جلسه دوازدهم: ماشینکاری با اشعه الکترونی و قوس پلاسما

مقدمه:

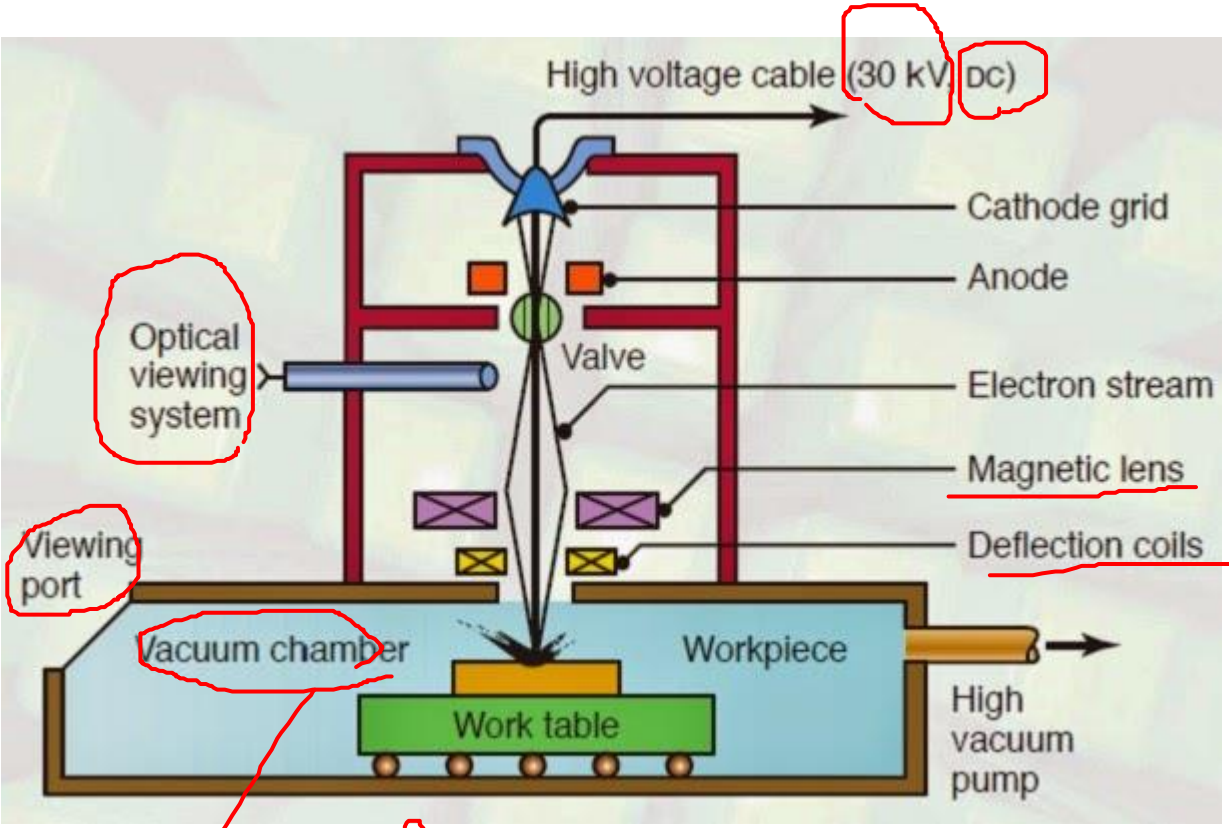
اشعه الکترونی بصورت پالسی (برای جوشکاری فلزات با این روش، پیوسته خواهد بود) با سرعتی حدود ۲۰۰ هزار کیلومتر بر ثانیه به سطح قطعه برخورد می کند. جرم الکترون برابر 10^{-27} گرم است.

$$W = \frac{1}{2} m V^2$$

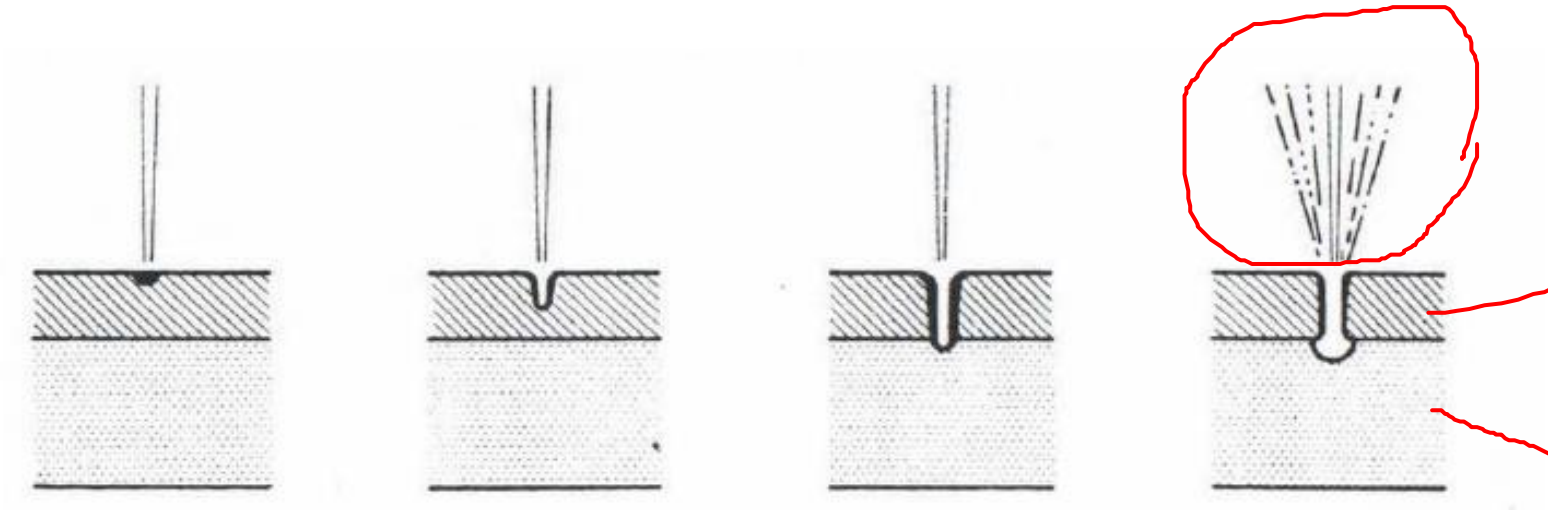
از این فرآیند برای سوراخکاری، برشکاری، جوشکاری و عملیات حرارتی استفاده می شود. در صورت ضخیم بودن قطعه، چند پالس برای سوراخکاری نیاز است.

