A-PDF Watermark DEMO: Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

فرایند جوشکاری با پرتو الکترونی

مقدمه

برای اولین بار در حدود سال ۱۹٤۸ میلادی آقای استیگر والد[1] به کار بر روی پرتو الکترونی به عنوان یک منبع حرارتی در ماشین کاری دقیق پرداخت. در سال ۱۹۵۷ دکتر استور[2] از موسسه انرژی اتمی فرانسه نتایج جوشکاری با پرتو الکترونی را که از سال ۱۹٥٤ آغاز کرده بود، منتشر ساخت. تجهیزات استفاده شده توسط وی کاملاً با وسایلی که بعداً استفاده شد، متفاوت بود. او از یک منبع با ولتاژ بین ۱٤-۱۰ KV استفاده کرد. در سال ۱۹٥۸، یک ماشین مته کاری ، با پرتو الکترونی در ایالت متحده ابداع شد که در جوشکاری نیز مورد استفاده قرار گرفت. در همان سال برتون[3] و فرانک هوسر[4] مطالعات و آزمایشات خود را در مورد جوشکاری زیرکونیوم به منظور استفاده در مصارف هسته ای آغاز کردند. در کنار این تلاشها، بهینه سازی و اقتصادی کردن فرایند در آمریکا مورد توجه قرار گرفت. در حال حاضر این فرایند در بسیاری از صنایع به ویژه صنایع هسته ای و هوافضا مورد استفاده قرار می گیرد.

اصول فرایند

فرایند جوشکاری با پرتو الکترونی یک فرایند اتصال ذوبی است که در طی آن قطعه کار توسط جریانی متراکم از الکترونهای دارای سرعت بالا بمباران شده و کل انرژی جنبشی الکترونها، در اثر برخورد با قطعه کار به حرارت تبدیل می شود. این حرارت موجب ذوب لبه های قطعات و اتصال دو قطعه پس از انجماد می شود.

جوشکاری با پرتو الکترونی معمولاً در یک محفظه خلأ با استفاده از یک سیستم تولید و تمرکز پرتو الکترونی انجام می شود. جوشکاری در یک محفظه بسته محدودیت های زیادی را به دنبال دارد ولی نقطه قوت بسیار مهم آن، انجام فرایند در یک محیط تمیز و عاری از هر گونه آلودگی است که موجب می شود یک جوش با

---

[1]- K.H. Steiger Wald

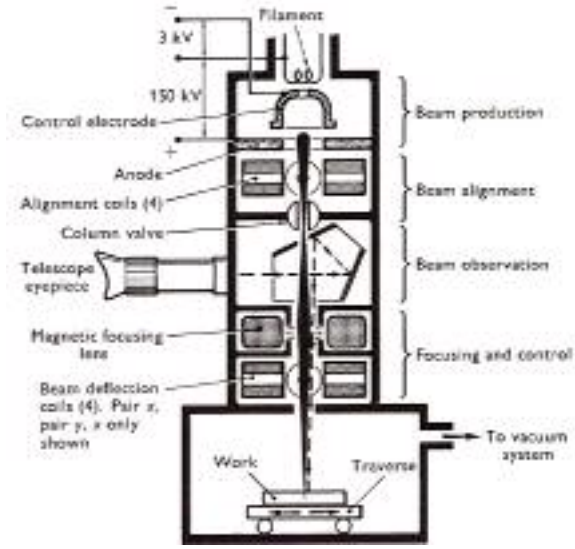
[2]- J.A. Stohr

[3]- Burton

[4]- Frank houser

http://www.mohandes-iran.com

کیفیت بسیار عالی ایجاد شود. شکل ۱ یک نمای کلی از دستگاه جوشکاری با پرتو الکترونی را نشان می دهد.



شکل ۱- یک نمای کلی از دستگاه جوشکاری با پرتو الکترونی

بارزترین مشخصه جوشکاری با پرتو الکترونی، توانایی آن در ایجاد جوش های بسیار باریک و کاملاً عمیق است. به عنوان مثال به کمک این فرایند می توان تسمه های فولادی با ضخامت ۱۲ میلیمتر را به شکل سر به سر به گونه ای به هم جوش داد (با نفوذ کامل) که پهنای جوش از ۱/٦ میلیمتر بیشتر نشود. این مشخصه (نسبت عمق به پهنای جوش) در مقایسه با الگوی جوش ذوبی قوسی و روش های حفاظت با گاز بسیار بالاتر است. این امر ناشی از مکانیزم و نحوه عملکرد خاص پرتو الکترونی در هنگام جوشکاری است. در روش های جوشکاری قوسی، منابع حرارتی تنها اندکی از سطح را ذوب می کنند و عمق نفوذ جوش ناشی از حرارتی است که عمدتاً از طریق هدایت از سطح ذوب شده در تمام جهات می باشد. با توجه به این که هدایت حرارت در تمام جهات انجام می گیرد با عمیق تر شدن جوش، عرض آن نیز افزایش می یابد.

http://www.mohandes-iran.com

پرتو الکترونی می تواند دارای چنان شدت حرارتی باشد که به طور همزمان در کنار ذوب کردن فلز، عمل تبخیر و ایجاد سوراخ کلید[1] در فلز مذاب را در ولتاژهای بالا انجام دهد. دیواره این سوراخ به صورت مذاب است و با پیشرفت سوراخ در محل اتصال، فلز بیشتری از دیواره ذوب می شود. با حرکت پرتو، عمل ذوب شدن حول دهانه سوراخ ادامه می یابد و همزمان با آن انجماد در قسمت پشت سوراخ انجام می گیرد.

تفنگ الکترونی قلب این فرایند جوشکاری است. در تفنگ الکترونی، الکترونهای نشر داده شده از کاتد که به شکل پرتو درآورده شده اند، به سمت قطعه کار شتاب داده می شوند. در اینجا از قانون ساده الکتریسیته دفع بارهای همنام از یکدیگر و جذب بارهای غیر همنام توسط یکدیگر استفاده می شود. یک الکترود با شکل کاملاً مشخص فنجانی با بارهای منفی پرتو را شکل می دهد. شتاب دهی به الکترونها توسط میدان الکتریکی ناشی از ولتاژ اعمال شده و به کمک یک الکترود با بار مثبت انجام می‌شود. پرتو حاصل شده با تمرکز بالا با سرعت ۳۰ تا ۷۰ درصد سرعت نور از سوراخ کوچک میان آند عبور کرده و به قطعه کار می رسد. دفع متقابل الکترونها باعث واگرایی پرتو در طی مسیر خود می شود. بنابراین باید این مسأله تحت کنترل باشد تا پرتو در محل از پیش تنظیم شده با قطعه کار برخورد کند و قطر پرتو به هنگام برخورد با قطعه مناسب باشد.

