів від "м'яких" порошкових і алюмінієвих до "жорстких". суцільних дротів. Зміна нахилу приводного механізму дає можливість подачі зварювального дроту в пальник із меншою кількістю перегинів.

На рис. 13.4 наведено схематичне зображення панелі керування механізму подачі s-74 mpa plus, яке дає змогу побачити індикацію та органи управління які доступні зварнику для оперативного впливу на вже встановлений процес роботи напівавтомата.

На рис. 13.5 представлено реальний механізм подачі s-74 mpa plus напівавтомата.

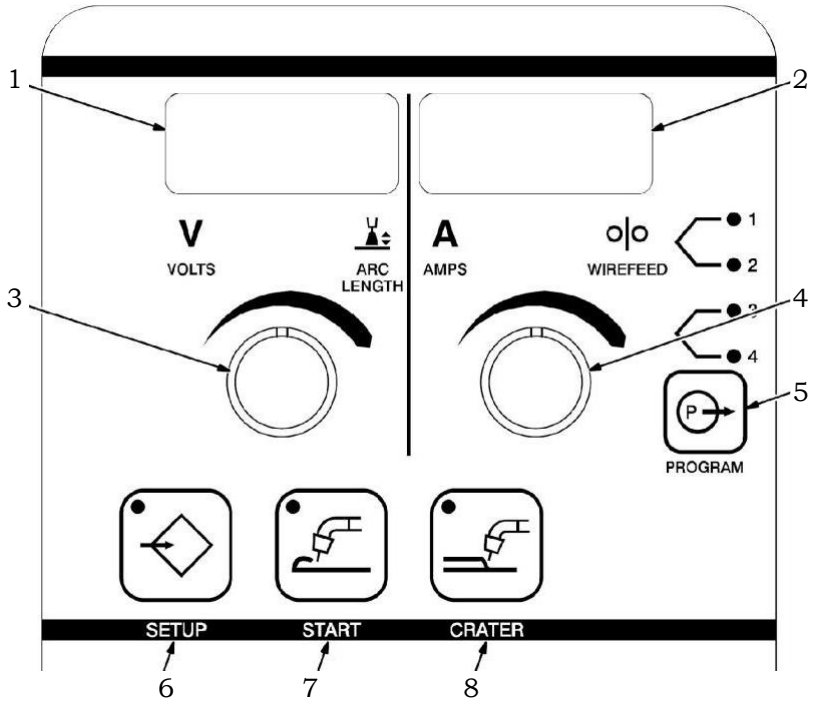


Рис. 13.4. Схематичне зображення панелі керування механізму подачі:
1 – лівий індикатор (напруга); 2 – правий індикатор (струм); 3 – лівий регулятор (напруга); 4 – правий регулятор (струм або швидкість подачі); 5 – осередки пам'яті; 6 – вхід у меню налаштувань; 7 – параметри початку зварювання; 8 – параметри заварювання кратера

Система керування напівавтоматом, яка представлена на рис. 13.4 та 13.5 максимально проста та ергономічна. Усе керування здійснюється за допомогою *4* кнопок та *2* регуляторів. Налаштування будь-яких параметрів можна здійснювати, навіть не знімаючи зварювальної краги. Активні функції або режими відображення індикаторів підсвічуються світлодіодами. Логіка установок механізму подачі досить очевидна: розділи - параметри - значення. Розділи – це рівні меню. На лівому індикаторі відображаються вибрані параметри, а на правому індикаторі - значення цього параметра. Деякі параметри логічно взаємопов'язані і для налаштування одного треба попередньо налаштувати інший, який «відкриє» відповідні налаштування. Зайві «незадіяні» налаштування ховаються, не плутаючи зварювальника та не перевантажуючи його увагу.

Рис. 13.5. Реальне зображення механізму подачі S-74 MPa PLUS

Ідеологія роботи з механізмом подачі S-74 MPa Plus полягає насамперед у зручності. Під цим розуміється, що необхідні в процесі роботи органи управління повинні бути легко доступні також навіть у зварювальних крагах і не повинні відволікати увагу зварювальника і призводити до втрати часу.

Тому безпосередньо в процесі зварювання можна регулювати напругу чи довжину дуги (для імпульсних процесів) лівим регулятором та зварювальний струм або швидкість подачі дроту правим регулятором. При цьому доступне перемикання між встановленими та записаними в пам'ять програмами з кнопки пальника або через панель механізму подачі, а також включення та вимкнення встановлених параметрів для старту зварювання та для заварювання кратера.

Інші технологічні параметри, на думку виробника, безпосередньо під час зварювання не потрібні, вони попередньо налаштовуються через меню налаштувань, відповідно їх зміна під час процесу зварювання неможлива. Це запобігає їхній випадковій зміні в процесі роботи.

Налаштування джерела зварювального струму наведено на рис. 13.6 та 13.7.