برای سوراخکاری با سرعت بالا بر روی فلزات، سرامیک، پلاستیک (بدون توجه به سختی) بکار می رود.

ماشینکاری با اشعه الکترونی (EBM)



مکانیزم ماشینکاری با اشعه الکترونی (EBM)



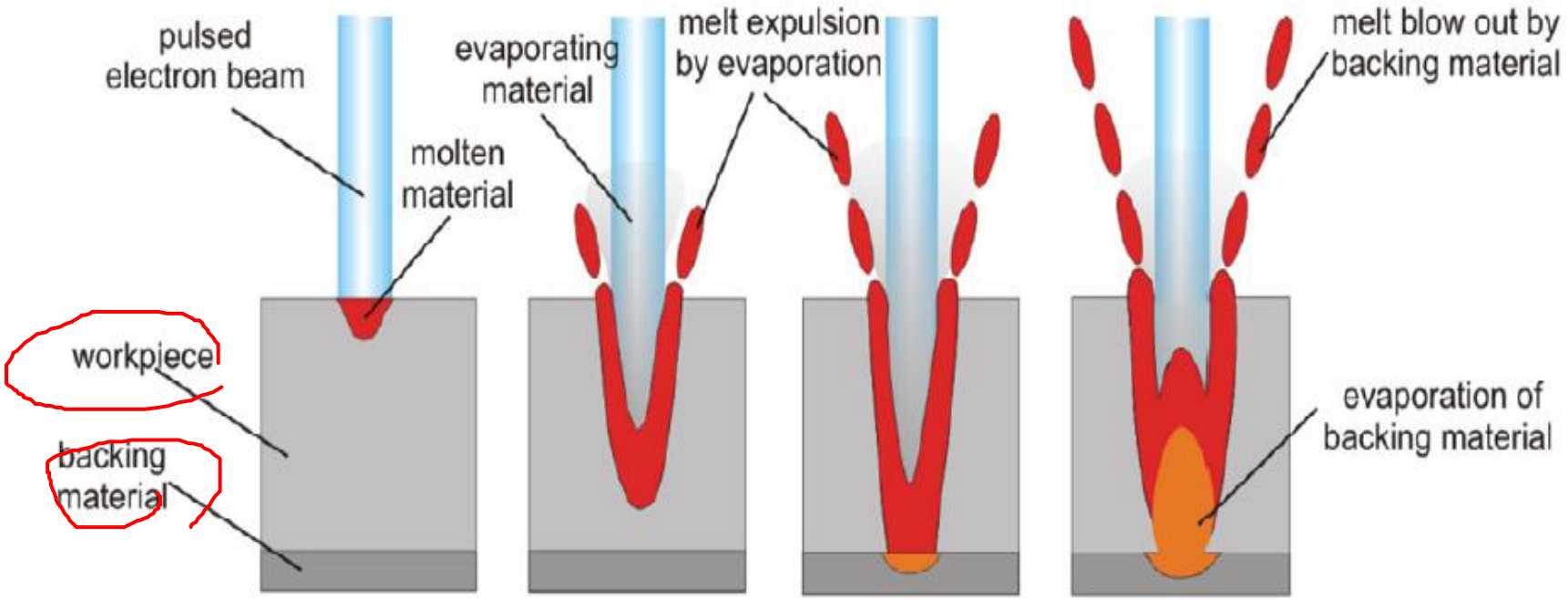
در اثر برخورد اشعه الکترونی با ماده پشتی، بیشتر آن تبخیر شده و فشار بخار آن به حدی است که دیواره های مذاب آن را مانند بارانی از جرقه به بیرون می راند.

اشعه الکترونی ضخامت قطعه کار را طی کرده و به صفحه پشتی (که یک ماده پلاستیکی می تواند باشد) برخورد می کند.

چگالی توان بالای اشعه الکترونی موجب بخار فلز (حدود ۵ درصد فلز تحت تاثیر قرار گرفته بخار می شود) شده و باریکه ای از ستون بخار را بوجود می آورد. این فشار بالای بخار فلز، موجب بیرون راندن فلز مذاب خواهد شد.

اشعه الکترونی متمرکز شده، به سطح قطعه برخورد کرده و موجب گرم شدن موضعی و ذوب سطحی خواهد شد.

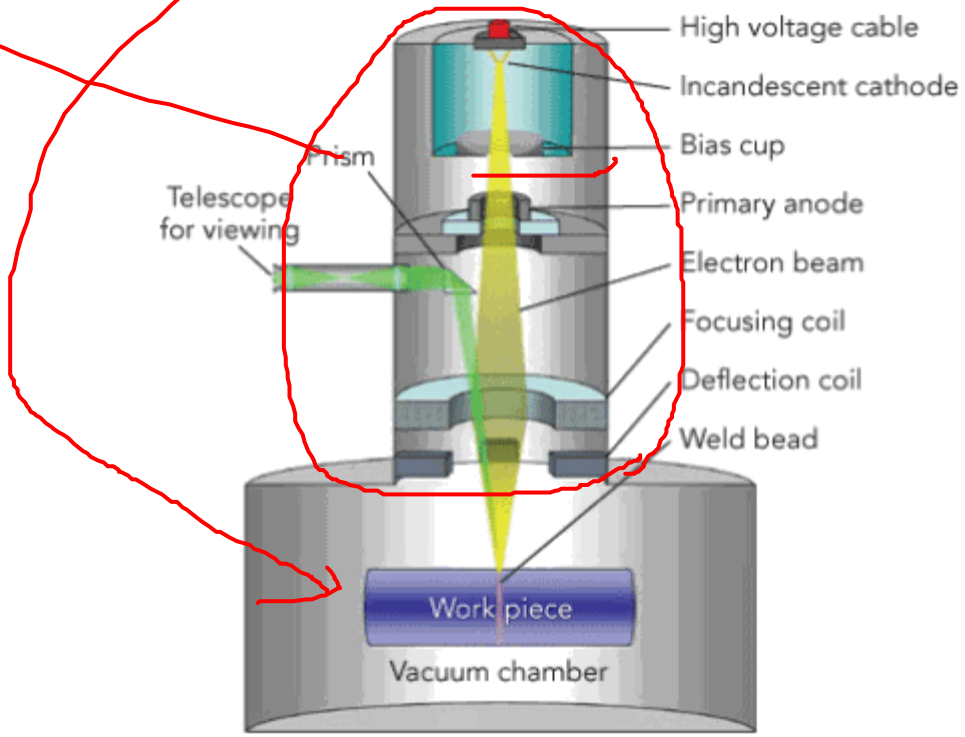
مکانیزم ماشینکاری با اشعه الکترونی (EBM)