در تجهیزات قدیمی تر از خود قطعه کار به عنوان آند شتاب دهنده استفاده می شد که چندین عیب داشت. جوشکاری در عمق های از پیش طراحی شده امکان پذیر نبود چرا که لبه های آماده سازی شده قطعه کار، پرتو را به خود جذب می کرد و کنترل روی فرایند کاهش می یافت. همچنین استفاده از قید و بند در کنار قطعه کار به راحتی امکان پذیر نیست چرا که قید و بندها نیز مانند قطعه کار در معرض اتصال قرار می گرفتند. بنابراین تصمیم گرفته شد که آند شتاب دهنده در تفنگ الکترونی قرار گیرد و سیستم تولید پرتو کاملاً از قطعه کار مستقل باشد.

حرارت ورودی در جوشکاری با چهار پارامتر کنترل می شود: تعداد الکترون در ثانیه (جریان پرتو) که با قطعه کار برخورد می کند، سرعت الکترونها در لحظه برخورد (پتانسیل شتاب دهی)، قطر پرتو الکترونی روی صفحه برخورد با

[1]- Key hole

http://www.mohandes-iran.com

قطعه کار (اندازه قطعه پرتو) و سرعت انتقال دستگاه یا حرکت قطعه کار (سرعت جوشکاری). دو مورد اول تقریباً ثابت هستند و با کنترل ولتاژ و آمپر دستگاه کنترل می شوند. قابلیت کنترل قطر پرتو یک مزیت نسبت به جوش های قوسی محسوب می شود.

الکترونها دارای وزن کمی می باشند و به راحتی در برخورد با مولکولهای هوا یا گاز محافظ منحرف یا پراکنده می شوند. جوشکاری را می توان در خلأهای تا ۵×۱۰^{-۳} mmHg انجام داد ولی محدوده معمول خلأ بین $۱۰^{-۴} - ۱۰^{-۵}$ mmHg می‌باشد. این فشار معادل با خلوص اتمسفری ٪ ۹۹/۹۹۹۹ یا کمتر از ۱ ppm آلودگی است.

متغیرهای فرایند (پارامترهای جوشکاری)

۱- انرژی ورودی به قطعه کار

این انرژی توسط رابطه زیر بر حسب ژول بر واحد طول به دست می آید:

$$Energy\ input\ (H.I.P)\left(\frac{J}{in}\right)=\frac{E.I}{s}=\frac{P}{s}$$

E: ولتاژ شتاب دادن پرتو

I: جریان پرتو (A)

P: قدرت پرتو (w یا $\frac{J}{S}$)

S: سرعت جوشکاری ($\frac{in}{S}$)

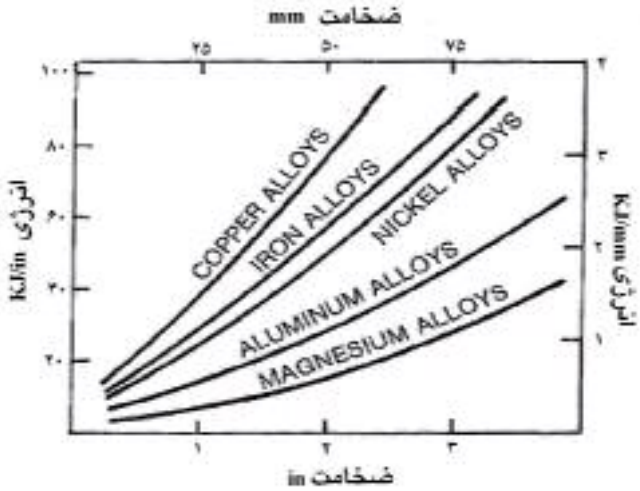
شکل ۲ چگونگی تغییر انرژی ورودی برای آلیاژهای مختلف را بر حسب ضخامت نشان می دهد. از این منحنی ها می توان برای تعیین توان مورد نیاز و تنظیم سرعت جوشکاری برای آلیاژها با ضخامتهای مختلف استفاده نمود.

۲- ولتاژ شتاب دهنده

چنانچه ولتاژ شتاب دهنده افزایش یابد نفوذ جوش افزایش خواهد یافت. چنانچه فاصله قطعه تا تفنگ زیاد باشد و یا تولید جوش با پهنای کم مد نظر باشد ولتاژ شتاب دهنده می بایست افزایش یابد. ولتاژ شتاب دهنده بر روی سرعت الکترونها و

http://www.mohandes-iran.com

انرژی جنبشی و حرارت موثر از برخورد الکترونها به سطح قطعه کار تـاثیر مسـتقیم دارد.



شکل ۲- انرژی داده شده به قطعه کار برای آلیاژهای مختلف

دستگاه های جوشکاری ممکن است ولتاژ بالا یا ولتاژ پایین باشند. با آن کـه تجهیزات ولتاژ پایین قدرت نفوذ پرتو به مراتب کمتری نسبت به تجـهیزات ولتـاژ بـالا دارند ولی به خاطر ارزان تر بودن و شرایط نگهداری راحت تـر، قـابل توجـه هسـتند. سازندگان تفنگ های الکـترونی دائمـاً تـلاش مـی کننـد تـا قـابلیت تمرکـز پرتـو را در ولتاژهای پایین افزایش دهند. ولتاژ پایین تر برای رسـیدن بـه پرتـو نـازکتر مطلوبـتر است ولی قدرت نفوذ پرتو کاهش می یابد.

۳- چگالی توان

با افزایش ولتاژ و کاهش قطر پرتو، چگالی توان افزایش می یابد. مقدار حـرارت تولیـد شـده در نقطـه جوشـکاری نـیز تـابع ایـن چگـالی تـوان اسـت. ولتـاژ دسـتگاه هـای جوشکاری الکترونی بین ۱۰ تا ۱۵۰ کیلو ولت و اندازه نقطـه متمرکـز شـدن پرتـو بیـن ۰/۰۰۱ تا ۰/۲۵ اینچ متغیر است. بنابراین می توان به چگالی توانی تـا ۲۵ مگـاوات بـر

http://www.mohandes-iran.com

اینچ مربع دست یافت. افزایش بیش از حد چگالی توان سبب بخار شدن فلزات می شود.