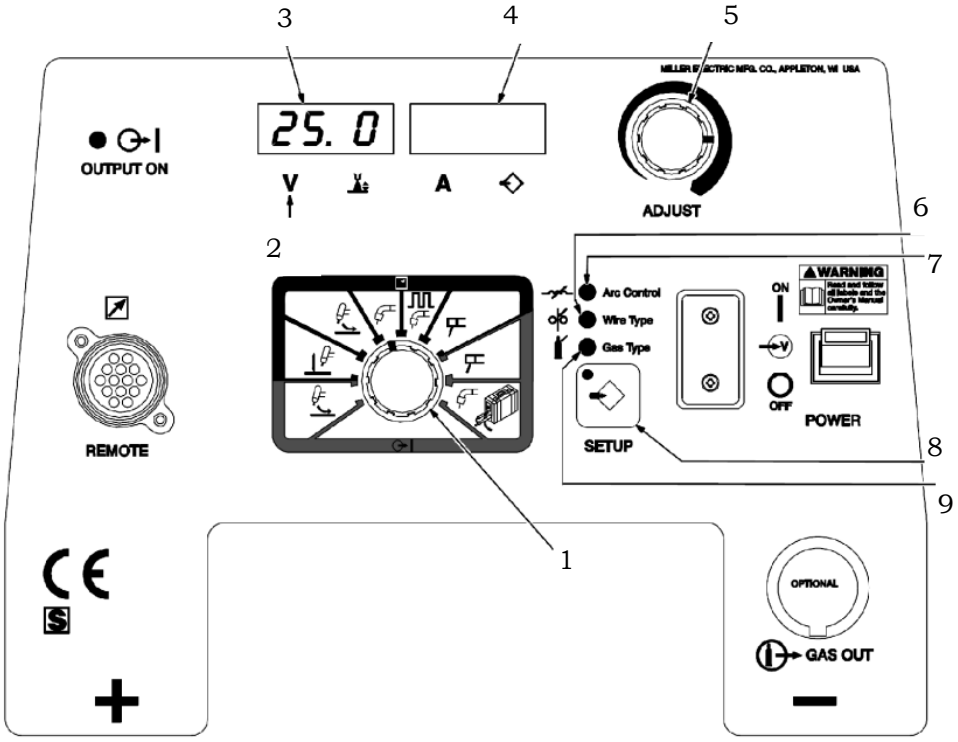


Рис. 13.6. Схематичне зображення панелі керування джерела живлення дуги XMT-350/450 MP:

1 – перемикач режимів (видів зварювання); 2 – індикатор відображення напруги; 3 – лівий індикатор; 4 – правий індикатор; 5 – індикатор відображення довжини дуги; 6 – регулятор; 7 – індикатор типу дроту; 8 – індикатор контролю дуги; 9 – вхід у меню налаштувань; 10 – індикатор типу захисного газу

Налаштування джерела складається з 3 рівнів:

- 1 рівень вибір робочих параметрів процесу;
- 2 рівень технологічне меню;
- 3 інженерне меню.

Рис. 13.7. Джерело живлення дуги XMT-350/450 MP

На першому рівні встановлюються:

- Управління режимом роботи кнопки на зварювальному пальнику Доступний вибір режимів STD, HOLD, 4T, SPOT. Режим фіксації кнопки HOLD має додатковий параметр мінімального часу утримання пальника від 0,1 до 4,0 с для активації режиму. У режимі SPOT є додатковий параметр SPOT для визначення часу зварювання (часу горіння дуги) в діапазоні від 0,1 до 120 с.

- Вибір технологічного процесу (MIG) або (PULS). Можна вибрати параметр, який відображатиметься на лівому індикаторі - тільки напруга VOLT& для MIG процесу або довжина дуги ARC.L для імпульсного процесу.

- Попереднє продування захисного газу. Час подачі захисного газу після натискання кнопки пальника до початку подачі дроту. Діапазон регулювання від 0,0 до 5,0 с. При встановленні значення попереднього продування менше 0,2 с відповідна програма перестане бути доступною для вибору при перегортанні програм кнопкою пальника.

- Продування після закінчення зварювання. Час подачі захисного газу після припинення горіння дуги. Діапазон регулювання від 0,0 до 10,0 с.

- Початкова швидкість подачі дроту. Швидкість подачі зварювального дроту до запалювання дуги, задається у вигляді коефіцієнта від 0,1 до 0,99 до встановленої швидкості подачі.

- Відпал зварювального дроту. Регулює час горіння дуги після зупинки подачі дроту. в діапазоні від 0,0 до 0,25 с з кроком 0,01 с. Є додаткова установка напруги на дузі для відпалу.

- Реверсивна подача дроту. Після закінчення зварювання дріт може подаватися реверсивно. Значення параметра встановлюється як завдання довжини дроту в діапазоні від 0 до 38 мм.

- Керування параметрами імпульсів. При активації цього режиму з'являється можливість коригування характеристик імпульсів та швидкості подачі дроту для формування форми зварного шва. При активному режимі зварювання з подвійним імпульсом з'являється можливість регулювати частоту в діапазоні від 0,1 до 5,0 імп./с, зміна швидкості подачі дроту у вигляді коефіцієнта від 0,00 до 0,30 до встановленої швидкості подачі.

- Для несинергійних імпульсних і MIG процесів доступна установка швидкості подачі під час заварювання кратера, довжини дуги або напруга на дузі, тривалість заварювання кратера, час переходу від робочого значення швидкості подачі дроту до встановленого значення швидкості подачі під час заварювання кратера.

