



ЛІТВИНОВ

Олександр Павлович,
здобувач кафедри історії та культури
України ДВНЗ «Переяслав-
Хмельницький державний
педагогічний університет імені
Григорія Сковороди»
(м. Переяслав-Хмельницький)

НАУКОВІ ДОРОБКИ ВЧЕНИХ ТА ЇХ УПРОВАДЖЕННЯ В ПРОМЕНЕВИХ СПОСОБАХ ЗВАРЮВАННЯ В УРСР (ДРУГА ПОЛОВИНА ХХ СТ.)

Проаналізовано наукові доробки вчених та їх упровадження в променевих способах зварювання в УРСР в другій половині ХХ ст. Встановлено, що способи наплавлення променевими джерелами енергії, не зважаючи на певні переваги, мають обмежене застосування; для їх подальшого розвитку необхідно поглибити наукові дослідження в широкому діапазоні проблеми. Досліджено особливості роботи високовольтних джерел живлення, систем стабілізації режиму зварювання й керування променем.

Проанализированы научные труды ученых и их внедрение в лучевых способах сварки в СССР во второй половине ХХ в. Установлено, что способы наплавки лучевыми источниками энергии, несмотря на определенные преимущества, имеют ограниченное применение; для их дальнейшего необходимо углубить научные исследования в широком диапазоне проблемы.

The article analyses scientific achievements and their use in the radial methods of welding in USSR in the second half of the XX century. The results prove that the methods of fusion by energy radial sources, despite certain advantages, have the limited application; for their subsequent development it is necessary to deepen scientific research in the wide range of problems. It investigates the peculiarities of high-voltage sources of power supply, systems of stabilization of the welding mode and the ray control.

Термічний вплив сфокусованого прискороного променя електронів вперше спостерігав у 1852 р. У.Р. Гроув. Вже в цьому визначенні вималювалися такі завдання, як створення систем: отримання електронів, прискорення електронів і фокусування електронів. Упродовж двадцяти років різними дослідниками вивчалися процеси проходження електрики в газах й вакуумі. В 1869 р. У. Крукс відкрив катодні промені, в 1869 р. він розплавив променями

такий тугоплавкий метал, як платина. А в 1897 р. Дж.Дж. Томсон встановив, що катодні промені – це потік заряджених часток, а за 10 років Р.Е. Міллікен довів електронне походження і встановив величину заряду. Технологічні завдання, пов'язані з використанням теплової енергії цього процесу виникли в середині ХХ ст., коли стрімко почали розвиватися ракетобудування, нові покоління транспортних засобів, енергетичного обладнання, електроніки тощо [7].

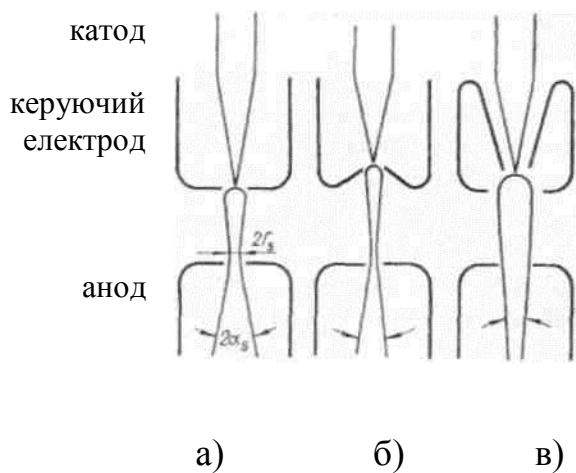
Для експлуатації в незвичних умовах високих напруг, зверх високих або навпаки – криогенних температурах, ядерного і космічного опромінювання, електромагнітних полів, виникла необхідність з'єднувати конструкції з нових для техніки металів: цирконію, молібдену, танталу, вольфраму. Ці та подібні метали й сплави відрізняються не тільки високою температурою плавлення, але й високою хімічною активністю при нагріванні. Не гарантували достатньої якості й способи зварювання в інертних газах – окислювання вдавалося уникнути, а перегрів зони зварювання залишався. До того ж, крім екзотичних металів, значно збільшилося використання алюмінієвих і титанових сплавів, експлуатаційні якості яких знижувалися при нагріванні до зварювальних температур. Задовольнити такі вимоги науково-технічного прогресу зміг би технологічний прорив в галузі з'єднання. Таким проривом стало ЕПЗ [2; 12].

На початок 1950-х рр. деяких країнах вже було створено потужні вакуумні насоси, високовольтні джерела живлення і електронні гармати. Першими у 1957–1958 роках надрукували задовільні результати техніки ЕПЗ співробітники Комісії з атомної енергії Франції Дж.А. Стор і Дж. Бріола. Водночас дослідне устаткування було розроблено в ФРН, США, СРСР (в Московському енергетичному інституті М.О. Ольшанським). В УРСР в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона (ІЕЗ) з середини 1950-х років також було розпочато дослідження електронно-променевих процесів і розробка обладнання для таких видів електронно-променевих технологій, як зварювання, плавлення, випаровування. В процесі з'ясування фізичних і технічних властивостей електронних променів, створювалося обладнання і технологія прецизійного зварювання гостро сфокусованими променями (Криштаб Г.С.).