تجهیزات

یک دستگاه ماشینکاری EBM از سه بخش اصلی تشکیل شده است: ۱- تفنگ الکترونی، ۲- منبع توان ۳-سیستم خلا

دستگاه EBM

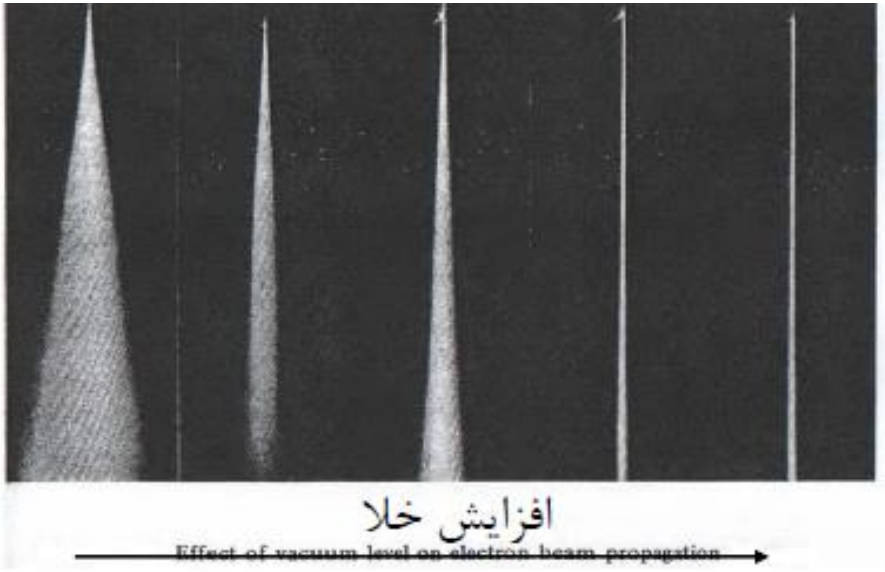


شماتیک دستگاه EBM

دلایل ایجاد خلا

۱- از آنجایی که الکترونها جرم دارند در اثر برخورد با مولکولهای هوا پراکنده شده و بنابراین انرژی آن افت می یابد.
۲- به دلیل ذوب قطعه در خلا میکروساختار بهتری نتیجه می شود.
۳- اینکه الکترود تنگستنی به سرعت اکسید نشود و عمر آن افزایش یابد.
۴- واگرایی اشعه الکترونی کمتر شده و بنابراین چگالی توان آن افزایش می یابد.

اثر خلا روی همگرایی اشعه الکترونی



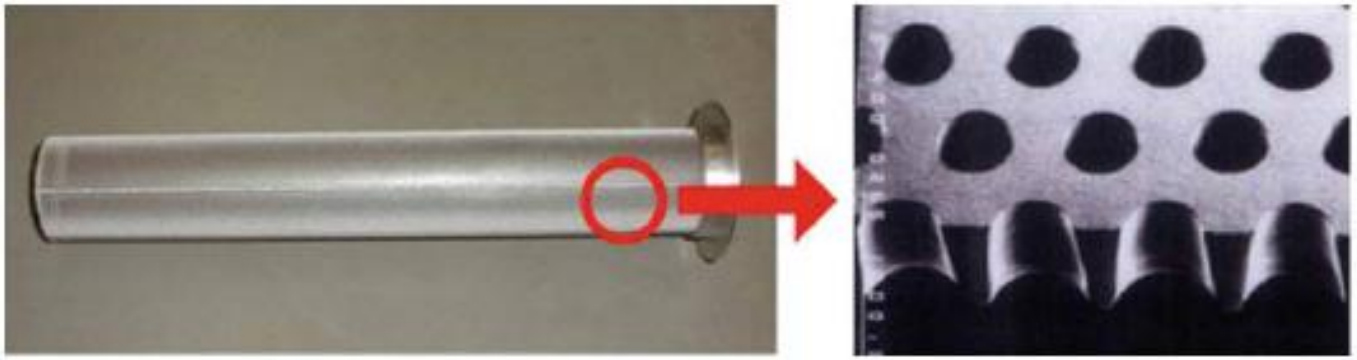
کاربردها

کاربردها

در جاهایی که تعداد زیادی سوراخ کوچک (بیشتر از ۲۰۰ سوراخ) بر روی فلزات سخت می بایست ایجاد شود بکار می رود.