- Для синергетичних імпульсних процесів Pulsed MIG є додаткова можливість вибору типу налаштування параметрів початку зварювання і параметрів заварювання кратера.

На другому рівні встановлюються:

- Блокування параметрів. При включенні блокування наступні параметри будуть заблоковані та не будуть доступні до зміни: режим роботи кнопки вибір технологічного процесу зварювання, попереднє продування, продування після зварювання, початкова швидкість подачі зварювального дроту, параметри початку зварювання та заварювання кратера.

- Межі діапазону зміни параметрів. При активації цього режиму у наступному розділі меню можна буде вибрати мінімальні та максимальні значення швидкості подавання дроту, а також напруги або довжини дуги. Мінімальне значення швидкості подачі дроту в діапазоні від 1,3 до 19,8 м/хв максимальне значення швидкості подачі зварювального дроту від встановленого мінімального значення до 19,8 м/хв. Мінімальне значення довжини дуги в діапазоні від 0 до 100. Максимальне значення довжини дуги від встановленого мінімального значення до 100. Мінімальне значення напруги на дузі. Значення залежить від діапазону напруг зварювального джерела під час роботи в режимі MIG та діапазону напруги для завантаженої синергетичної бібліотеки для режиму роботи Pulsed MIG. Voltage Range Limit (MAX) – максимальне значення напруги на дузі. Значення залежить від діапазону напруг зварювального джерела під час роботи в режимі MIG та діапазону напруги для завантаженої синергетичної бібліотеки для режиму роботи Pulsed MIG.

- Синергетичний режим роботи зварювального джерела. При виборі значення автоматичного налаштування та при використанні джерела серії MPa механізм подачі та джерело функціонуватиме як єдина синергетична система. При виборі режиму ручного налаштування синергетичні програми не будуть доступні.

- Індикація параметрів під час імпульсного зварювання (PULS). Значення параметрів на лівому індикаторі (1) можуть відображатися у вигляді напруги або довжини дуги. Світлодіод під лівим індикатором відображатиме який параметр відображає дисплей.

- Можливість перемикання програм тригером пальника.

- Відображення часу зварювання Weld Time. Дозволяє побачити загальний час горіння зварювальної дуги.

- Відображення кількості циклів зварювання Weld Runs. Дозволяє побачити кількість зварювальних циклів (запалювань дуги).

На третьому рівні встановлюються:

- Скинути до заводських налаштувань Factory Default (FACT.DFLT). Дозволяє скинути всі налаштування механізму подачі до заводського стану. При заблокованому паролем меню другого рівня вхід до третього рівня без введення пароля неможливий.

- Кількість перевантажень струму. Відображає кількість перевищень встановлених значень струму.

- Індикація швидкості подачі зварювального дроту (WFS). Швидкість подачі може відображатися в IPM (дюйм/хв) або MPM м/хв).

- Синхронізація приводів при використанні пальника типу тяги-штовхай.

- Вибір діапазону довжини дуги (ACR.L). Довжина дуги може відображатися від -50 до +50 або від 0 до 100.

Крім органів керування, розташованих на лицьовій панелі й дозволяють налаштувати необхідні технологічні параметри у зварювального джерела XMT-450 MPa, є три рівні меню для завдання додаткових параметрів роботи та можливість налаштування або відключення адаптивного регулювання для процесів імпульсно-дугового зварювання.

Послідовність налаштування джерела XMT-450 MPa для роботи спільно з механізмом подачі S-74 MPa Plus з можливістю механізованого MIG та синергетичного імпульсно-дугового зварювання Pulsed MIG. Зварювальне джерело XMT-450 MPa підтримує функцію дистанційного вибору зварювального процесу з механізмом подачі S-74 MPa Plus. При використанні механізмів подачі інших серій деякі функціональні можливості джерела будуть недоступні.

Регулятор (6) встановлюється в положення вибору режиму (виду) роботи з підтримкою імпульсно-дугового процесу.

Одноразове натискання кнопки Setup (9) переводить у меню контролю дуги, загоряється індикатор Arc Control (8). На лівому індикаторі (3) загоряється Sharp Arc (SHRP), на правому індикаторі (4) загоряється значення параметра. Установка значення здійснюється поворотом Регулятора (6). Цей параметр встановлює ширину конуса дуги в діапазоні від 0 до 50, рекомендоване значення 25. Чим вище обране значення Sharc Arc, тим ширше конус дуги, дуга жорсткіша і знижується плинність зварювальної ванни. Нижчі значення Sharp Arc зменшують конус дуги, дуга стає жорсткішим і знижується плинність зварювальної ванни.

Наступне натискання кнопки Setup (9) переводить у меню вибору типу та діаметра зварювального дроту, загоряється індикатор Wire Type (7). На лівому індикаторі (3) відображається діаметр зварювального дроту, на правому індикаторі відображається тип дроту. Вибір типу зварювального дроту здійснюється поворотом регулятора (6).

