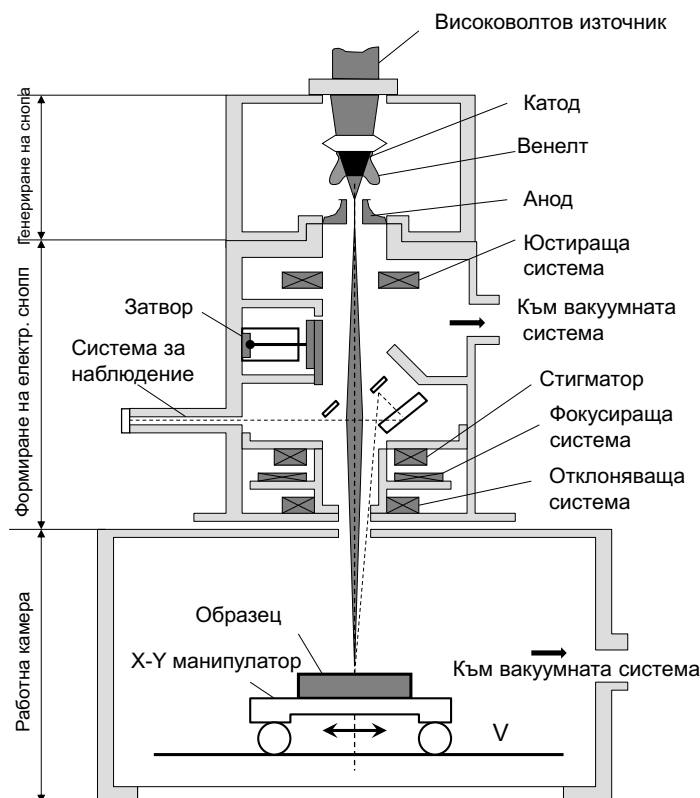


Заваряване с концентрирани топлинни източници

Част 1. Обзор на процесите

На съвременния етап на развитие на физиката все по-голямо и по-широко приложение в науката и практиката намират технологиите с използването на концентрирани енергийни източници - такива каквито са електронните и фотонните снопове. Основното преимущество на концентрирани енергийни източници пред конвенционалните топлинни източници е възможността да се получава висока локална плътност на енергия на повърхността на обработваните детайли, с което се обосновава широкото им приложение за заваряване - електроннолъчево и лазерно.

При електроннолъчево заваряване се извършва преобразуване на кинетичната енергия в топлина при взаимодействието на поток ускорени електрони с основния метал. В случая на лазерно заваряване енергията на фотоните се предава на свободните електрони в материала, в резултат на което нараства кинетичната им енергия и тази на решетката като цяло, т.е. предизвиква се рязкото повишаване на температурата. Принципно схема на електроннолъчева инсталация за заваряване е показана на фиг.1 Генерирането, ускоряването и фокусирането на електронния сноп се осъществява в електроннооптична система /електронна пушка/. Емитирането на електрони се осъществява от волфрамов катод разположен в електростатичната част на електронната пушка. След което под действие на ускоряващи и фокусиращи електростатични полета се формира електронния сноп.



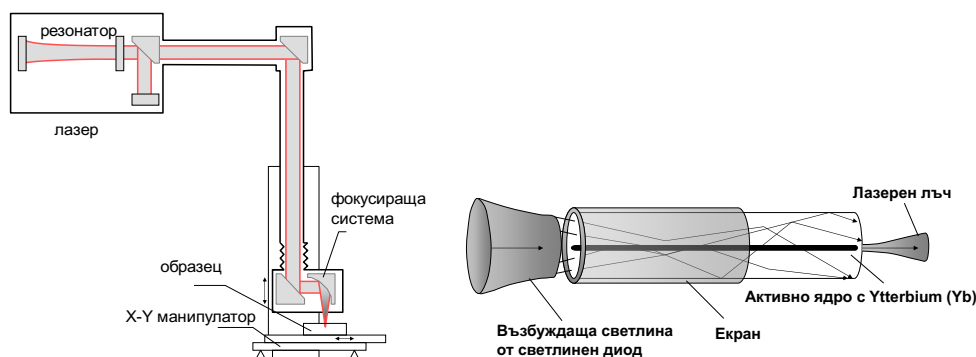
Фиг. 1 Принципно схема на процеса на електроннолъчево заваряване

Електроннооптичната система е свързана с помощта на високоволтови кабели с високоволтов генератор, съдържащ източник на ускоряващо напрежение и високопотенциални източници за отопление на волфрамовия катод и управление на електронния лъч. Инсталацията за електроннолъчево заваряване съдържа нисковолтови захранващи източници на фокусираща, отклонителна и насочваща системи на електронната пушка.