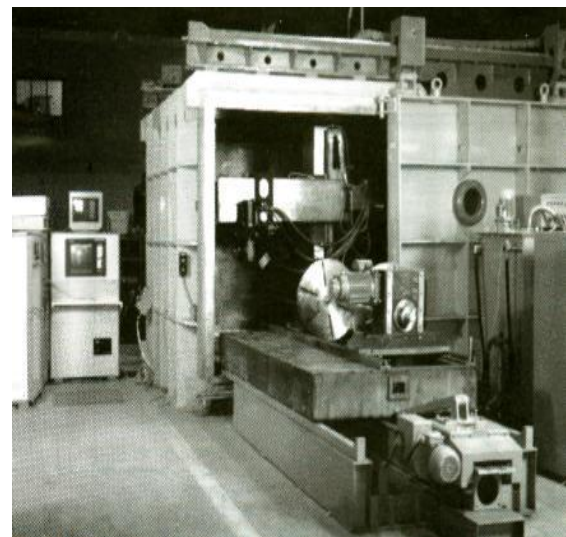
З 1961 р. ІЕЗ ім. Є.О. Патона розробив більш 10 типів і впровадив більше 600 комплексів потужних електронно-променевих установок в Україні, Росії, Китаї та ін. країнах. В одній установці можуть бути суміщені такі операції, як зварювання, зональна термічна обробка, очищення і модифікація поверхні. В 60-х роках минулого століття продовжувався інтенсивний пошук засобів формування потужних променів для глибокого проплавлення металу (Назаренко О.К., Локшин В.Ю. та ін.). Були досліджені особливості роботи високовольтних джерел живлення, систем стабілізації режиму зварювання й керування променем (В.Д. Шелягін, Ю.М. Ланкін та ін. (1964–1970)). В 1970–1977 рр. було вивчено механізм глибокого проплавлення металу, гідродинамічні явища у зварювальній ванні, природу різного типу дефектів, особливості термічного циклу металу зварного шва й навколошовної зони (Бондарев А.А., Касаткін Б.С., Лєсков Г.І., Назаренко О.К. та ін.). На засадах цих та інших досліджень одночасно створювалося вітчизняне зварювальне устаткування та розроблялися технологічні процеси, які дали змогу вирішити багато складних завдань сучасної техніки [3; 8]. Проводять ЕПЗ в камерах об'ємом до 1000м^3 у вакуумі (від 10 мПа до 1Па), або (рідше) в середовищі інертних газів при атмосферному тиску. Джерелом пучка електронів є електронно-променеві гармати (потужністю 0,1-100кВт, енергією 10-200кеВ), в яких з катода здійснюється емісія електронів, що прискорюються дією електрода-анода; є також інші електроди, що створюють необхідний розподіл електричного поля. Електронний промінь, як джерело зварювального нагріву, за своєю питомою енергетичною потужністю перевершує всі відомі раніше джерела, а здійснення процесу зварювання у вакуумі біля 10-4мм рт.ст. дозволяє зберегти початкову чистоту зварюваного металу. Для формування інтенсивних потоків найбільше поширення одержали електронний пучок зі збіжним потоком. Застосовуються також електронні гармати, в яких формують асимілюючі, стрічкові, трубчасті й ін. пучки. Основними перевагами ЕПЗ є: швидкість зварювання, відсутність присадкового металу, більша потужність, малі деформації, високе співвідношення глибина/ширина звареного шва;

відсутність окислювання при зварюванні, скорочення необхідних наступних обробок. Швидкість зварювання від 10 (для металів завтовшки понад 100мм) до 1500м/год (товщиною до 1мм). Недоліками ЕПЗ є: необхідність проведення процесу у вакуумі, захист від рентгенівського випромінювання, зварювання лише розмагнічених деталей. Таким способом з'єднуються тугоплавкі метали (вольфрам, тантал та ін.), сплави титану, алюміній, мідь та їхні сплави, спеціальні сталі і різномірні метали.

Електронним променем можна зварювати товстості металів при проникненні в зварюваний метал і метали невеликої товщини при дії потоку електронів. Через набагато вищу густину енергії порівняно з дуговим зварюванням і іншими видами зварювання під час ЕПЗ вдається одержувати шви з великою глибиною проплавлення та малою шириною. Електронний промінь легко піддається керуванню й тому ефективно використовується для виконання особливо прецизійних зварювальних робіт на тонкостінних виробках [11]. В останні роки створені й успішно експлуатуються в промисловості системи автоматичного напрямку променя електронів на стик крайок, що зварюються.



Типи електронних прожекторів:
а) – з плоскими електродами; б) – схема Хайна; в) – схема Штейгервальда



Установка для прецизійного зварювання У 103/112

Рисунок 1. Розвиток електронно-променевого зварювання

Типова електроннопроменева зварювальна установка складається з електроннопроменевої зварювальної гармати з системами електроживлення і

управління та вакуумної камери з оглядовими вікнами, люками завантаження і вивантаження виробів, а також механізмами переміщення або обертання виробів; вакуумної системи, що підтримує при зварюванні в робочому об'ємі камери з приладами його контролю. До 1980 р. знайшло застосування локальне і мобільне вакуумування. Спосіб ЕПЗ у мобільному вакуумі є подальшим розвитком способу зварювання в локальному вакуумі. При зварюванні протяжних швів, коли камера не охоплює весь шов і доводиться багаторазово її переставляти, щораз закінчуючи і починаючи ділянки звареного шва, що завжди пов'язано з певними технологічними труднощами, зварювання в мобільному вакуумі як безперервний процес, безумовно, дає стабільніші результати.