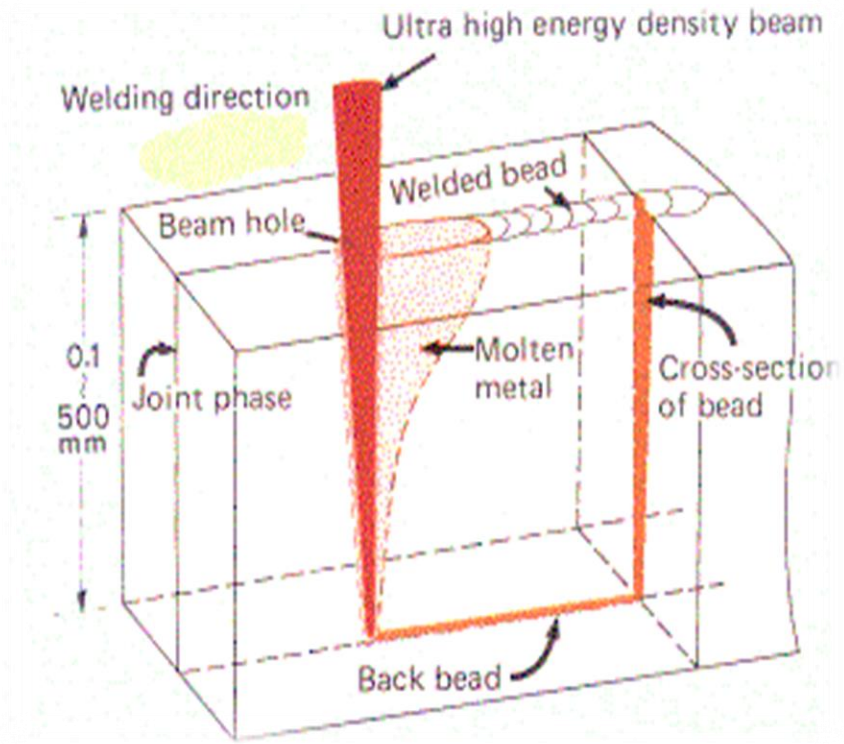
گنبد محفظه احتراق توربین دارای ضخامت 1.1 mm به جنس فولاد بوده و 3,748 سوراخ به قطر 0.9±0.05mm با سرعت حدود یک سوراخ در ثانیه ایجاد شده است.

فیلترهای مورد نیاز در صنایع غذایی دارای سوراخهای ریزی هستند مانند شکل زیر:



جوشکاری با اشعه الکترونی

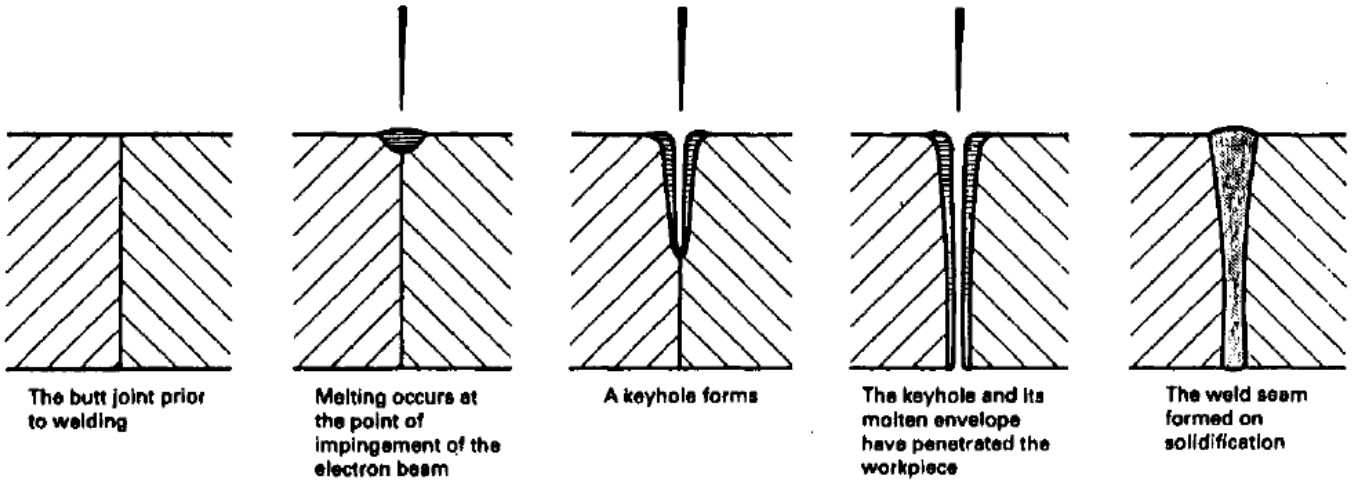
EBW



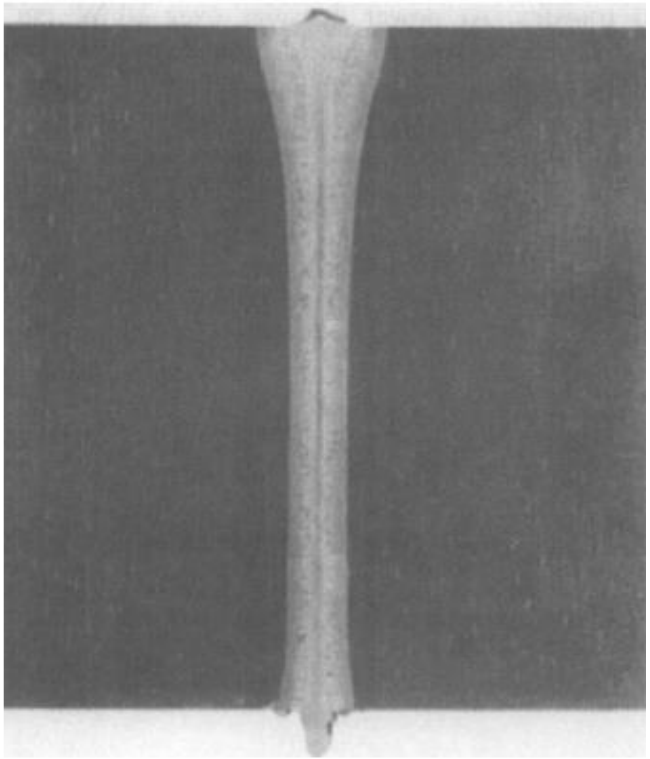
- در این فرآیند که یک نوع فرآیند جوشکاری ذوبی (fusion) است، اشعه الکترونی با سرعت خیلی زیاد به سطوحی که می خواهند جوشکاری شوند اعمال می شود.
- با توجه به انرژی جنبشی بسیار زیاد الکترونها قطعه کار ذوب می شود.
- با استفاده از این فرآیند می توان جوشهای بسیار با کیفیت را ایجاد نمود.
- با استفاده از این روش می توان قطعات تا ضخامت ۳۰۰ میلیمتر را جوشکاری نمود.
- برای جوشکاری قطعات غیر همجنس می توان از این روش استفاده نمود.

جوشکاری با عمق زیاد

مراحل مختلف جوشکاری با پرتو الکترونی



مراحل مختلف جوشکاری با پرتو الکترونی



Macroscopic cross section through the fusion and heat affected zones of a 50mm thick longitudinal weld in X 20 Cr 13.