Наступне натискання кнопки Setup (9) переводить у меню вибору типу захисного газу, загоряється індикатор Gas Type (10). На лівому та правому індикаторах (3) і (4) відображаються доступні у виборі типи захисних газів і сумішей (залежно від обраного на попередньому етапі налаштування зварювального матеріалу). Якщо потрібного складу суміші захисного газу немає в бібліотеці, нічого страшного немає, можна вибрати максимально близький склад. Незважаючи на те, що склад суміші має велике значення для процесу імпульсно-дугового зварювання, незначна відмінність складу компенсуватиметься регулюванням параметрів ширини конуса дуги (Sharp Arc) і довжини дуги (Arc Length). Наприклад, при зменшенні відсоткового вмісту CO_2 у складі суміші для зварювання вуглецевих сталей (STL) для компенсації відхилення необхідно збільшувати значення довжини дуги (Arc Length). Аналогічна залежність вмісту CO2 у суміші та необхідності зміни значення параметра довжини дуги поширюється і при зварюванні нержавіючих сталей (SSTL).

Наступне натискання кнопки Setup (9) завантажує синергетичну програму для імпульсно-дугового зварювання відповідно до обраного типу зварювального матеріалу та захисного газу. На індикаторах (3) та (4) коротко з'явиться напис PROG LOAD.

XMT-450 MPa має ще одне приховане системне меню для незалежного налаштування адаптивності імпульсних процесів для кожної з 22 попередньо встановлених синергетичних програм. Можна налаштувати параметри керування адаптивністю для кожної програми. Усього є 4 варіанти налаштування A, B, C та OFF. Для зміни налаштування необхідно вибрати та завантажити необхідну синергетичну програму, натиснути та утримати кнопку Setup (9), загориться світлодіод Arc Control (8), на лівому індикаторі (3) загоряється Sharp Arc (SHRP), на правому індикаторі (4) загоряється встановлене значення параметра. Потрібно продовжувати утримувати кнопку Setup (9). Після 5 секунд утримування кнопки Setup на лівому індикаторі (3) з'явиться напис ADAP. Регулятором (6) можна вибрати необхідне налаштування адаптивності. За замовчуванням на всіх програмах встановлено значення C, крім NI, де адаптивність вимкнена OFF. A – адаптивне регулювання здійснюється з контролем за струмом, B – за напругою, C – за струмом та напругою. Що розуміється під адаптивним регулюванням - це процес автоматичної зміни зварювальних параметрів імпульсного процесу джерелом при зміні струму/напруги/струму + напруги для збереження контролю дуги за зміни довжини дуги або вильоту дроту. При відключенні адаптивного регулювання OFF джерело використовує споконвічно встановлені відповідною програмою параметри імпульсного процесу та не змінює їх у процесі роботи. Відсутність адаптивності дозволяє отримати максимальний контроль зварювальної дуги та її "прямий" відгук зміну вильоту дроту. Такий режим роботи влаштує зварювальників, які звикли і можуть самостійно керувати дугою та властивостями зварювальної ванни. Зварювальник може регулювати тепловкладання в метал зміною вильоту і довжини дуги, при цьому процес буде максимально схожий зі зварюванням штучним електродом. Зварювальне джерело не компенсуватиме зміну вильоту електродного дроту. Адаптивність імпульсних процесів – це можливість задовольнити переваги зварників до повністю ручного контролю зварювальної дуги або до автоматичного апаратного підстроювання параметрів процесу. При цьому виробник гарантує якісне та стабільне зварювання за будь-яких режимів налаштування адаптивності.

Досить детальний опис процедури налаштування дано для розуміння технологічних можливостей обладнання та для оцінки його ергономіки та зручності.

Усі налаштування, які задіяні при передпродажній підготовці обладнання (вибір джерела, одиниці вимірювання та тип відображення зварювальних параметрів) та при зміні зварювальних матеріалів/зварюваних виробів, прибрані з панелі керування джерела та механізму подачі в меню першого та другого рівнів. Під рукою лише найзатребуваніші параметри, які постійно використовуються - напруга (довжина дуги) та зварювальний струм (швидкість подачі). Нічого зайвого. Панель не перевантажена, немає небезпеки збити налаштування або помилитися з їх вибором.

Час, що витрачається зварювальниками для зміни та налаштування технологічних параметрів, це час, який міг би бути витрачено на безпосередню роботу.

Відзначивши основні моменти налаштування загальнопромислового напівавтомата з джерелом XMT-350/450 MPa та механізмом подачі S-74 MPa Plus, зазначимо, що це приклад найбільш складної конструкції, яка містить дуже широку лінійку можливостей. Фірма Miller Electric має у своєму доробку суттєво простіші конструкції напівавтоматів з меншою кількістю налаштувань і відповідно меншим обсягом можливостей. Треба зазначити, що процедура налаштування відбувається один раз для потреб конкретного виробництва.

Якщо звернутися до конструкцій сучасних напівавтоматів інших відомих фірм, то важливо вказати на те, що вони мають логіку та процедуру налаштувань хоч і відмінну, але подібну тому, що описано вище.

Охорона праці й техніка безпеки при зварюванні та наплавленні.

Основні небезпеки, що призводять до виробничих травм при зварюванні та наплавленні:

- ураження електричним струмом при електрозварювальних роботах;
- ураження зору та відкритої поверхні тіла випромінюванням електричної дуги;
- отруєння організму шкідливими аерозолями (газ, пил та випари), що виділяються при зварюванні;
- травми від вибухів балонів стиснутого газу;
- пожежна небезпека та опіки;
- механічні травми при заготівельних і складально-зварювальних операціях.