До 1983 р. світовий парк промислових установок для ЕПЗ нараховував близько 3000 одиниць при щорічному випуску. До 1990 р. парк установок склав 4000 одиниць. Основними причинами, що істотно стримують розширення промислового застосування ЕПЗ, продовжують залишатися висока вартість устаткування, його складність порівняно з поширеними електрозварювальними установками, високооплачуваний кваліфікований обслуговуючий персонал. В Україні основні роботи по створенню обладнання і технології ЕПЗ виконані в ЕПЗ ім. Є.О. Патона, Сумському заводі «СЕЛМІ», Науково-промислового підприємстві «Геконт» у Вінниці, НТУУ «Київський політехнічний інститут», Східно-Українському національному університеті ім. В. Даля (Луганськ) та ін.

Однією з перешкод до впровадження відомих способів наплавлення пучка електронів по стику є складність формування сигналу, що управляє. З цієї причини не знайшов застосування відомий вже більше 20 років спосіб наплавлення, заснований на використанні вторинного випромінювання в промисловості. Основною тенденцією побудови систем автоматичного керування (АСК) установками для ЕПЗ є застосування для цих цілей мікропроцесорів і мікро-ЕОМ. Переваги застосування цих АСК ЕПЗ у порівнянні з ручним керуванням і використанням локальних аналогових регуляторів наступні: підвищення точності й повторюваності режимів

зварювання внаслідок можливості програмного керування процесом, пуск, зупинка, програмне зміна режиму під час зварювання й т.д. [3]. Переміщення електронного пучка різними траєкторіями з високою швидкістю і величиною відхилення, сумірною із діаметром пучка, є ефективним технологічним прийомом, що дозволяє підвищити якість з'єднання. Широко застосовуються, зокрема, коливання пучка вздовж і поперек шва, обертання його по колу [11].

Виробниче використання термонакальних гармат для реалізації процесу ЕПН показало їхню недостатню надійність, тому питаннями вдосконалення апаратури, підвищення ресурсу роботи, розробки нових гармат з холодним катодом займалася наукова група в Інституті потужнострумової електроніки Російської академії наук (м. Томськ). Подальший розвиток цей напрямок одержало в Інституті фізики міцності матеріалів (м. Томськ) з 1982 р. до сьогоднішнього дня. Електронно-променевої енергокомплекс побудований на базі апаратури ЭЛА-50/5Т, до складу якої входить пушка із плазмовим катодом. Електронні пушки із плазмовим катодом застосовуються в різних технологіях електронно-променевого зварювання. Джерелом електронів у них, як правило, служить плазма газового розряду. Із численних форм розрядів нами обраний відбивний з порожнім катодом. Електронні пушки цього типу успішно працюють у складі потокових зварювальних ліній, використовуються для нанесення зміцнюючих покриттів і в інших променевих технологіях [10].

ЕПЗ поступово почало застосовуватися при виготовленні унікальних конструкцій відповідального призначення; зокрема під керівництвом Б.Є. Патона було розроблено і впроваджено у виробництво трубчасті конструкції з титанових і молібденових сплавів для АЕС (Назаренко О. К. та ін.), поршні потужних двигунів, паливні баки та ін. конструкції ракет-носіїв з високоміцних алюмінієвих сплавів (Бондарев А.А., Назаренко О. К.), триметалеві стрічки для кінескопів кольорових телевізорів, корпусні та роторні вузли авіаційних газотурбінних двигунів, тощо. ЕПЗ використовують зокрема у радіоелектроніці і приладобудуванні (деталі телевізорів, медичні інструменти, вузли приладів), авіакосмічній техніці і суднобудуванні (корпусні панелі,

стрінгерні оболонкові конструкції та ін.), енергетичне і металургійне обладнання (ротори, теплообмінні апарати, лопатки турбін, деталі редукторів і прокатних валків, кристалізатори та ін.) тощо [10; 11].

Експерименти з ЕПЗ проводилися в умовах, що імітують космічні (Лапчинським В. Ф. та ін), та в 1969 р. вперше в світі на космічному кораблі «Союз-6» на установці «Вулкан», розробленої в ІЕЗ ім. Є.О. Патона; цей вид зварювання визнано перспективним для виготовлення крупногабаритних космічних конструкцій [14].

Накладні з'єднання у виробництві електронних і електротехнічних компонентів з різнорідних металів за хімічним складом й товщиною успішно зварюють електронним променем, наприклад, товщини 0,1 і 3,18 мм. Досить вузька з.т.в. не погіршує фізико-механічні властивості у матеріалів, наприклад, напруженості пружинних елементів, що було б неминучим при інших видах зварювання. ЕПЗ дозволяє виконувати збірні деталі, які раніше виготовляли фрезеруванням з однієї заготовки. Електронно-променеве зварювання заощаджує матеріал, розширює конструктивні можливості [1]. В дев'яти країнах Західної й Східної Європи (без СРСР) і Австралії було виконано по об'єднаній програмі дослідження впливу конструкції (типу) зварювальних установок (гармат) на форму й якість звареного шва.

Розроблено технологію зварювання нових конструкційних матеріалів, що задовольняє високим вимогам їх у літальних апаратах, кріогенних установках або інших високонавантажених конструкціях. Серед різноманітних технологічних прийомів: ЕПЗ скануючим пучком, тандемна або з подвійним переломленням пучка, зварювання із програмуванням тепловкладення в межах контуру розгорнення пучка займає особливе місце. Розроблено прецизійна ЕПЗ корпусів електровакуумних приладів, гіроскопів і герметизації мікросхем в алюмінієвих оболонках, використовувана як фінальна операція виготовлення високоточних приладів. Технологія забезпечує мінімальні зварювальні деформації (не більш 0,03 мм на діаметрі до 100 мм), незначний (не вище 60°C) розігрів розташованих усередині корпусу або оболонки елементів монтажу й

мікросхем, а також допускає розташування гермовиводів на корпусі приладу на відстані до 2 мм від звареного шва [5].