Процесът на заваряване се осъществява в работна камера в условията на висок вакуум, към която е закрепена електроннооптичната система. Във работната камера е

разположен XYZ манипулатор осигуряващ движението на заваряваните детайли. Обемът на технологичната камера зависи от размерите на заваряваните изделия. Стените на камерата осигуряват необходимата механична здравина, вакуумна плътност и защита на персонала от рентгеново излъчване, създавано при взаимодействие на потока ускорени електрони със заваряваните детайли. Вакуумната система служи за създаване и поддържане в процеса на заваряване на висок вакуум и се състои от дифузионни високовакуумни помпи, турбомолекулярни и механични форвакуумни помпи, както и от вакуумни кранове, тръбопроводи и измервателна апаратура. За реализиране на процеса на електроннолъчево заваряване вакуумната система трябва да обезпечи в електроннооптичната система работното налягане е от $1.33 \cdot 10^{-3} \text{Pa}$ до $1.33 \times 10^{-5} \text{Pa}$ и в работната камера от 1 Pa до 10^{-3}Pa .

Електронният сноп се насочва към заваръчната междина а заваряваните детайли се предвиждат с помощта на XYZ манипулатора, при което е възможно да се осъществи сканиране на снопа чрез електромагнитна отклонителна система както напречно на междината така и по дължината и. Управлението на: вакуумната система, XYZ манипулатора, технологичните параметри на електроннолъчево заваряване /ускоряващо напрежение, ток на електронния сноп, ток на фокусиращата система / в съвременните инсталации се извършва от микропроцесорна система. Процеса на електроннолъчево заваряване се контролира и наблюдава чрез използване на оптични системи а също така и CCD техника.



Фиг.2 Принципно схема на: а) CO₂ лазерно заваряване, б) фибров (vlakнов) лазерен генератор

Таблица 2 Сравнение на типовете лазери

Активна среда	CO ₂	Nd:YAG	Yb
Възбуждане	висококчестотно	лампово	диодно
Мощност	до 45 kW	до 4 kW	до 50 kW
Дължина на вълната	10,6μm	1,06μm	1,07μm
Система за пренасяне	Огледална	Светлинни влакна	Светлинни влакна
К.П.Д	≈ 10%	3 ÷ 4%	> 30%

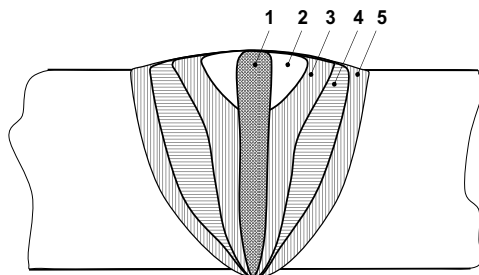
Лазерният лъч се формира в специално устройство - квантов генератор (лазер).

При лазерно заваряване в зависимост от вида на лазерния източник се прилагат обикновено две основни типа лазери:

(i) Газови: CO₂ лазери (въглероддвуоксни), при които се излъчва кохерентна светлина в горният край на инфрачервената зона 10.6μm.

(ii) Твърдотелни: Nd:YAG (Neodymium:Yttrium-Aluminium-Granat), и намиращите все по-голямо приложение фиброви (vlakнови), дотирани с Yb (Ytterbium) лазери. Те излъчват кохерентна светлина с дължина на вълната 1,06...1,07 μm съответно. На фиг.2а е представена CO₂ лазерна система и на фиг.2b - фибров лазерен генератор. В Таблица 1 е показано сравнение на типовете лазери използвани за заваряване на материали.

Основното предимство на електроннолъчевото и лазерно заваряване пред конвенционалните методи (електродъгово, аргондъгово, плазмено заваряване и др.) е, че в резултат на високата концентрация на енергия в заварявания образец, общото количество топлина, която се въвежда в детайлите и е необходима за заваряване на определено сечение е няколко пъти по-малко от това на конвенционалните методи. Това обуславя и значително по-ниско топлинно влияние на процеса на лъчево заваряване върху околошевната зона и заваръчния шев (фиг.3).