Електробезпека. Враження електричним струмом відбувається при дотику до струмоведучих частин електропроводки та зварювального обладнання, що застосовується для дугового зварювання. Струми, що проходять через тіло людини більші ніж 50 mA (при частоті 50 Гц), можуть викликати важкі наслідки і навіть смерть. Опір людського організму залежно від стану (втомленість, вологість шкіри, стан здоров'я) змінюються у широких межах – від 1000 до 20 000 Ом. Напруга холостого ходу джерел живлення нормальної дуги обладнання для механізованих та автоматичних процесів може сягати 70-90 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. Довжина проводів меж мережею живлення та пересувним зварювальним обладнанням не повинна перевищувати 15 м. При роботі в ускладнених або в закритих посудинах зварювальна установка повинна мати блокуючий пристрій для вимкнення зварювального кола.

Корпуси зварювального обладнання, каркаси розподільних щитів і шаф необхідно заземлювати мідним проводом перерізом не менше 6 мм^2, та сталевим проводом перерізом не менше 12 мм^2 температура нагріву окремих частин зварювального обладнання не повинна перевищувати 75 ^{0}C.

Треба користуватися індивідуальними засобами захисту (робота в сухому та міцному одязі та рукавицях, крагах із сучасних матеріалів, у черевиках без металевих шпильок та гвіздків).

Дотримання умов роботи (припинення роботи під час дощу та сильного снігопаду, коли немає укриття, користуватися гумовими килимками, гумовим шоломом та калошами при роботі в середині місткості, а також переносною лампою напругою не більше ніж 12 В.

Ремонт електрозварювального обладнання та апаратури повинен проводитись спеціалістами-електриками.

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

Світлові промені засліплюють, бо їхня яскравість значно перевищує допустимі норми. Ультрафіолетове випромінювання навіть при короткочасній дії протягом кількох секунд спричинює захворювання очей, що називається електрофтальмією. Воно супроводжується гострим болем, різзю в очах, сльозотечею, спазмами повік. Тривала дія ультрафіолетового випромінювання приводить до опіків шкіри, інфрачервоного – помутніння кристалика ока (катаракта), що може призвести до послаблення та втрати зору, теплова дія цих променів також викликає опіки шкіри.

Захист зору та шкіри обличчя при дуговому зварюванні забезпечується використанням щитків, масок або шоломів їхніх жаростійких діелектриків, наприклад, фібри просоченої спеціальним розчином і таке інше. У такому захисному засобі встановлюється світлофільтри розмірами 52×102 мм, що затримують і поглинають випромінення дуги. Залежно від потужності дуги застосовують різні світлофільтри. Для захисту від випромінювання луги у стаціонарних умовах встановлюють захисні кабіни, а при будівельних і монтажних роботах використовують переносні щити та ширми. Для захисту тіла застосовують спецодяг із цупкого брезенту чи сукна іноді з азбестової тканини.

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

Особливо шкідливими речовинами вражаються робітники при зварюванні та різанні кольорових металів.

Так, при зварюванні плавким електродом плит з алюмінієвого сплаву АМг6 з використанням зварювального дроту Св-АМг6 концентрація твердоскладових зварювального аерозолю набагато більша порівняно з використанням вольфрамового електрода.

Особливості дотримання правил безпеки при зварюванні міді й мідних сплавів полягають у тому, що мідь та легуючі елементи в її сплавах інтенсивно випаровуються, а їхня пара дуже токсична

Місцеві пилогазоприймачі (фільтровентиляційні пристрої) необхідно розміщувати безпосередньо біля зварювальної ванни, а продуктивність стаціонарних або пересувних пристроїв має бути не менша за 1000 м^3/год.

При зварюванні металевих конструкцій на пересувних робочих місцях треба застосовувати вентиляційні пристрої ежекторного типу. Розрахунковий повітряний обмін має бути не менше ніж 11 000 м^3/кг витраченого електродного дроту.

Пожежна безпека. Причинами пожежі при зварювальних роботах можуть бути іскри та краплі розплавленого металу та шлаку, необережне поводження з обладнанням особливо при роботі 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 та відрами з водою. У зоні потрапляння бризок металу та іскор не має бути займистих предметів.

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

Приклади інноваційних розробок у забезпеченні захисту зварювальників. Приділимо увагу одному з головних засобів зварювальника на автоматичному та напівавтоматичному обладнанні для зварювання та наплавлення – виробу, який захищає очі оператора-зварювальника: маскам, щиткам, шоломам.

Останнім часом на зміну щиткам та маскам зі світлофільтрами з постійним ступенем затемнення приходять маски та шоломи з регульованим ступенем затемнення/автозатемнення або Хамелеон.

Найбільш відомі зварювальні маски Хамелеон німецьких фірм Mächtz (наприклад, маска Mächtz MWH-2/254) та фірми ABICOR BINZEL (наприклад, маска ADF 600s).