Накопичений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона досвід дозволяє узагальнити й сформулювати його основні відмінні риси й переваги: підвищення експлуатаційних характеристик з'єднань на 15...25% порівняно з процесами дугового зварювання; мала ширина зони нагріву металу і, як наслідок, зниження вагових характеристик виробів; висока стабільність геометричних форм і розмірів конструкцій, особливо коли ЕПЗ є фінішною операцією виготовлення виробів; висока якість зварених з'єднань; відсутність оксидних включень і включень вольфраму; дрібнокристалічна структура металу шва й збереження його структури в металі ЗТВ і т.д.; можливість зварювання конструкцій при відсутності доступу до зворотньої сторони стику; у всякому положенні деталей малої товщини; у різних просторових положеннях, у тому числі з одночасною подачею у зварювальну ванну присадного дроту; низький рівень загального розігріву конструкцій і можливість одночасного вакуумування внутрішнього обсягу, особливо при герметизації приладів; можливість виконання деяких типів з'єднань, які неможливо виконати іншими способами зварювання, табл. 1. [5].

Таблиця 1.

Застосування електронно-променевого зварювання

Галузь промисловості	Вироби	Економічні і технічні переваги
Енергомашинобудування	Діафрагми і пакети лопаток парових турбін. Бойлери теплових електростанцій. Колектор. Ротори газогенераторів. Корпуса термоядерних реакторів.	Продуктивність підвищилась на 300 % (ФРГ, 1989 р.)
Електротехніка	Мікроперемикачі. Пластини трансформатору і електродвигуну.	Зборка замість фрезерування. Економія матеріалу й праці. Зберігається аморфна структура вихідного сплаву й його магнітні властивості
Суднобудування	Корпуса глибоководних апаратів. Корпуса підводних човнів. Гребні гвинти судів. Корпуси, вузли і деталі газотурбінних двигунів. Корпуси і вузли приладів.	Використання титанових сплавів великих товщин

Ракетобудування	Шпангоути і корпуси ракет та супутників. Датчики тиску, рівня, параметрів роботи. Контейнери. Баки для ракетного пального. Вузли і корпуси ракетних двигунів і космічних станцій.	
-----------------	---	--

Інтерес до можливостей лазера привернув увагу співробітників ІЕЗ ім. Є.О. Патона, ІМЕТ ім. Байкова, МВТУ ім. М.Е. Баумана та інших організацій в 1960-х рр., майже відразу після створення перших промислових установок на рубіновому ОКГ. Дослідження, виконані в ІЕЗ ім. Є.О. Патона, у МВТУ разом з лазерним центром АН СРСР упродовж 1960-х рр. довели перспективність розробки спеціальних технологічних лазерів і технологій зварювання металів. У наступні роки були розроблені вимоги до зварювальних установок, вивчені процеси зварюваності конструкційних сталей, титанових і алюмінієвих сплавів та ін. [9].

Було встановлено, що лазер, як джерело нагрівання, характеризують такі технологічні властивості: висока концентрація енергії в пучку; практично безінерційне керування потоком теплової енергії, що дозволяє збільшити швидкість і точність обробки матеріалів і повністю автоматизувати процес; висока точність фокусування променя й більша швидкість обробки, що забезпечує мінімізацію зони нагрівання й виключає температурні деформації; можливість робити обробку у важкодоступних місцях, при складних і прецизійних формах швів; можливість передачі лазерного променя на значні відстані за допомогою оптичної системи. В 1969 р. у СРСР почався серійний випуск зварювальної установки СЛС-10-1 з енергією випромінювання до 10 Дж і тривалістю імпульсу 2–4 мс. Потужності лазера було досить тільки для проплавлення аркушів товщиною менш 0,4 мм.

Перші досвіди з цими й більш потужними лазерами показали, що досягти задовільної якості важко й необхідні широкі дослідження процесів зварювання та подальше вдосконалювання установок. Аналогічна ситуація склалася також за кордоном. Підвищити потужність і частоту посилок імпульсів до декількох десятків герців удалося в установках із кристалами ітрій – алюмінієвого

граната, легованого неодимом. Перші промислові установки серії «Квант» дозволяли здійснювати шовне зварювання (з перекриттям крапок) виробів невеликої товщини й застосовувалися для герметизації електронних приладів. Модернізація установок цього типу привела до підвищення потужності й збільшенню частоти. (Так, «Квант-16» працював в імпульсному режимі з енергією випромінювання до 30 Дж і частотою 0,5 Гц із фокусуванням у плямі діаметром до 1 мм). В 1970-х рр. був початий випуск ІАГ-Лазерів безперервного випромінювання й можливості лазерного зварювання значно розширилися. Однак найбільш перспективними виявилися газорозрядні CO₂-лазери. На використання лазерів цього типу взяли орієнтацію металообробні фірми. Вже на початок 1980-х рр. вихідна потужність лазерних установок у промені перевищила 500 Вт. Характерною рисою газових пульсних лазерів є висока потужність випромінювання в імпульсі, що досягає тисяч кВт, невелика тривалість випромінювання в імпульсі й нескладній конструкції розрядної системи. У порівнянні з іншими системами, розробленими до кінця 1970-х рр., ці лазери більше надійні, економічні й мають менші габарити. Можливість одержання з'єднань задовільної якості доведена рядом експериментів [13]. З 1981 р. у СРСР почали випускати твердотільні лазери безперервної дії типу ЛТН. Це істотно розширило діапазон можливостей твердотільних лазерів у промисловості, особливо для термоупрочнення інструмента й різання тонколистових матеріалів.