۴- جریان پرتو

چنانچه جریان پرتو افزایش یابد نفوذ جوش افزایش خواهد یافت. شدت جریان با توجه به ولتاژ ورودی که با شدت پرتو ارتباط دارد تغییر می کند.

٤- فاصله بین کاتد و آند

توان و شدت جریان پرتو در سطح قطعه کار می تواند با تغییر فاصله بین کاتد و آند تغییر یابد.

۵- سرعت حرکت (سرعت جوشکاری)

چنانچه سرعت جوشکاری افزایش یابد، پهنای گرده و همچنین نفوذ جوش کاهش می یابد.

۶- فلز پر کننده

در این فرایند معمولاً از فلز پرکننده استفاده نمی شود ولی در شرایطی که ایجاد خواص متالورژیکی و فیزیکی معینی در فلز جوش مد نظر باشد، ممکن است از فلز پر کننده استفاده شود. در برخی موارد با افزودن فلز پر کننده، بعضی از خواص فلز جوش نظیر انعطاف پذیری، سختی و یا مقاومت به ترکیدگی افزایش می یابد.

محیط جوشکاری

جوشکاری با پرتو الکترونی را می توان در هر سه محیط خلأ بالا، خلأ متوسط و فشار اتمسفری انجام داد.

(۱) جوشکاری پرتو الکترونی در خلأ بالا (EBW-HV)

در اغلب موارد این فرایند در یک محیط خلأ انجام می شود که حداکثر فشار محیط کمتر از ۰/۱۳ Pa (۱×۱۰$^{-۳}$ torr) می باشد. حفظ این میزان خلأ اهمیت زیادی دارد زیرا فشار محیط اثرات مخربی بر قابلیت های پرتو الکترونی دارد. کاربرد این روش در

http://www.mohandes-iran.com

مواردی است که نیاز به دقت بسیار بالا می باشد و محیط فرایند باید کاملاً خالص باشد تا از آلوده شدن فلز جوش با اکسیژن، نیتروژن و یا هیدروژن جلوگیری شود. کاربرد این روش بیشتر در در صنایع هسته ای و انرژی اتمی، صنایع هوافضا و صنایع الکترونیک است. از جمله می توان به اجزای نگه دارنده سوخت هسته‌ای ، مخازن تحت فشار راکت ها، اجزا و آلیاژهای خاص موتور جت و سیستم هایی اشاره کرد که به آب بندی بالا در شرایط خلأ نیاز دارند. جوشکاری آلیاژهای فعال نظیر زیرکونیم و تیتانیم به علت خطر آلودگی به اکسیژن و نیتروژن با این روش انجام می‌شود.

تحت شرایط خلأ بالا، تعداد برخورد الکترونهای پرتو با مولکولهای هوا بسیار کم است و لذا پراکندگی (پهن شدن) پرتو رخ نمی دهد. تحت فشار خلأ ۰/۱۳ پاسکال امکان تولید پرتو با تمرکز بالا در فاصله چندین فوت نیز وجود دارد و می توان به جوش های باریک و بسیار عمیق دست یافت. در این فرایند علاوه بر حوضچه جوش، منطقه متأثر از حرارت جوش نیز پهنای بسیار کمی دارد.

محدودیت مهم استفاده از خلأ بالا در محفظه جوشکاری، زمان طولانی انجام فرایند می باشد. به عنوان مثال تخلیه اولیه هوای یک محفظه با حجم m^3 ۰/۸۵ حدود ۳ دقیقه و یک محفظه به حجم m^3 ۸/۵ حدود ۱۰ دقیقه زمان نیاز دارد که البته این زمانها منحصر به مواردی است که سیستم آلودگی قبلی نداشته باشد. در عمل این زمانها به دو برابر این مقدار نیز می رسند. محدودیت دیگر این روش ، ابعاد قطعه کار می باشد. جوشکاری قطعات بزرگ علاوه بر افزایش هزینه برای ایجاد یک محفظه بزرگ، کنترل فرایند را نیز مشکل تر می سازد.

جوشکاری در این حالت با ولتاژ کم انجام می شود و نیاز چندانی به استفاده از ولتاژهای خیلی بالا نمی باشد. ولتاژ پرتو عموماً در حدود ۱۸۵-۱۵ کیلو ولت و جریان آن نیز ۱۰۰۰mA-۲ با سرعت جوشکاری mm/min ۵۰۰۰-۱۰۰ می باشد. با افزایش ولتاژ یا جریان ، عمق نفوذ زیادتر می شود که اثری معادل با کاهش سرعت جوشکاری دارد.

http://www.mohandes-iran.com

۲- جوشکاری پرتو الکترونی در خلأمتوسط (EBW-MV)

جوشکاری پرتو الکترونی در خلأ متوسط معمولا در فشاری حدود ۱۰Pa (۱۰ $\times$ 10^{-2} torr ٦/٥) صورت می گیرد که تا ٤٠Pa نیز قابل افزایش است. محفظه تفنگ الکترونی در فشار ۱/۳–۱۳ mPa (10^{-5} – ۱۰ $^{-4}$torr) نگه داشته می شود که بدین منظور علاوه بر پمپ مکانیکی، از پمپ های دیفوزیونی نیزاستفاده می شود.

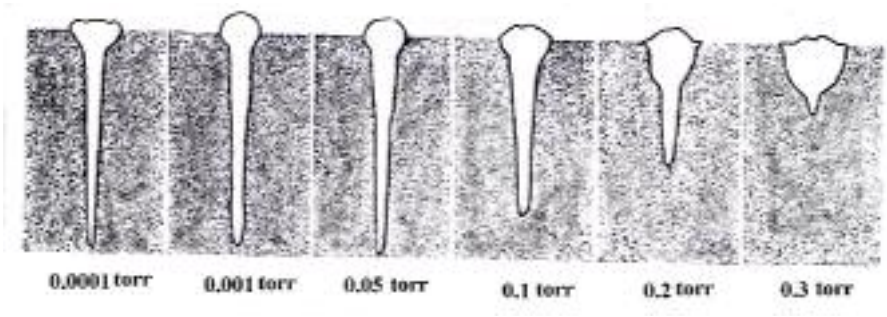
مهمترین مزیت روش با خلأ متوسط نسبت به خلأ بالا ، زمان کوتاهتر تخلیه محفظه است که عموماً ٤٠ ثانیه طول می کشد و لذا شرایط دست یابی به سرعت تولید بالاتر نیز فراهم می باشد. از این روش برای اتصال فلزات بسیار حساس استفاده نمی شود. رابطه تقریبی فشار محفظه با درصد کل گازهای موجود در اتمسفر با جدول ۱ قابل توصیف است.