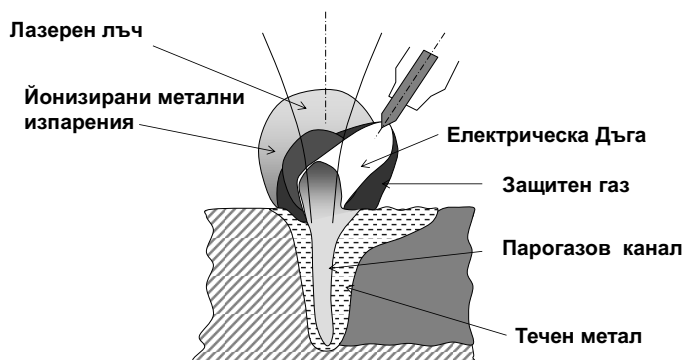


Фиг. 3 Схематично сравнение на формите на заваръчния шев за някои методи на заваряване чрез разтопяване: 1 - електроннолъчево и лазерно заваряване с образуване на парогазов канал; 2 - както 1 но без образуване на парогазов канал; 3 - плазмено заваряване; 4 - заваряване с топящ се метален електрод в защитна газова среда; 5 - заваряване с волфрамов електрод в защитна газова среда.

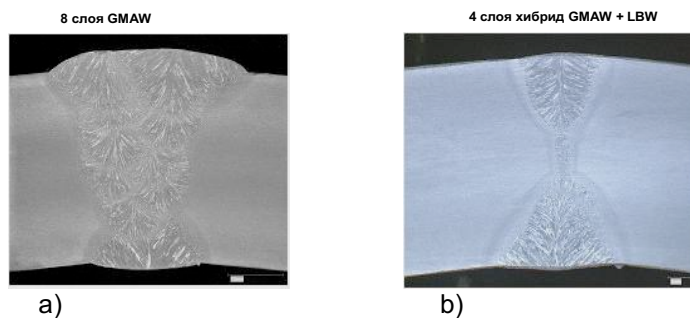
При лъчевите методи на заваряване се получава типичната "кинжална" форма на заваръчния шев при заваряване с парогазов канал. Съотношението между широчината и дълбочината на заваръчния шев достига 1:30 и повече. Мощността и скоростта на заваряване определят формата и размерите на заваръчния шев. Предимство на лазерното заваряване пред електроннолъчевото, е че процеса протича при атмосферни условия, докато електроннолъчевото заваряване изисква обикновено създаване на вакуум в работната камера. И при двата процеса се постигат високи скорости на заваряване и висока степен на автоматизация на технологичния процес. Освен за заваряване лазерният лъч се използва още и за рязане, наваряване и напластяване.

Хибридно лазерно заваряване

Ако се направи сравнение между способите на електродъгово и лъчево заваряване то те се отличават не само по формата на заваръчния шев (фиг. 3), но и в използването на допълнителен метал. Докато развитието на способите за електродъгово заваряване с топящ се метален електрод е органически свързано с употребата на допълнителен метал и тъй нареченото саморегулиране на електрическата дъга, то при лъчевите методи неговата употреба е по-скоро изключение. При тях липсва физичната и естествена за електрическата дъга с метален електрод обратна връзка между скоростта на топене на допълнителния метал и мощността на лазерния лъч. Отстраняването на този „недостатък“, е свързано с употребата на скъпо струващи сензори и системи усложняващи производствения процес. В същото време употребата на допълнителен метал, наред с намаляването на изискванията за точна подготовка на краищата и точен монтаж на заваряваните детайли, оказва също и благоприятно металургично въздействие на самия заваръчен процес.



Фиг.4 Схема на хибриден процес на заваряване: лазерно заваряване и електродъгово заваряване с топящ се метален електрод в защитна газова среда



Фиг. 5 Напречен макрошлиф на заварено съединение от нисколегирана стомана заварено: а) електродъгово с топящ се електрод в защитна газова среда; б) хибридно (лазерно и електродъгово с топящ се метален електрод в защитна газова среда)

Нови възможности за обединяване на предимствата на различните методи на заваряване е хибридно заваряване. То обединява два или повече метода с еднакъв принцип и място на действие. Един от важните примери са хибриден процес е обединяването на метода на лазерно заваряване с метода на електродъгово заваряване с топящ се метален електрод в защитна газова среда . На фиг. 4 е показан схематично този хибриден процес. На фиг.5 е направено сравнение на заваръчните шевове на съединение от нисколегирана стомана изпълнено конвенционално с GMAW (фиг.5а) и хибридно с LBW+GMAW (фиг.5б).

Литература

Михайлов, В. Кархин, П. Петров “Основи на заваряването” изд. „Строителни Конструкции“ ООД, ISBN 978-954-90912-6-7, с 197, (2012).



Петър Петров,
Професор, доктор на физическите науки,
Институт по Електроника, БАН
E mail: peterpitiv@gmail.com