Лазерний технологічний комплекс включає лазер, прецизійні виконавчі механізми для переміщення деталі й променя, систему керування з використанням ЕОМ, що дозволяє автоматизувати процес підготовки програм, контролювати й при необхідності коректувати режим роботи. Для керування розподілом інтенсивності лазерного променя можна використовувати гомогенізуючі пристрої, що розщеплюють вступний промінь на кілька променів, після чого їх можна складати або відтинати за допомогою діафрагми тільки промені з необхідною інтенсивністю. Найбільшими технічними можливостями мають установки з Nd-АІГ-Лазерами і головками, що фокусують

промені. За допомогою приводів, оптоволоконних світловодів і лінзових блоків можна вибирати промені з різними напрямками поляризації й довжиною хвилі, підсумувати потужність променів, поєднувати по групах [15].

При зварюванні лазером помітно знижується величина залишкових деформацій. Продуктивність при зварюванні лазером значно (в 2–3 рази) підвищується в порівнянні зі зварюванням у середовищі захисних газів. Однією з істотних особливостей лазерного променя є концентрований характер енергії, у результаті чого металургійні процеси протікають у мікрообсягах практично миттєво. Особливо ефективно показав себе процес лазерного зварювання при заглибленні проплавлення. При цьому необхідно домогтися повного використання енергії плазми, утвореної в процесі лазерного зварювання. Це гарантує добре формування звареного шва, його високі механічні властивості, продуктивність. Енергія лазерного пучка може концентруватися в крапку діаметром близько 0,2 мм, забезпечуючи потужність, необхідну для розплавлення металів. Імпульсний CO₂ лазер потужністю 3 кВт дозволяє різати нержавіючу сталь товщиною 12,7 мм зі швидкістю 0,76 м/хв, а плиту зі сталеві броні товщиною 25,4 мм зі швидкістю 0,127 м/хв. Лазерний промінь здатний зварювати практично будь-які метали й сплави, включаючи матеріали, з різними теплофізичними характеристиками. Діапазон що зварюють товщину металів від менш 0,1 до 20 мм за один прохід (при потужності випромінювання 0,5...25 кВт). Лазерне зварювання можна проводити без застосування присадкових матеріалів, що вимагають додаткової обробки, що особливо важливо при виготовленні, наприклад, термоелементів, біметалічних пластин і заготівель у прокатному виробництві [16].

З одного боку, цей спосіб зварювання характеризується більшим відношенням глибини проплавлення до його ширини й високими швидкостями зварювання, вимоги до підготовки шва й збирання досить високі, а здатність зварювання по щілині – низька. Це обумовлює застосування лазерного зварювання з присадковим дротом для виконання з'єднань різних матеріалів із

проміжними шарами, а також для зварювання матеріалів, схильних до утворення тріщин.

Певні труднощі викликає подача присадкового дроту при необхідності заповнення оброблення або наплавлення. Одним із прийомів є подача дроту у фокальну пляму променя під кутом по синусоїдальній траєкторії. При використанні присадки знижуються вимоги до складання: збільшуються допуски до зазорів і депланації. За допомогою присадкового дроту можна здійснювати легування металу шва [17]. Недоліком такої технології є необхідність підвищувати потужність лазерного випромінювання або зниження швидкості зварювання. Відома технологія із поперечними до лінії шва коливаннями лазерного променя так, що метал ванни затікає в шпару в міру переміщення зони зварювання. Траєкторія коливань променя може бути не тільки прямолінійною, але кільцевою, еліптичною або комбінованою, рис. 2.

Як і за інших видів зварювання плавленням при лазерному зварюванні у ванні протікають металургійні реакції й відбувається кристалізація, а в навколошовної зоні – термічні перетворення. Отже, при розробці конкретних технологій необхідно враховувати вплив навколишньої атмосфери й захисного середовища. Проблема вирішується застосуванням флюсів або захисних газів (як правило, інертних). При високих швидкостях зварювання (близько 500 м/г) не проходить повної дегазації зварювальної ванни, а флюси сповільнюють остигання хвостової частини зварювальної ванни, поліпшує формування й легують метал шва. Флюс у вигляді пасти повинен наноситися тонким шаром (не більш 0,2–0,5 мм).

Новітні вдосконалення дозволили створити високопродуктивне устаткування з дистанційним керуванням для зварювання у всіх просторових положеннях. Особливо цінною технологічною якістю є можливість підводити лазерний промінь до декількох ділянок зварювання. У багатьох країнах уживають зусилля по розвитку лазерної технологічної техніки, лазерів і лазерних систем типу лазер – верстат, лазер – автомат, лазер – робот, лазер – обробний центр.