کاربردها

کاربردها

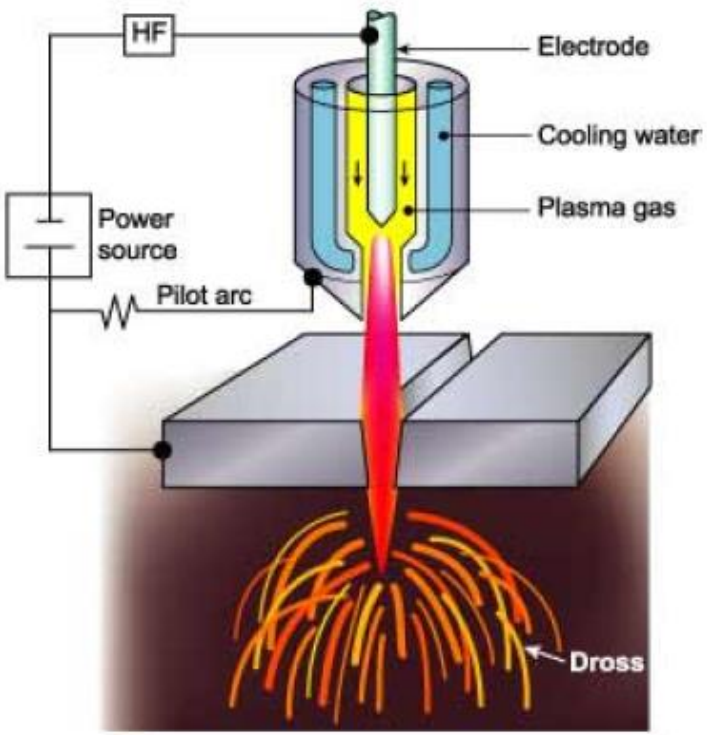
روش پلاسما

- پلاسما: اگر دمای گازی تا ۳۰۰۰ درجه سانتیگراد گرم شود الکترونها از اتم جدا شده و یونهای مثبت بوجود می آید. به این حالت پلاسما گفته و گاز در این حالت گاز رسانای الکتریکی است. برای برشکاری قطعات فلزی (رسانای الکتریسیته) ضخیم استفاده می شود . برای برشکاری آلومینیوم و فولاد ضد زنگ که رسانایی حرارتی و ظرفیت گرمایی بالایی دارد بسیار مورد استفاده قرار می گیرد.

فرآیند ماشینکاری پلاسما

❑اصول فرآیند

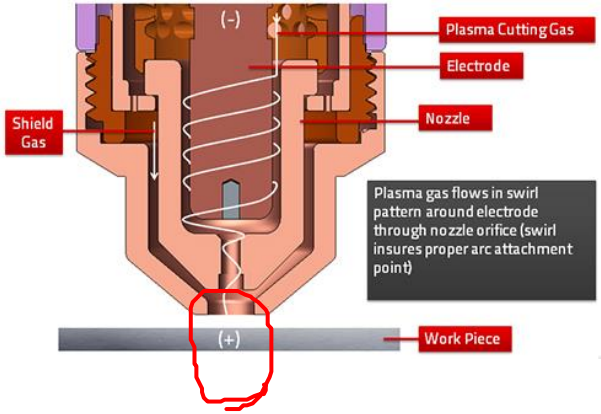
- از یک گاز (هوا، اکسیژن، آرگون، نیتروژن، هلیوم یا مخلوطی از آنها) بعنوان گاز پلاسما با فشار 1.4MPa که بین دو الکترود با اختلاف پتانسیل 200- 400VDC و آمپر 1000amp جریان دارد، دمای محیط به حدود 33,000 درجه سانتیگراد رسیده که باعث ذوب و تبخیر فلز خواهد شد.
- سرعت جریان بالای گاز موجب تسهیل در نرخ برداشت ماده، تمرکز بیشتر قوس و ایجاد لایه خنک بین نازل و جت پلاسما خواهد شد.



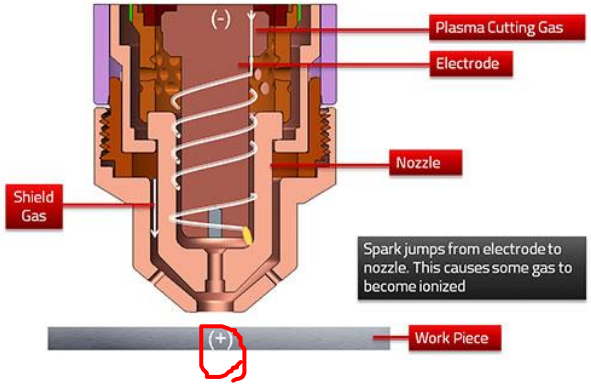
پارامترهای فرآیند

Parameter	Level
Velocity of plasma jet	500 m/s
Material removal rate	150 cm^3/min
Specific energy	100 W/($cm^3 \cdot$ min)
Power range	2–200 kW
Voltage	30–250 V
Current	Up to 600 A
Machining speed	0.1–7.5 m/min
Maximum plate thickness	200 mm

مراحل مختلف شکل گیری پلاسما

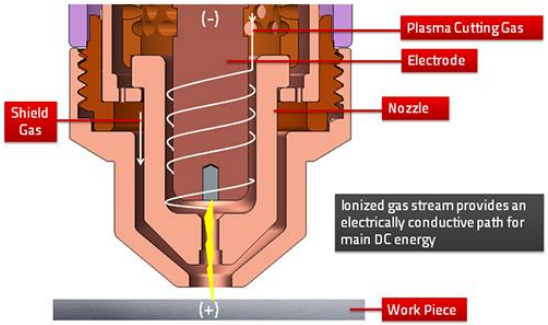


۱- حرکت گاز پیش از پلاسما بصورت گردابی

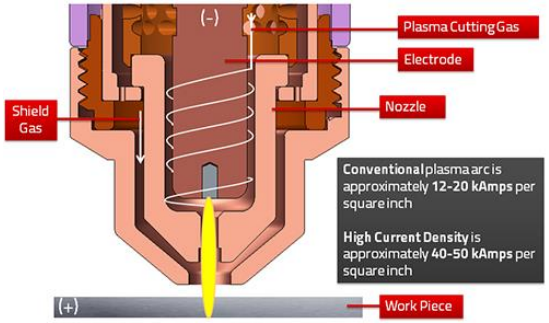


۲- ایجاد قوس موقتی (قوس راه انداز) بین الکترود و قطعه کار بوسیله مدار راه اندازی قوس