جدول ۱- رابطه تقریبی فشار محفظه با غلظت کل گازهای موجود در محفظه

مقدار گاز	فشار محفظه	
(ppm)	torr	Pa
۰/۰۱	۱۰-۵	۰/۰۰۱۳
۱/۳	۱۰-۳	۰/۱۳
۱۵	۱۰-۲	۱/۳
۱۳۲	۱۰-۱	۱۳
۵۰۰	٤*۱۰-۱	۵۰

در مقایسه با روش خلأ بالا با توان انرژی مساوی، عمق نفوذ در این روش ٪۱۰–۵ کمتر است و لذا پهنای جوش حاصل نیز بزرگ تر است. تصویر شماره ۳ اثر فشارمحفظه جوشکاری را بر نفوذ و شکل حوضچه جوش فولاد زنگ نزن آستنیتی ۳۰٤ نشان می دهد.

http://www.mohandes-iran.com



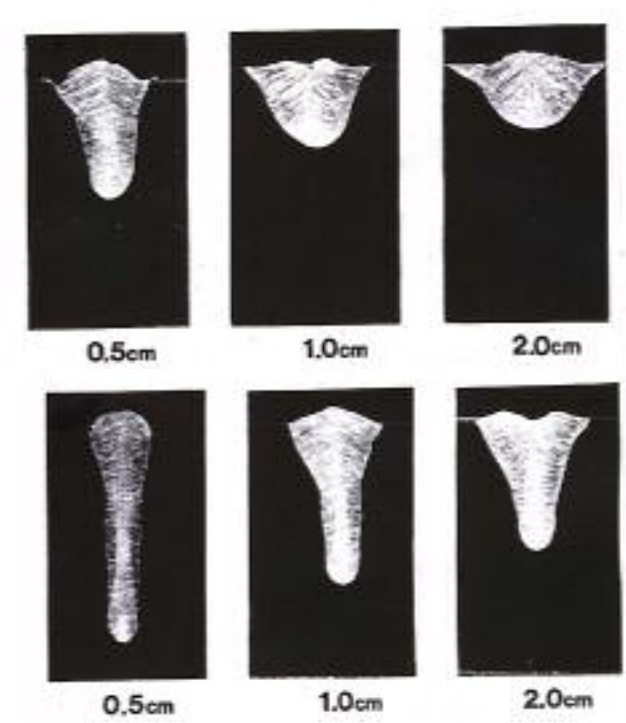
شکل ۳- تأثیرفشارمحفظه جوشکاری را بر نفوذ و شکل حوضچه جوش فولاد زنگ نزن ۳۰٤

۳- جوشکاری پرتو الکترونی بدون استفاده از خلأ (EBW-NV)

در این روش، پرتو الکترونی در خلأ بسیار بالا تولید می شود ولی قطعه کار در محفظه خلأ قرار داده نمی شود. پرتو به ترتیب از محفظه های با خلأ متفاوت عبور می کند که با افزایش فشار در حین حرکت پرتو ، قطر دهانه محفظه ها کم می شود و این حالت متغیر تا رسیدن به فشار اتمسفری ادامه دارد. این سیستم دارای قابلیت حرکت افقی یا عمودی می باشد.

در این روش الکترونهای پرتو با سرعتی حداکثر تا ۷۰ درصد سرعت نور حرکت می کنند. در حین خروج از محفظه و رسیدن به فشاراتمسفری به تدریج برخوردها با پرتو زیاد می‌شود و پراکندگی آن نیز بالا می رود و چگالی میزان پرتو به تدریج کم می شود. چگالی توان پرتو برخورد کننده در این حالت بستگی شدیدی به نوع مولکولهای اتمسفر اطراف پرتو دارد. شکل ٤ وضعیت عمق نفوذ در مورد هلیم و هوا را در فواصل مشابه توصیف می کند. همان طور که در شکل مشاهده می شود با افزایش فاصله آخرین دهانه با سطح قطعه کا ر، عمق نفوذ کاهش می یابد. همچنین استفاده از هلیم به جای هوا نتایج مطلوبتری به همراه خواهد داشت که البته می بایست نرخ دمش گاز هلیم به محل اتصال کاملاً کنترل شده باشد تا تنها مولکولهای هوا را کنار بزند و خود مانع جدیدی برای نفوذ پرتو و افزایش عمق نفوذ جوش نباشد. از جمله کاربردهای این روش می توان به جوشکاری اجزای انتقال نیرو در خودرو و قالبهای ریخته گری تحت فشار آلومینوم اشاره کرد.

http://www.mohandes-iran.com



شکل ٤- مقایسه عمق نفوذ جوش در دو اتمسفرهلیم و هوا در فواصل مشابه

تجهیزات فرایند

یک ماشین جوشکاری پرتو الکترونی سه جزء اصلی دارد:

الف) یک تفنگ الکترونی که پرتو کنترل شده الکترونی تولید می کند.

ب) یک محفظه خلأ با تجهیزات و پمپ های مربوطه

ج) یک دستگاه که پرتو را در امتداد خط اتصال حرکت می دهد یـا قطعـه کـار را زیـر تفنگ الکترونی جابجا می نماید.

تجهیزات مربوط به پروسه جوشکاری پرتو الکـترونی از نظـر ولتـاژ مصرفـی بـه دو دسته تقسیم می گردند:

۱) تجهیزات ولتاژ بالا

۲) تجهیزات ولتاژ پایین

۱- تجهیزات ولتاژ بالا

http://www.mohandes-iran.com

این تجهیزات جوشکاری خلأ معمولاً در ولتاژهای بالای ۶۰ کیلو ولت بـه کـار گرفتـه می شوند. ماشین های اولیـه دارای محفظـه کـوچکـی بـه ابعـاد ۱۵ in×۱۲ in× ۸ in و حداکثر توان خروجـی ۱ kw بودنـد کـه در حـال حـاضر ایـن ماشـینها دارای محفظـه استانداردی به ابعاد ۲۳ in × ۳۶ in × ۲۳ in و توان خروجی ۲۵ Kw هستند. علاوه بـر مزیت جوشهای عمیق تر ، توان بالای پرتو باعث توانایی جوشکاری بـا سـرعت هـای بالا (چند صد فوت در دقیقه) می‌شود.