Цей тип захисного обладнання постійно вдосконалюється, насичується новими технічними рішеннями з новими можливостями для захисту зварювальника. Прикладом такого розвитку є маски американської фірми 3M, на рис. 13.8 представлені деякі види цих масок. продукція цієї фірми: маска 3M 501105 Speedglas 9100V та маска 3M 577725 Speedglas 9100 MP с блоком ADFLO Li-Ion.Перша маска це зручний захисний виріб типу Хамелеон, а другий – мультисистемна розробка. Зварювальна маска 3M 577725 Speedglas 9 100 MP (Multi-Protection – комбінований захист) може бути дооснащена блоком ADFLO Li-Ion і це сучасне рішення в галузі засобів захисту зварювальників. Воно являє собою стійкий комплексний захист при зварюванні у важких

умовах. Ефективно поєднує п'ять елементів захисту зварювальника: захист голови, очей, обличчя, органів дихання та слуху – в єдину надзвичайно зручну та легку у використанні систему.

1 2

Рис. 13.8. Зварювальні маски:
1 – 3M 501105 Speedglas 9100V; 2 – 3M 577725 Speedglas 9100 MP з блоком ADFLO Li-Ion

Є одна розробка цього ряду – це зварювальна маска 547725 Speedglas 9100 FX AIR XX з блоком ADFLO Li-Ion. Її використання підносить захист органів дихання на новий рівень, маючи бічні віконця, відкидну функцію, високоякісну оптику і ширший кут огляду. Може працювати з респіраторним захистом систем стиснення, а також з турбоблоками 3M Adflo або регулятором подачі повітря 3M Versaflo V-500E. Ексклюзивні фільтри зі ступенем затемнення 5, що збільшують область огляду. Дуже зручне наголів'я. Швидкороз'ємне з'єднання 3M™ QRS дозволяє підключатися і відключатися від дихальної трубки однією рукою. Відповідає вимогам механічної витривалості під дією високошвидкісних частинок за стандартом ДСТУ EN 175:2001. Швидке підняття сріблястого передка забезпечує великий (17х10см) кут огляду, ідеальний для точних зварювальних та шліфувальних робіт в умовах початкового низького освітлення, з турботою про забезпечення здоров'я зварювальника. Маска забезпечує захист органів дихання від зварювальних аерозолів - до 500 ГДК.

Більше можливостей цих зварювальних масок можна дізнатися з переліку технічних характеристик

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Область огляду (зварювальний фільтр): 73×107 мм.

Ресурс акумулятора: 2000 год.

Затемнений стан: затемнення 5, 8, 9-13.

Стан без затемнення: затемнення 3.

Захист від УФ/ІК: затемнення 13 (постійне).

Час перемикання, світло-затемнення 0,1 мс (+23 °C).

Затримка (час перемикання, затемнення-світло): 40-1300 мс.

Опція бічних вікон.

Кількість датчиків (виявлення дуги): 3.

Відповідає стандартам: EN175: B; EN 166: B; EN 379; EN166: BT.

Каска сертифікована.

Захищає очі та обличчя від часток, що летять (BT).

Регульований ступінь затемнення: 5,8, 9-13.

Час заряджання: 4,5 год.

Тип акумулятора: ADF: літієвий 3V, Turbo: літій-іонний.

Типи фільтрів: Протиаерозольний фільтр (фільтр для газів доступний як запасна частина).

Вплив імпульсної подачі електродного дроту на санітарно-гігієнічні характеристики процесу зварювання/наплавлення. Умови праці зварювальника постійно вдосконалюється. Цей процес неможливий без покращення санітарно-гігієнічних характеристик у зоні зварювання/наплавлення [1]. Виділення зварювальних аерозолів і шкідливих для людини парів металу невід'ємна частина дугового процесу зварювання/наплавлення. На сьогоднішній день це питання, як зазначено вище, вирішують шляхом розробки та оснащення робочого місця зварювальника місцевою витяжною вентиляцією. Можна додати розробки комплектації зварювальних головок та тримачів для напівавтоматичного зварювання спеціальними системами та соплами особливої конструкції, що дозволяють здійснювати відсмоктування зварювального диму, або дообладнання захисної маски зварювальника. Усе це додатково ускладнює та підвищує вартість зварювального обладнання, тому актуальні цілеспрямовані дослідження з вивчення впливу технологічних параметрів режимів зварювання та наплавлення на обсяги виділення СА, зварювальних аерозолів, у тому числі та їх шкідливих складових.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона проведено експериментальну роботу з визначення гігієнічних показників виділень зварювального аерозолю при процесах з імпульсною подачею електродного дроту відповідно до стандарту [2]. Дослідження інтенсивності виділення зварювального аерозолю проводилися методом «повного уловлювання». Для визначення хімічного складу аерозолю користувалися методами санітарно-хімічного аналізу.

Дослідження проводилися з використанням суцільного високолегованого електродного дроту Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЕП-690) діаметром 1,2 мм. При її використанні при зварюванні або наплавленні в дузі зворотної полярності виділяються зварювальні аерозолі, що містять Cr (зокрема, найбільш небезпечний шестивалентний Cr+6 [210]), Ni, Mn та інші компоненти. Досліджувалась залежність інтенсивності утворення зварювального аерозолю та їх основних токсичних компонентів від режиму імпульсної подачі електродного дроту і, для порівняння, з безперервною подачею на режимі (220 А, 25…26 В). У цих дослідженнях частота імпульсної подачі вибиралася 10, 30, 60 Гц; шпаруватість імпульсів – 1,25, 3 і 5 од.