مراحل مختلف شکل گیری پلاسما

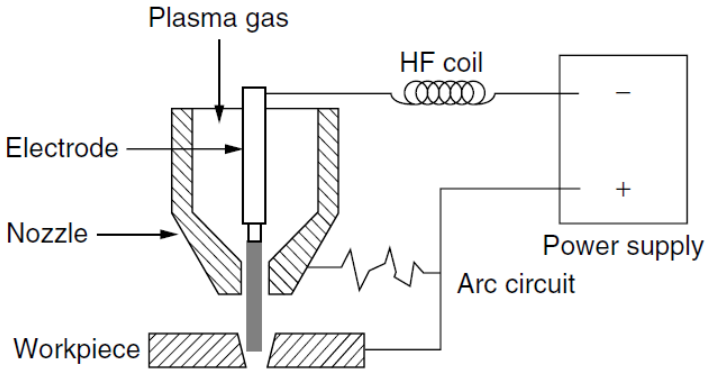


۳- تماس بین قوس راه انداز و قطعه کار (قطب مثبت) ایجاد شده و سپس در این مدار قوس راه انداز باز می شود.



۴- ولتاژ به مقدار اصلی تنظیم شده توسط اپراتور برای برشکاری اصلی بر می گردد و گاز پلاسما با دبی مناسب برقرار می شود.

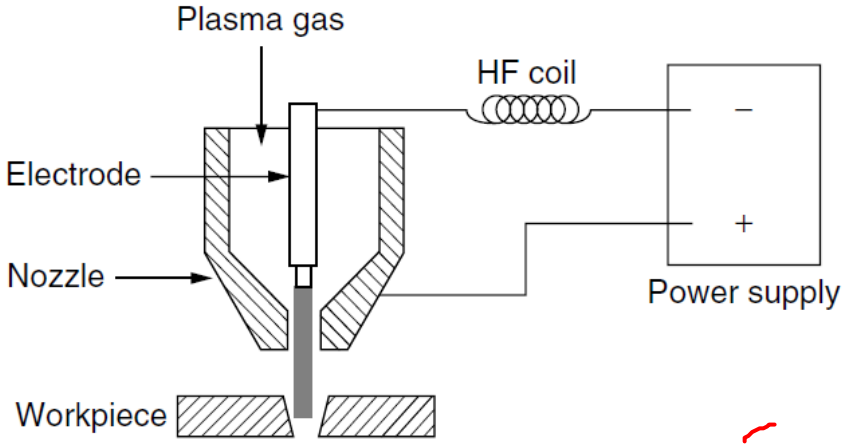
انواع قوس پلاسما



قوس انتقالی

Plasma Arc

33,300°C.



قوس غیر انتقالی

Plasma Jet

16,600°C

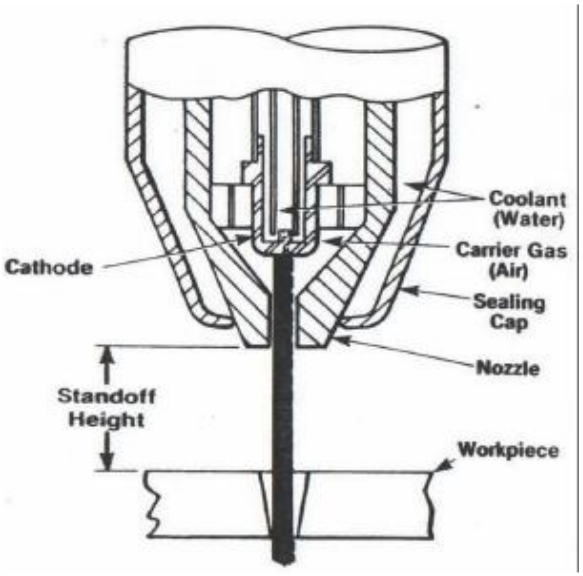
پلاسما قبل از قطعه تشکیل می‌گیرد

تجهیزات

از چند بخش اصلی تشکیل شده است: منبع تغذیه، منبع گاز، سیستم خنک کاری با آب، مشعل پلاسما. از این بین مشعل پلاسما مهمترین بخش خواهد بود.

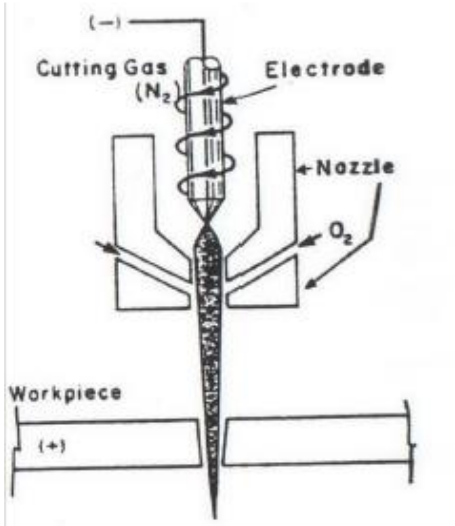
مشعل پلاسمای هوا:

- از هوا بعنوان گاز پلاسما استفاده می شود.
- اکسیژن هوا باعث برشکاری سریعتر در فلزاتی مانند فولاد می شود.
- به دلیل تمرکز کمتر پلاسمای هوا، مخروطی و گرد شدن لبه های بالایی رخ می دهد.
- از آنجایی که الکترود تنگستن در مجاورت اکسیژن و حرارت خیلی سریع از بین میرود از الکترودهای هافنیوم و زیرکونیوم (که مقاومت به اکسید شدن بالایی دارند و حدود ۲ ساعت عمر برشکاری آنها است) استفاده می شود.