- ستون دید الکترون

ستون دید الکترون شامل تفنگ الکترونی ، چشمی الکترون و سیسـتم دیـد مـی باشـد. تفنگ الکترونی خود شتاب دهنده است. الکترونها از فیلمان تنگسـتن حرارتـی یـا کـاتد تابش می یابند و به صورت الکتروستاتیک توسط یک شبکه انحراف دهنـده، بـه پرتـو تبدیل می شوند و توسط آند شتاب می یابند. آند و دیگر اجزای زیـر آن شـامل قطعـه کار در پتاسنیل زمین هستند. ولتاژ کاتد تا ۱۵۰۰۰۰ ولت قابل تغییر است. بنابراین یک ولتاژ شتاب دهنده مثبت برای الکترونها تولید می کند. جریان پرتـو وابسـته بـه ولتـاژ شتاب دهنده با کنترل خروجی ولتاژ مورد نیاز برای شبکه شـتاب دهنـده کنـترل مـی شود.

پرتو به وجود آمده با تفنگ الکترونی توسط یک لنز الکترومغناطیسـی کـه در پایین ستون دید قرار دارد، متمرکز می شود. پرتو با تغییر دادن جریان برای لنزهـای متمرکز کننده، می تواند در پایین ستون متمرکز شود. قطر این پرتو متمرکز شده بیـن ۰/۰۰۵ (در حداقل توان) تا ۰/۰۱۵ اینچ (در حداکثر توان) متغیر است.

کویل انحراف دهنده برای منحرف نمـودن پرتـو متمرکـز شـده ، حـول خـط مرکزی جوش در جهت محورهای X یا Y با جریان AC (انـحراف نوسـانی) و یـا DC (انحراف ثابت) با دامنه های مختلف، در زیر لنزهای مغناطیسی قرار دارد. این انحراف می تواند جوشهای دایـره ای یـا بیضـوی را در صفحـه افقـی بـه وجـود آورد. چـون جوشکاری پرتو الکترونی توسط یک پرتو غیر قابل دیدن در یک محفظه پوشیده شـده انجام می گیرد، مشکلات جدی برای دیدن، ثابت نگهداشتن قطعات و جوشکاری وجود دارند. برای حل این مشکل از یک سیستم دید میکروسکوپـی اسـتفاده مـی شـود. ایـن

http://www.mohandes-iran.com

سیستم در درون ستون دید الکترونی قرار دارد و می تواند قطعه کار را قبل، در حین و بعد از جوشکاری در طول محور پرتو با بزرگنمایی نشان دهد.

- منبع قدرت

منبع قدرت با ولتاژ بالا در یک کابینت جدا قرار دارد، اما کنترل ها در ایستگاه اپراتور قرار دارند. ولتاژ خطی در حالت عادی ٤٤٠ ولت، سه فاز و ٦٠ سیکل است، اما ولتاژ متناوب ٢٢٠ ولت نیز می تواند استفاده گردد.

- محفظه کار

جداره محفظه کار معمولاً به منظور تمیز بودن و حداقل بودن خروج گاز از فولادهای زنگ نزن ساخته می شود و در قسمتهایی از آن از سرب استفاده می شود تا از تشعشع پرتو X جلوگیری شود. یک پنجره با شیشه سربی در جلوی محفظه در منطقه دید اپراتور و یک لامپ فلورسنت درونی برای روشن کردن قرار داده می شود. ستون تفنگ الکترونی معمولاً در مرکز محفظه قرار می گیرد ولی می تواند در یک انتها نیز قرار بگیرد. در ماشین می توان یک میز کار نیز قرار داد که به صورت دستی یا اتوماتیک در جهات محورهای X و Y حرکت نماید.

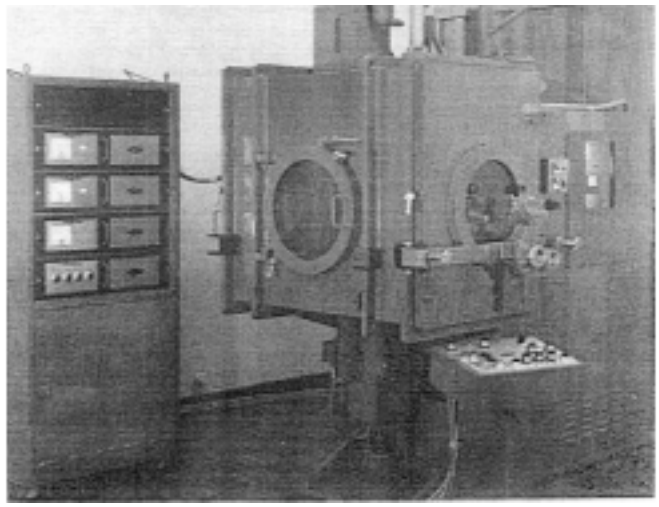
تجهیزات ولتاژ پایین

واژه ولتاژ پایین یک واژه نسبی است و معمولاً برای تجهیزاتی که در ولتاژ کمتر از ٦٠٠٠٠ ولت کار می کنند، به کار می رود. تفنگ الکترونی در داخل محفظه قرار داده می شود و می تواند در طول محورها حرکت کند و دیواره فولادی محفظه برای ممانعت از تابش پرتو کافی است. یک ماشین جوش پرتو الکترونی در شکل ٥ نشان داده شده است که با کابینت کنترل موتور و محل اپراتور می باشد. شکل ٦ داخل محفظه را نشان می دهد.