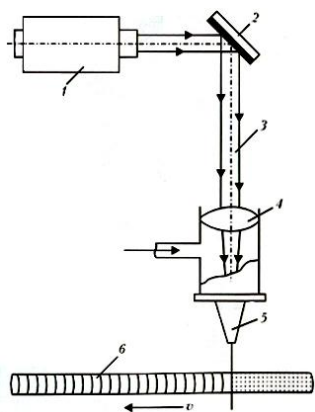
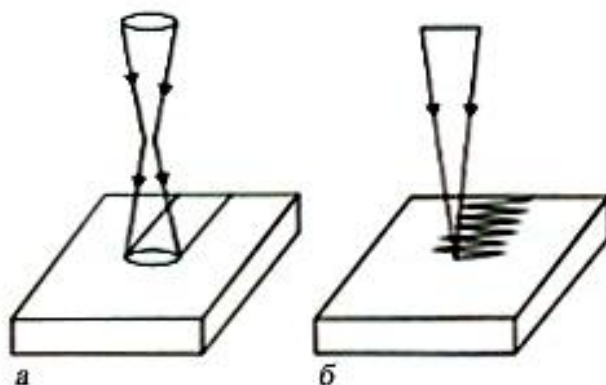


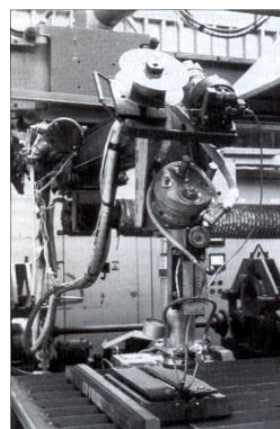
Схема системи CO₂-лазера для обробки металів: 1 – джерело лазера; 2 – дзеркало; 3 – промінь лазера; 4 – лінза; 5 – сопло; 6 – деталь



Схематичне зображення дефокусованого (а) і сканованого (віблюючого) (б) пучка



Лазерне зварювання кабіни автомобіля



Стенд для лазерного шовного зварювання

Рисунок 2. Системи зварювання лазером

Волоконні лазери є подальшим розвитком лазерів. Використання активних елементів на основі волоконної оптики з діодним накачуванням забезпечує високу якість променя, ККД перетворення електроенергії – до 20%. У цей час є діодні лазери з вихідною потужністю променя до 6 кВт. Потужність лазера в невеликій кількості кіловат досягають шляхом комбінування декількох діодних блоків з оптичними системами.

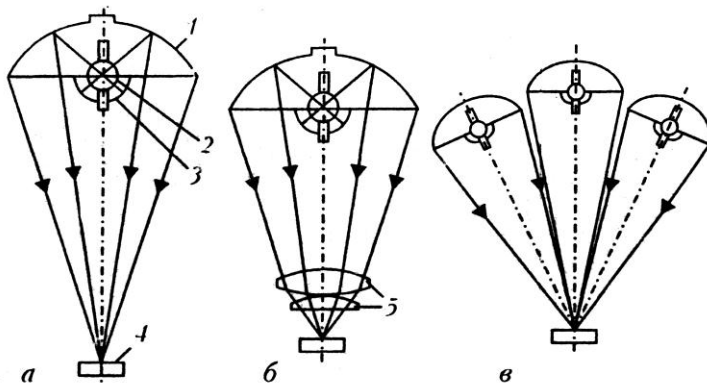
На відміну від газових або твердотільних лазерів збільшення потужності діодних лазерів досягають не подовженням резонаторів, а збільшенням кількості випромінюючих діодів і їхньої робочої поверхні, що приводить до зниження якості променя.

Досвід впровадження лазерного зварювання показав, що процес найбільш ефективний при виробництві сталевих великогабаритних тонколистових

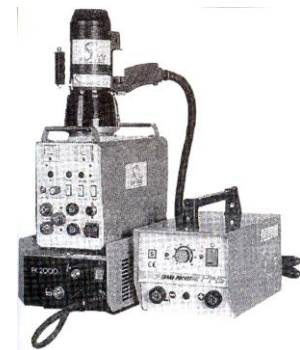
конструкцій (товщиною до 2 мм): бічних стінок пасажирських вагонів з аркушів корозієстійкої сталі; корабельні секції розміром 20x20 м (аркуші обшивання, а потім ребра жорсткості). Діапазон виробів, виконуваних із застосуванням лазерного зварювання, становить від великогабаритних листових конструкцій до мікродеталей для електронної промисловості. Лазерне зварювання двома променями з різних сторін можуть обробляти тривимірні великогабаритні елементи фіюзеляжу розміром до 10x3x1м, як з використанням присадкових матеріалів, так і без них. У Німеччині створена установка для лазерного мікрозварювання з мікроскопом, мініатюрною відеокамерою та комп'ютером, програми якого забезпечують адаптивне керування зварювальним процесом. Проблема опечатування титанових капсул з радіоактивними елементами (для медичних цілей) була вирішена шляхом зварювання Nd-АИГ-Лазером. Застосування лазерного променя найбільше ефективно при з'єднанні аркушів з покриттям (емальованих, оцинкованих аркушів). Технологія зварювання автомобільних деталей, розроблена в лабораторії електронно-променевої й лазерної обробки Московського автозаводу ім. І.О. Лихачова разом з НЦТЛ АН СРСР, МВТУ ім. М.Е. Баумана, ІЕЗ ім. Є.О. Патона й інших організацій. В 1970-х рр. у МВТУ ім. М.Е. Баумана були організовані дослідження із застосування лазера у медицині. Лазерне нагрівання позитивно зарекомендувало себе в хірургічних операціях і терапії [18]. Фахівці різних галузей техніки вважають, лазерні технології не вичерпали своїх можливостей і підлягають подальшій розробці.