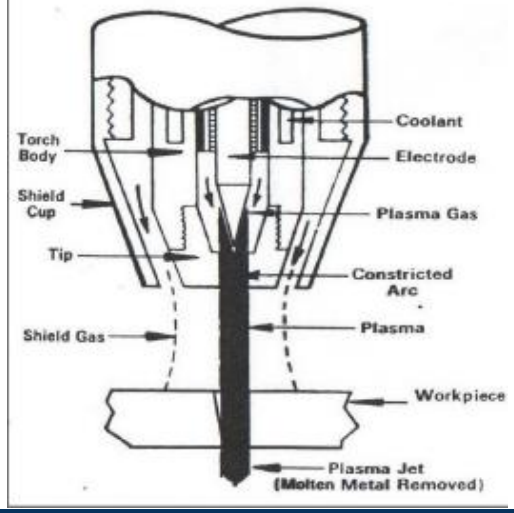
شماتیک نازل پلاسمای هوا

تجهیزات



مشعل تزریق شده با اکسیژن:

- از نیتروژن بعنوان گاز پلاسما استفاده می شود. در اینصورت عمر الکترود بیشتر خواهد شد.
- گاز اکسیژن برای برشکاری فولاد مورد استفاده قرار می گیرد.

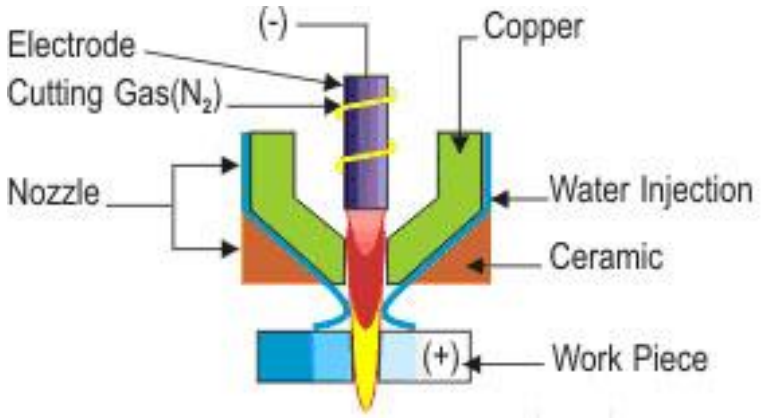


مشعل با گاز مضاعف:

- نیتروژن برای تولید گاز پلاسما
- گاز دوم با توجه به ماده برشکاری شده
- فولاد: اکسیژن
- فولاد ضد زنگ: دی اکسید کربن
- آلومینیوم: مخلوطی از آرگون و هلیوم

مشعل برش پلاسما با تزریق آب:

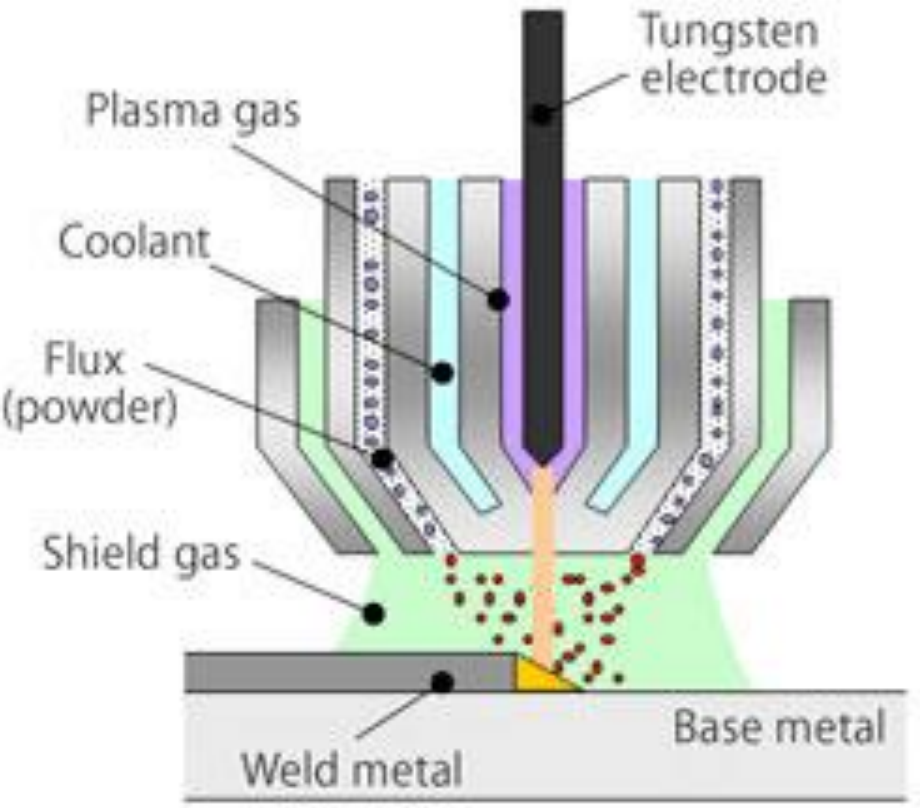
- بالاترین کیفیت برشی حاصل می شود.
- گاز پلاسما نیتروژن است.
- آب با فشار ۱۲ بار بصورت شعاعی یا گردابی به جت پلاسما برخورد نموده و حدود ۱۰ درصد آن تبخیر شده و یک لایه باریکی از بخار ایجاد کرده که موجب متمرکز تر شدن پلاسما می شود. آب باعث خنک کاری نازل نیز خواهد شد.
- دود حاصل از برشکاری و منطقه متاثر از حرارت کاهش یافته، عمر نازل بیشتر می شود.