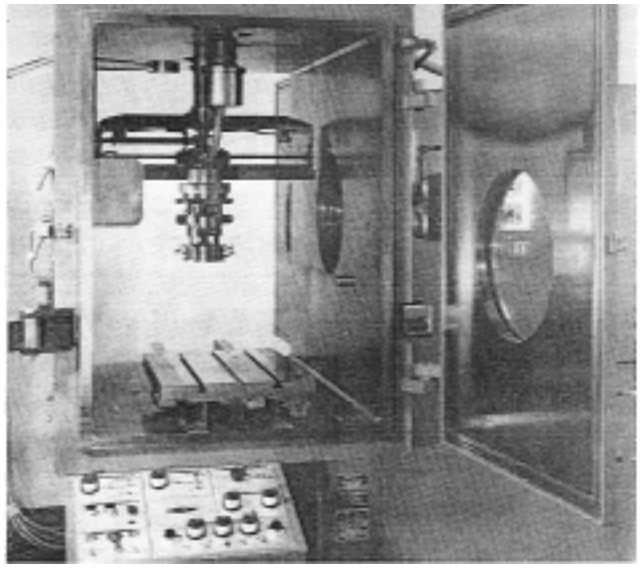
محفظه معمولاً به شکل مکعبی ساخته می شود چون این شکل دارای حجم بیشتری برای انجام کار نسبت به محفظه استوانه ای با همان طول می باشد. در بالای محفظه تفنگ الکترونی در درون حرکت دهنده خود قرار دارد و در پایین ریل حرکت دهنده قطعه کار دیده می شود. حرکت تفنگ موازی محور y و ارتفاع Z محفظه است

http://www.mohandes-iran.com

و حمل کننده قطعه در طول محـور X محفظـه حرکـت مـی نمـاید. یـک تفنـگ معمولـی الکترونی به صورت شماتیک در شکل ۷ نشان داده شده است. اولین نقطه تمرکز پرتو در بین آند و کاتد صورت می گیرد. اما دومین نقطه تمرکـز قـابل تنظیـم اسـت و مـی تواند با جریان داده شده به کویل متمرکز کننده الکترومغناطیسی کنترل گردد.

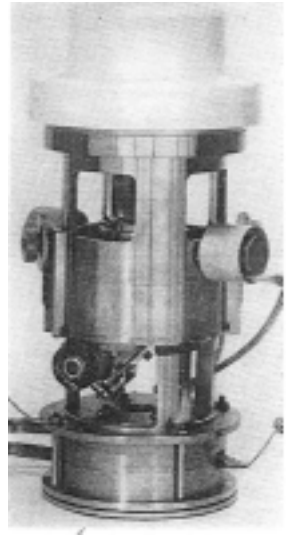


شکل ٥–یک ماشین جوش پرتو الکترونی ولتاژ پایین



شکل ٦ – فضای داخل محفظه ماشین جوش پرتو الکترونی ولتاژ پایین

http://www.mohandes-iran.com



شکل ۷- تصویر یک تفنگ معمولی الکترونی

تفنگ های ولتاژ پایین معمولاً در حداکثر ولتاژ شتاب دهنده تنظیم می شوند. حداکثر جریان پرتو وقتی حاصل می شود که حداکثر ولتاژ عملیات انتخاب شود. یک کابل ولتاژ بالا محفظه خلأ را به منبع قدرت و تفنگ الکترونی متصل می نماید. برای ماشین های جوش پرتو الکترونی ولتاژ پایین توان بین ۳۰-۷ کیلو ولت می باشد. بنابراین محدوده جریان می تواند بین ۲۵۰ تا هزار میلی آمپر باشد.

تجهیزات افزودن سیم جوش

تجهیزات اضافه کردن سیم جوش یا شبیه فرایند سیستم تغذیه سیم جوش در فرایند جوشکاری قوس تنگستن ساخته می شود یا این که به طور خاص جهت محفظه خلأ طراحی می گردد. قطر سیم جوش عموماً کوچک و in ۰/۰۲۰یا کمتر است. سیستم تغذیه سیم بایستی قابلیت یکنواختی تغذیه سیم به قطر کوچک را داشته باشد تا سیم را به طرف لبه ها و حوضچه مذاب کوچک هدایت نماید.

مزایا و محدودیت های فرایند جوشکاری با پرتو الکترونی

مهمترین مزایای فرایند عبارتند از:

http://www.mohandes-iran.com

۱. ایجاد جوش های عمیق تر و باریکتر نسبت به روش های قوسی
۲. حرارت ورودی کمتر به جوش در مقایسه با روشهای ذوبی دیگر (برای ایجاد حجم جوش ثابت)
۳. نسبت عمق به عرض بالای جوش و عدم نیاز به جوش های چند پاسه
٤. ناحیه متأثر از حرارت جوش باریک به علت تمرکز حرارتی بالای فرایند
٥. تمیزی فلز جوش به دست آمده به علت استفاده از خلأ در فرایند
٦. امکان دست یابی به سرعت جوشکاری بالا و در نتیجه سرعت تولید بالاتر
۷. بازدهی انرژی بالا (تا حدود ۹۵٪)
۸. پیچیدگی کم قطعه جوشکاری شده به علت تمرکز حرارتی بالای فرایند
۹. عدم نیاز به عملیات حرارتی جدی قبل و بعد از فرایند.
۱۰. امکان اتصال قطعات و آلیاژهای حساس به حرارت.
۱۱. امکان جوشکاری فلزات دیرگداز و فعال که خواص آنها به شدت تابع آلودگی های گازی نظیر اکسیژن ، نیتروژن و هیدروژن در محدوده تا چند صد ppm می باشد (نظیر تنگستن ، مولبیدن ، نیوبیم ، تاتتال ، زیرکونیوم ، تیتانیون و هافتیم)
۱۲. امکان آب بندی با کیفیت بسیار بالا در اتصالات
۱۳. امکان اتصال بهتر عناصر و فلزات فعال
۱٤. سهولت کنترل فرایند به صورت رایانه ای
۱٥. امکان انجام فرایند در طرح اتصال های گوناگون
۱٦. عدم نیاز به سیم جوش (در اغلب موارد) و عدم نیاز به برطرف کردن سرباره و اضافه‌های جوش
۱۷. امکان جوشکاری قطعات بسیار ظریف مورد استفاده در صنایع الکترونیک و تجهیزات پزشکی و آزمایشگاهی

مهمترین محدودیت های این فرایند نیز عبارتند از:

۱. در این روش، قطعه کار می بایست طوری در خلأ قرار داده شود که کمترین انحراف و پراکندگی پرتو را از مسیر اولیه خود به همراه داشته باشد.
۲. در اثر برخورد پرتو الکترونی با سطح فلز ، پرتو X تولید می شود و لذا نیاز به حفاظت در برابر این پرتو وجود دارد.

http://www.mohandes-iran.com

۳. به علت آنکه پرتو الکترونی شامل اجزای با بارمنفی می باشد، وجود میدان های الکتریکی و مغناطیسی سرگردان باعث انحراف پرتو از مسیر اصلی طراحی شده می شود.