Визначалися такі параметри як: інтенсивність утворення зварювального аерозолю, вміст сполук легуючих елементів (Mn, Cr, Ni та ін) у зварювальному аерозолі, інтенсивність їх виділення.

Контурні графіки рис. 13.9 побудовані з використанням методів регресійного аналізу за експериментальними даними уловлювання СА.

Порівняно з рештою режимів наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту, максимальна інтенсивність виділення (Cr + 6) відзначається для наплавлення з частотою f = 30…40 Гц і шпаруватістю S = 1,1…1,5. Найбільш вигідним режимом, що забезпечує мінімальне виділення шестивалентного хрому (вдвічі менше, ніж при наплавленні з постійною подачею дроту) є режим з імпульсною подачею електродного дроту з частотою f = 10…30 Гц і шпаруватістю S = 3…5 од.

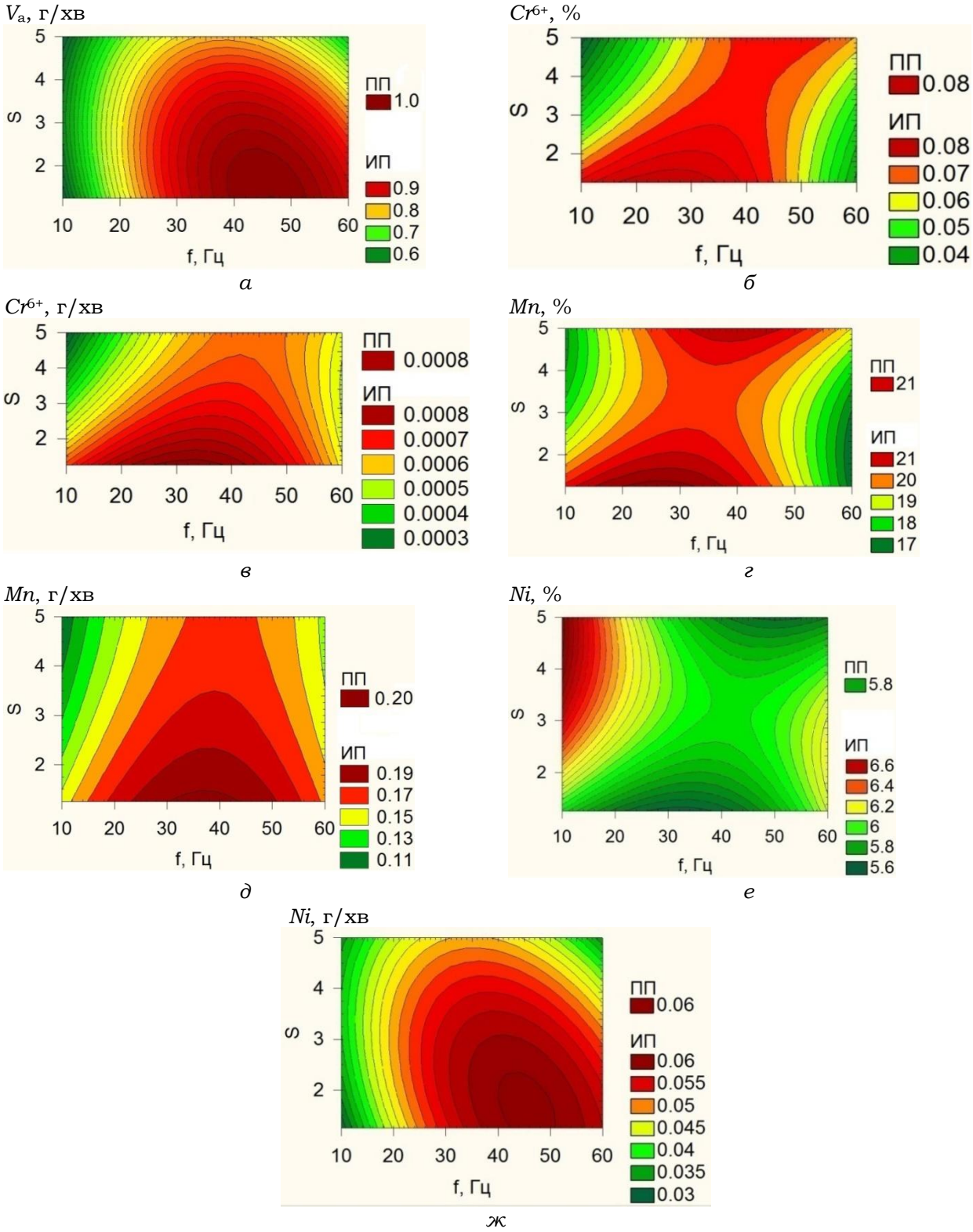


Рис. 13.9. Вплив частоти f і шпаруватості S при імпульсній подачі на інтенсивність утворення СА Va (а), масову частку Cr+6 (б), Mn (г), Ni (е) в СА; інтенсивність освіти Cr+6 (в), Mn (д), Ni (ж) в СА

Що стосується нікелю - другого за величиною токсичності канцерогенного компонента зварювального аерозолю [1], рис. 13.9 свідчить, що його мінімальний вміст у зварювальному аерозолі при наплавленні дротом ЕП 690 спостерігається на таких режимах імпульсної подачі електродного дроту: f = 40…50 Гц і

S = 4…5 од.; f = 30…40 Гц і S < 1,5 од. Незначне збільшення масової частки Ni у зварювальному аерозолі на режимах з частотою f = 10…20 Гц і шпаруватістю S = 3…5 од. у 2 рази менше гранично допустимої концентрації (ГДК) і тому – не вважається критичним. Дослідження залежності інтенсивності виділення нікелю від режиму наплавлення з імпульсною подачею електродного дроту (див. рис. 13.9) показали, що вона мінімальна на при f = 10…20 Гц і S = 1,25…5 од., а максимальна - при f = 30…60 Гц і S = 1,25…3 од.