До променевих джерел нагріву можна прирахувати кварцові лампи. В залежності від технологічних умов використовують установки з рефлекторами, лінзами, світловодами, лампами різних типів. Найчастіше використовують лампи інфрачервоного нагріву, потужність яких досягає декількох кіловат з температурою нагріву більше 2000°C. В 1970-х рр. паяння кварцовими лампами в інертному газі успішно використовувалося для виготовлення стільникових панелей з титанових сплавів, різних конструкцій з інших металів, а також пластмас.

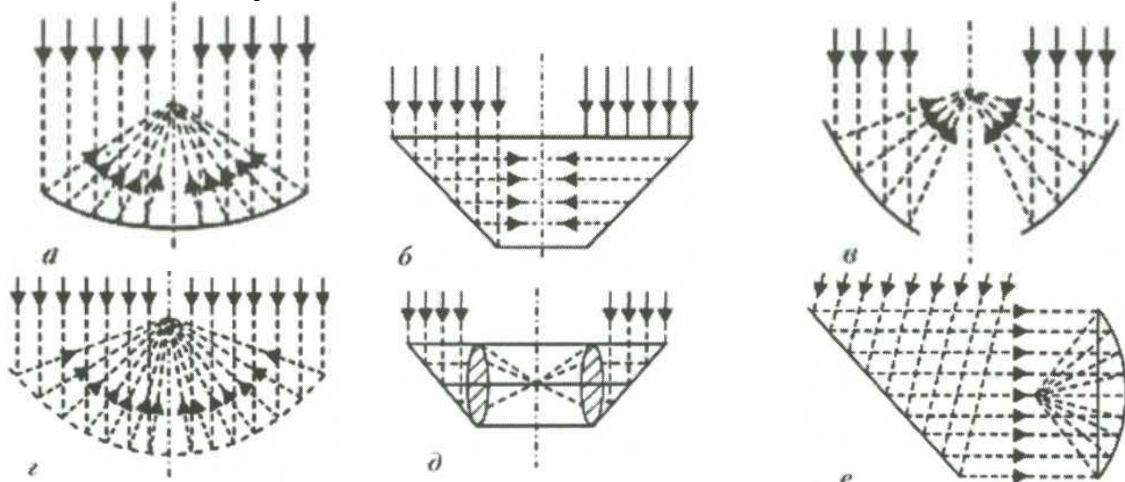
Із середини 1950-х рр. для вирішення багатьох проблем науково-технічного прогресу (виготовлення електронних приладів, вирощування монокристалів і інших) починають використовувати нагрів світловим променем. У 1968 р. в МАТІ ім. К.Е. Ціолковського спроектована перша експериментальна установка для зварювання і паяння променистою енергією УСПЛЭ-1-МАТИ (Нікіфоров Г. Д., Опарін М. І.). В першій половині 1970-х рр. створені світлопроменеві установки з мобільними пальниками у вигляді дугових ксенонових ламп потужністю до 10 кВт, проведені експериментальні дослідження установок з різними фокусуєчими системами, рис. 3.



Оптичні схеми експериментальних установок з моноеліпсоподібною (а), моноеліпсоподібною з лінзовим об'єктивом (б) і поліеліпсоподібною (в) для зварювання, паяння і термічної обробки променистою енергією: 1 – еліпсоподібний відбивач; 2 – дугова ксенонова лампа; 3 – контрвідбивач; 4 – об'єкт, що нагрівається; 5 – ценовий об'єктив



Світлопроменеве обладнання для зварювання роботизованого комплексу



Схеми геліоконцентраторів: а – параболоїдного (параболоциліндричного, циліндричного); б – кінцевого; в – тороїдального; г – складеного з окремих плоских дзеркал; д – дзеркально-лінзового; е – з рухомим дзеркалом і нерухомим концентратором

Рисунок 3. Створення і розвиток зварювання світло-променистою енергією

В 1980-х рр. розроблене більш потужне світло променеве обладнання. Спеціальні металеві відбивачі і імпульсний режим живлення дозволили збільшити щільність потоку до 12 кВт/см^2 , сфероеліпсоїдні фокусуючі системи дозволяють одержати кільцевий і розщеплений на декілька променів потік [4].

За межами СРСР (Японія, ФРН, США й ін.) променеве нагрівання почало розвиватися пізніше й для конкретних технологічних завдань. Всі вони в основному повторюють принципи, закладені в Московському авіаційному технологічному університеті, але на новому, більше високому рівні. Так, М. Такадзи й Т. Ямадзи (Японія) створили світлопроменеву установку для низькотемпературної пайки в електроніці, що базується на використанні випромінювання ксенонової лампи, але має гнучкий оптичний кабель, що, природно, значно розширює технологічні можливості процесу.

Ця установка успішно конкурує на ринку з установками з лазерним нагріванням аналогічного призначення [6]. Чеською фірмою «SVAR spol s.r.o.» за участю деяких російських організацій (НДІТ Автопром, НПФ «МГМ» та ін.) створений універсальний комплекс світлопроменевого устаткування для зварювання та паяння (рис. 4).