٤. عدم پایداری طولانی مدت پرتو: استفاده از این فرایند در سازه های بزرگ نیاز به پایداری چند ساعته پرتو دارد. تفنگ الکترونی ممکن است چند بار در یک دوره معین متحمل تخلیه بار الکتریکی شود که به نوبه خود می تواند باعث اختلال درتوزیع توان و بر جای ماندن عیوب در جوش شود.

٥. تعمیر عیوب ایجاد شده در عمق قطعه در اتصال قطعات ضخیم مشکل است و در صورت تلاش برای تعمیر موضعی عیوب، به احتمال زیاد، عیوب جدیدتری شکل می گیرد.

٦. قیمت بالای تجهیزات و کاربرد محدودتر نسبت به روش های قوسی

۷. نیاز به تمیزکاری قطعات به شکلی بسیار خوب برای آنکه از شکل گیری عیوبی مثل تخلخل در جوش جلوگیری شود. در مورد فولاد، مقدار اکسیژن بایستی کمتر از ppm ٦۰ و مقدار نیتروژن کمتر ppm ۱۰۰ باشد. مشکل دیگر آن است که فولادهای جوشان به هر صورتی با این روش قابل استفاده نمی باشند چرا که با تولید گاز ، علاوه بر هم زدن خلأ محیط، به تجهیزات تولید خلأ نیز آسیب می رسانند.

۸. ترکیدگی فلز جوش: به علت محدودیت دراستفاده از سیم جوش در این روش و نیز نیروی شدید روی مذاب، امکان شکل گیری ترک به خصوص در ابتدا و انتهای مسیر قابل توجه است. نکته دیگر آن که به علت سرعت انجماد بالا در این فرایند، اگر فلز استحکام کافی را در حالت گرم نداشته باشد، امکان ترک خوردن آن در اثر تنش های حرارتی وجود دارد.

۹. درز جوش وگرده جوش بسیار نازک در این فرایند موجب حساسیت زیاد در برابر عیب ذوب ناقص می شود که ناشی از خطا در دنبال کردن صحیح درز اتصال توسط پرتو است.

۱۰. چقرمگی کم در اغلب فولادها: در صورتی که نسبت عمق به پهنای جوش بزرگتر از ده باشد، حفره جوش ناپایدار شده و به جای آنکه ناحیه HAZ کوچکتری نسبت به سایر روشها حاصل شود، ناحیه مذکور بر عکس، بزرگتر هم می شود.

http://www.mohandes-iran.com

۱۱. نبود آزمون های غیر مخرب تدوین شده
۱۲. حفره انتهای محل جوشکاری: در اثر تغییر ناگهانی توان پرتو در انتهای جوش، احتمال شکل گیری تخلخل بسیار بالا می رود.
۱۳. حساسیت شدید فرایند به تغییرات جزیی متغیرهای فرایند

نکات تکنیکی

الکترون دارای بار منفی است و بر اثر برخورد به قطعه، بار منفی به نمونه انتقال می یابد. این بار منفی در قسمت های مختلف دستگاه و نمونه می تواند باعث اثر دافعه بر پرتو شود. برای جلوگیری از این مشکل، نمونه و دستگاه ها به اتصال زمین وصل می شوند. مسأله دیگر اثرات مغناطیسی است که باید کنترل شوند و قطعه از مغناطیس خالی شود تا موجب انحراف پرتو نگردد.

مونتاژ کردن قطعات در کنار هم اگر به شکل ضعیفی انجام شود می تواند موجب کشیدگی زیاد مذاب و بروز عیوبی نظیر بریدگی کناره جوش و حفره شود. فاصله شیار نباید از یک حدی نیز بیشتر شود. جوشکاری با پرتو زاویه دار هم ممکن است در کاهش عیوب ناشی از مونتاژ ضعیف موثر باشد اما موجب افزایش پهنای جوش و کاهش سرعت جوشکاری (برای حفظ عمق نفوذ) می شود. در EBW معمولاً نیاز به فلز پرکننده نیست مگر در مواردی که جنس قطعات متفاوت باشد، خطر ترکیدگی وجود داشته باشد، نیاز به آلیاژ سازی باشد و یا پخ کاری صورت گرفته است و باید شیار پر شود.

در اتصال فلزات غیر همجنس باید به خواص فیزیکی قطعات از جمله دمای ذوب، ضریب انتقال حرارت و گرمای ویژه توجه کرد. جوش پذیری فلزات غیر همجنس را می توان از روی دیاگرام فازی تعیین کرد. اگر فاز شکننده بین فلزی تشکیل گردد، فلز جوش ترد شده و جوش پذیری خوب نخواهد بود.

آماده سازی و ترتیب انجام فرایند

روش های آماده سازی در فرایند جوشکاری با پرتو الکترونی بسته به تجهیزات و کاربرد مورد نظر متفاوت می باشد ولی روش کلی زیر قابل اجراست:

http://www.mohandes-iran.com

۱- آماده سازی و سرهم کـردن قطعـه کـار و قیـد و بندهـای جوشـکاری کـه شـامل تمیزکاری و احتمالاً مغناطیس زدایی، پیشگرم کردن و خال جوش زدن می باشد.
۲- قرار دادن قطعه به همراه قید و بند درون محفظه خلأ
۳ -شروع تخلیه محفظه و سپس متمرکز شدن روی قطعه و تنظیم پارامترهای فرایند
٤- هم خط کردن راستای اتصال با راستای حرکت پرتو و انجام فرایند
٥- دادن فرصت کافی جهت سرد شدن قطعه و سپس وارد کـردن هـوا بـه محفظـه و خارج کردن مجموعه

سطح قطعه کار می بایست کـاملاً بـرای عملیـات جوشـکاری در خـلأ آمـاده سازی شود. تمیز کاری غلـط قطعـات بـاعث ایجـاد عیـوب در جـوش و افـت خـواص مکانیکی می شود. تمیز کاری غلط همچنین باعث افزایش زمان تخلیه هـوای محفظـه و ناپایداری عملکرد تفنگ الکترونی می شود. عـلاوه بـر ایـن روغـن و چربـی باقیمـانده باعث آسیب دیدگی تجهیزات سیستم خلأ می شود. عموماً استفاده از برس سـیمی بـه منظوره تمیز کاری توصیه نمی شود چرا که باعث نفوذ آلـودگی بـه لایـه هـای زیـر سطحی می شود. عموماً به منظـور تمـیز کـردن اجـزای تفنـگ و قطعـه کـار از اسـتن استفاده می شود.