Отримані результати доцільно враховувати під час вибору оптимального режиму зварювання. При цьому слід брати до уваги, що за величиною ГДК токсичність шестивалентного хрому в 5 разів вища за токсичність нікелю і багаторазово перевищує ГДК інших компонентів у складі зварювального аерозолю.

Характер зміни представлених на рис. 13.9 залежностей пояснюється тим, що при зварюванні з постійною подачею електродного дроту в захисному газі рівень виділення зварювального аерозолю визначається не тільки потужністю дуги, але і характером перенесення електродного металу. При цьому залежність інтенсивності утворення зварювального аерозолю від зварювального струму носить екстремальний характер: спочатку збільшується, потім знижується, має максимум, що відповідає найбільшому розбризкуванню електродного металу, і мінімум, характерний для дрібнокапельного перенесення без коротких замикань з зануренням дуги в основний метал. У свою чергу, як зазначалося раніше, при імпульсній подачі електродного дроту, залежно від кроку подачі, можливі три варіанти перенесення електродного металу [3]. Тому одержувані результати залежать від того, яка ділянка залежності інтенсивності утворення виділення зварювального аерозолю від зварювального струму та наявного варіанта перенесення електродного металу в даний момент розглядається.

Як відомо [4; 5], зварювання модульованим імпульсним струмом дозволяє знизити інтенсивність виділення зварювального аерозолю (порівняно зі зварюванням безперервним струмом) без зниження продуктивності та коефіцієнта розплавлення [4; 5].

Зменшення загальної потужності дуги за рахунок пауз при застосуванні імпульсного струму знижує непотрібний надлишок енергії, що має місце при зварюванні безперервним струмом і, зокрема, витрачається на випаровування матеріалів, що розплавляються. Інтенсивність утворення зварювального аерозолю знижується зі зменшенням сили струму в імпульсі, паузі, а також - при зниженні тривалості імпульсу або зі збільшенням тривалості паузи. Механізована зварювання/наплавлення з імпульсним струмом дозволяє знизити інтенсивність виділення зварювального аерозолю в порівнянні з традиційним механізованим дуговим зварюванням внаслідок зменшення кількості тепла, що виділяється в зоні зварювання.

З усього вище сказаного випливає, що наплавлення з імпульсною подачею дозволяє покращувати гігієнічні характеристики процесу в CO_2 в порівнянні з наплавленням з безперервною подачею і деякою мірою керувати ними. Проведені дослідження показали, що поліпшення гігієнічних характеристик і управління кількістю виділення зварювального аерозолю і обсягами шкідливих пар,

що виділяються, у ньому можливе при відповідному налаштуванні параметрів імпульсної подачі й усього комплексу зварювального/наплавного обладнання.

Сформульовані технологічні рекомендації щодо поліпшення санітарно-гігієнічної обстановки в зоні горіння дуги зворотної полярності у вуглекислому газі рекомендується враховувати під час виборів режимів зварювання/наплавлення з імпульсно. подачею електродного дроту.

Треба зазначити, що нові технології зварювання та наплавлення, у тому числі і процеси з імпульсною подачею електродного дроту суттєво покращують результати їх використання, але великою мірою покращують умови праці зварювальників та зниження впливу на навколишнє середовище.

Література до розділу 13

1. Левченко О. Г. Гігієна праці у зварювальному виробництві : навчальний посібник / О. Г. Левченко. – Київ : Основа, 2004. – 98 с.

2. ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворюваних під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. – [Чинний від 2008-08-15]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.

3. Воропай Н. М. Особенности процесса сварки в С02 с импульсной подачей электродной проволоки / Н. М. Воропай, З. Д. Бенидзе, В. Н. Бучинский // Автоматическая сварка. – 1989. – № 2. – С. 23-26, 36.

4. Левченко О. Г. Образование аэрозолей при сварке в СО2 модулированным током / О. Г. Левченко // Автоматическая сварка. – 2000. – № 8. – С. 48–50.

5. Левченко О. Г. Влияние состава защитного газа и режимов сварки на валовые выделения сварочного аэрозоля / О. Г. Левченко // Автоматическая сварка. – 1986. – № 1. – С. 73-80.

Наукове видання

Лебедєв Володимир Олександрович,

Максимов Сергій Юрійович,

Бриков Михайло Миколайович,

та ін.

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНІКА І ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПЛАВЛЕННЯ

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. – 15,23.
Тираж 300 пр. Замовлення № 31/23.

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.