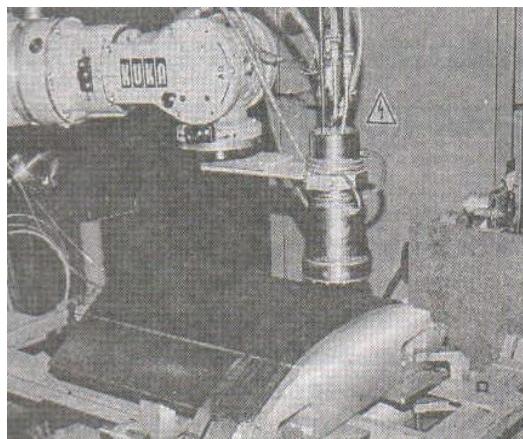


Рисунок 4. Установка для світло-променевого зварювання та паяння

Він складається зі світлопроменевого випромінювача, джерела живлення, сервісного блоку, блоку автономного водяного охолодження й може бути застосований у серійному виробництві, наприклад в автомобільній промисловості. Розроблено спеціальні фокусуючі комбіновані сфероеліпсоїдні

оптичні системи для пайки й термічної обробки, що дозволяють трансформувати променистий потік з нормально-нормально-розподіленого в кільцевий і навіть розщеплений на два й більше промені.

Створено комп'ютерні програми розрахунку геометричних параметрів відбивачів під конкретні технологічні завдання, що дозволило реалізувати на практиці принцип модульності при розробці світлопроменевого устаткування. Модулі променистого нагрівання із ксеноновими лампами потужністю від 0,12 до 10 кВт використовували в різних технологічних установках. Проектні роботи завершилися в 1991 р. виготовленням разом із РПО «Електромеханіка» серійного варіанта багатоцільової установки УСТСЛ-1 із програмним керуванням.

Отже, способи наплавлення променевими джерелами енергії, не зважаючи на певні переваги, мають обмежене застосування; для їх подальшого розвитку необхідно поглибити наукові дослідження в широкому діапазоні проблеми.

Список використаної літератури

1. *Артеменко В. А.* Развитие сварочного производства в объединении: от ручной сварки до электронно-лучевой / В. А. Артеменко // *Технология судостроения.* – 1990. – № 8. – С. 22–24.
2. *Бельчук Г. А.* Сварные соединения в корпусных конструкциях / Г. А. Бельчук. – Л. : Судостроение, 1969. – 279 с.
3. *Блащук В. Е.* Плазменная сварка титановых сплавов / В. Е. Блащук, Л. М. Оноприенко, Г. М. Шеленков [и др.] // *Автоматическая сварка.* – 1993. – № 3. – С. 31–33.
4. *Бондарев А. А.* Совершенствование конструкционных сварнолитых поршней дизелей, свариваемых способом ЭЛС / А. А. Бондарев, Е. Г. Терновой, А. Н. Шалай // *Автоматическая сварка.* – 1988. – № 8. – С. 74–75.
5. *Вайнерман А. Е.* Сварка корпусных конструкций в среде углекислого газа / А. Е. Вайнерман. – Ленинград, 1967 – 176 с.
6. *Гейкин В. А.* Электронно-лучевая сварка в производстве современных газотурбинных двигателей / В. А. Гейкин, Ю. С. Елисеев, В. А. Поклад [и др.] // *Технология металлов.* – 1999. – № 7. – С. 19–21.
7. *Довбищенко И. В.* Развитие способов дуговой сварки алюминия и его сплавов / И. В. Довбищенко, Б. А. Стебловский // *Автоматическая сварка.* – 2002. – № 12. – С. 32–36.

8. *Ильин В. Е.* Подводные лодки России : иллюстрированный справочник / В. Е. Ильин, А. И. Колесников. – М. : ООО «Астрель» ; ООО «АСТ», 2002. – 286 с.
9. *Ищенко А. Я.* Свариваемые алюминиевые сплавы со скандием / А. Я. Ищенко, Т. М. Лабур // Автоматическая сварка. – 1998. – № 8. – С. 3–6.
10. *Казимиров А. А.* Борьба с местными деформациями обшивки судовых надстроек / А. А. Казимиров // Автоматическая сварка. – 1952. – № 3. – С. 30–51.
11. *Киреев Л. С.* Сварка плавлением титана со сталью / Л. С. Киреев, В. Н. Замков // Автоматическая сварка. – 2002. – № 8. – С. 31–33.
12. *Колпаков И. Н.* Конструкционные алюминиевые материалы в судостроении / И. Н. Колпаков, Е. П. Осокин, В. И. Павлова [и др.] // Технология легких сплавов. – 2006. – № 1. – С. 73–80.
13. *Коробов П. Д.* Изготовление крупногабаритных конструкций из алюминиево-магниевых сплавов / П. Д. Коробов, М. С. Кернер // Сварка и пайка металлов / Ленинградский дом науч.-техн. пропаганды. – Ленинград, 1959. – Вып. 9. – С. 38.
14. *Кузьминов С. А.* Сварочные деформации в судостроительных конструкциях / С. А. Кузьминов. – Ленинград : Судостроение, 1984. – 286 с.
15. *Рабкин Д. М.* Некоторые особенности автоматической сварки алюминия и его сплавов / Д. М. Рабкин // Автоматическая сварка. – 1955. – № 3. – С. 13–16.
16. *Рабкин Д. М.* Сварка цветных металлов / Д. М. Рабкин, С. М. Гуревич, Ф. С. Бугрий. – М. ; К. : Машгиз. – 1959. – 70 с.
17. *Руссо В. Л.* Сварка алюминиевых сплавов в среде инертных газов / В. Л. Руссо. – Л. : Судостроение, 1962. – 160 с.
18. *Stone P.* A history of technology / P. Stone. – Oxford, 1958. – 765 p.