مغناطیس زدایی عمدتاً با قرار دادن قطعـه در یـک میـدان متنـاوب القـایی بـا فرکانس ٦۰ هرتز و بیرون کشیدن تدریجی آن از میدان انجام می شود. برای سـنجش میزان مغناطیس باقی مانده از دستگاه گاوس متر استفاده می شود. مقـدار مغنـاطیس مجاز در مورد جوش های باریک 5×10^{-5} T (۰/٥ G) و در مورد جوش هـای عریـض حدود 4×10^{-4} T (۲-٤ G) می باشد.

محدوده تغییرات ضخامتی که بـه روش پرتـو الکـترونی قـابل اتصـال اسـت وسیع می باشد و حتی در اتصالات ضخیم نیز، ضرورت پیشگرم چندان شدید نیست، چرا که ناحیه HAZ آن بسیار باریک می باشد. فلزات سختی پذیر و فلزاتی کـه جـوش پذیری ضعیفی دارند، عموماً نیاز بـه پیشـگرم کـردن دارنـد کـه بـا تغییـر حرارتـی و افزایش احتمال تاب برداشتن قطعه، این ضرورت بیشتر احساس می شـود. فولادهـای HSLA و فولادهای ابزار با ضخامت بالاتر از ۹/٥ mm به منظـور جلـوگیری از تـرک خوردگی معمولا پیشگرم می شوند. جوش عمیق فولادهـای کربنـی بـا درصـد کربـن بالاتر از ۰/۳٥٪ نیز به پیشگرم کردن نیاز دارد. عملیات پیشگرم کردن بایستی قبـل از

http://www.mohandes-iran.com

قرار دادن قطعه در محفظه انجام شود. بسته به نوع آلیاژ مصرفی و ابعـاد آن ، روش های گرم کردن با مشعل و گرم کردن در کوره استفاده می‌شوند. پسـگرم کـردن ایـن قطعات نیز تفاوت چندانی با سایر روش های جوشکاری ندارد.

در این فرایند بـه جـای اسـتفاده از قیـد و بنـد از خـال جـوش زدن بـا پرتـو الکترونی استفاده می شود که هزینه تمام شده و زمان انجام فرایند را کاهش می دهد. خال جوش مناسب در این روش برای جلوگیری از تغییر ابعاد و شکل قطعه ضـروری است. خال جوش زدن عمدتاً با انرژی پایین انجام می شود و معمول تریـن روش آن، انجام این کار در فواصل مختلف و معین است.

کابردهای فرایند

مهمترین فلزات و آلیاژهایی که با این روش جوشکاری می شوند عبارتند از:

برلیم: مسأله مهم در جوشکاری این فلـز واکنـش هـای اتمسـفری و توزیـع تنـش در اتصال است چرا که سیستم های لغزشی چندانی در شبکه بریلیم فعـال نمـی باشـند و لذا انعطاف پذیری چندانی نخواهد داشت. مشکل جوشکاری بریلیم با این روش تبخـیر بریلیم در فشارهای کم (خلأ) می باشـد. ضخـامت هـای تـا ۱/۵ mm را مـی تـوان بـه صورت تک پاس جوشکاری نمود و نیازی بـه آمـاده سـازی نمـی باشـد، ولـی تـرک خوردگی و تبخیر شدید در اتصالات از مشخصات فرایند است.

تیتانیم: جوشکاری قوسی روی تیتانیم باعث کاهش مقاومت ضربه و انعطاف پذیـری فلز جوش نسبت به فلز پایه می شود که عمدتاً ناشـی از آلـودگی توسـط اکسـیژن و نیتروژن می باشد. یکی از بهترین آلیاژهای جوش پذیر تیتانیم ، آلیاژ Ti-٦Al-٤V می باشد.

زیرکونیم: در آلیاژهای مصرفی در صنایع هسته ای و برای تولید جوش های بـاریک استفاده می شود. بهترین آلیاژ جوش پذیر زیرکونیوم، Zircally-2 می باشد و حداکـثر ضـخامت قطعات اتصال داده شده in ۲ می باشد. نسبت ارتفاع به پهنای جـوش بـالاتر از ۲ قابل دسترسی است. استحکام کششی بالاتر نسبت به فلز پایه و انعطـاف پذیـری حداقل برابر فلز پایه قابل دست یابی است.

مولیبدن: مهم ترین مشکل جوشکاری مولیبدن، تردی، انعطاف پذیری کم و اسـتحکام ضربه پایین است. بهتر است آلیاژهای مصرفی تا حد امکان خـالص باشـند. EBW بـا

http://www.mohandes-iran.com

انرژی کم و جوش سریع در خلأ مناسب نیز به حصول اتصال با خواص بهتر کمک می‌نماید.

مهمترین صنایعی که از این فرایند استفاده می کنند عبارتند از:

صنایع هوافضا: روش جوشکاری با پرتو الکترونی در صنعت ساخت موتورهای فضاپیماها کاربرد وسیعی دارد. اصلی ترین کاربرد، جوشکاری اجزای استاتورهای ضخیم آلیاژهای تیتانیم، دیسک کمپرسورها ومحور روتور کمپرسورها می باشد. در این موارد عمدتاً به انسجام خوب جوش و حداقل پیچش و ناحیه HAZ کوچک احتیاج است.

صنایع هسته ای: روش جوشکاری با پرتو الکترونی در صنایع هسته ای بیشتر برای جوشکاری قطعات تیتانیمی و زیرکونیمی استفاده می شود.

صنایع الکترونیک و پزشکی: جوشکاری سنسورها روی اجزای الکترونیکی و وسایل پزشکی که در دماهای پایین کاربرد دارند با این روش تسهیل می شود. جنس های مصرفی در این بخش عمدتاً فولاد زنگ نزن آستنیتی و کبالت و کرم است.

صنایع خودروسازی: جوش باریک با عمق نفوذ بالا، کاربرد وسیعی در اتصال شعاعی چرخ دنده ها دارد و در مواردی که حداقل عملیات ماشین کاری و پرداخت ضروری باشد، استفاده می شود.

http://www.mohandes-iran.com