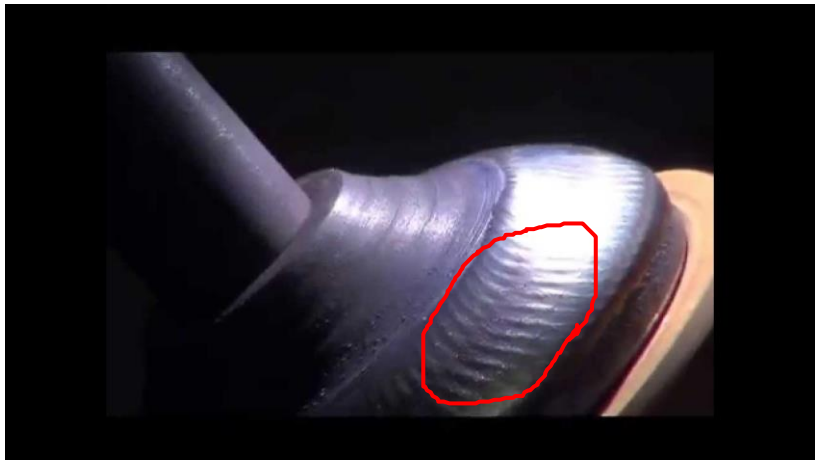


کابردها

کابردها

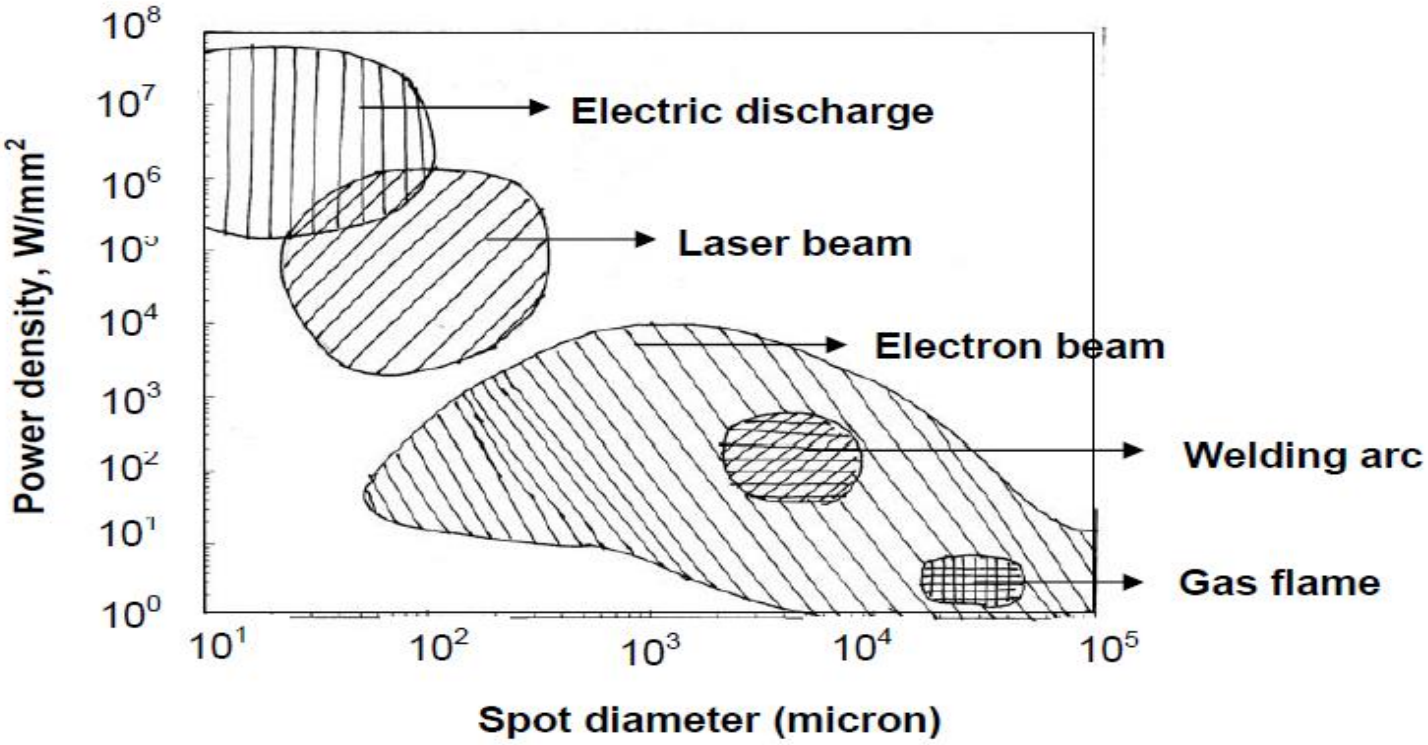
Plasma Transferred Arc Process





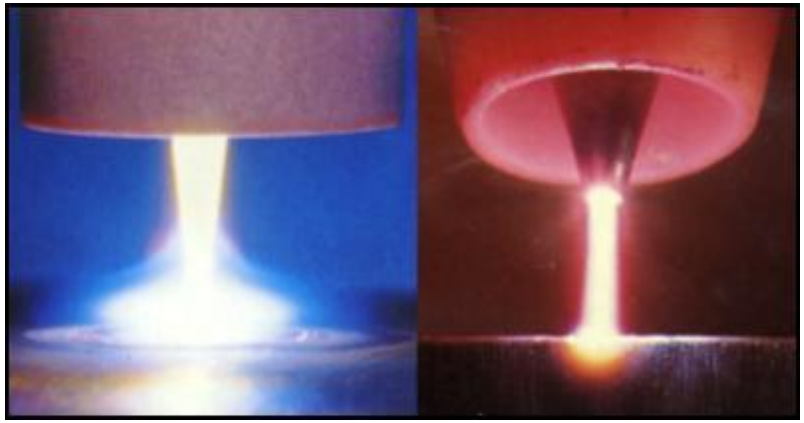
پوشش دهی سوپاپ (دریچه) موتور با قوس پلاسما و پودر

پایان جلسه یازدهم


Power density, W/mm²
10⁸
10⁷
10⁶
10⁵
10⁴
10³
10²
10¹
10⁰
Electric discharge
Laser beam
Electron beam
Welding arc
Gas flame
10¹
10²
10³
10⁴
10⁵
Spot diameter (micron)

تغییر خصوصیات جت پلاسما

- خصوصیات جت پلاسما با تغییر نوع گاز، نرخ جریان گاز، جریان قوس، ولتاژ قوس و سایز نازل، به شدت قابل تغییر است. برای مثال اگر نرخ پایین جریان گاز استفاده گردد، جت پلاسما به یک منبع متمرکز گرما تبدیل می شود و مناسب برای جوشکاری است. بر عکس اگر نرخ جریان گاز به مقدار کافی بالا باشد، سرعت جت پلاسما آنقدر بالا هست که فلز مذاب تولید شده توسط قوس پلاسما را خارج کند و قطعه کار را ببرد.



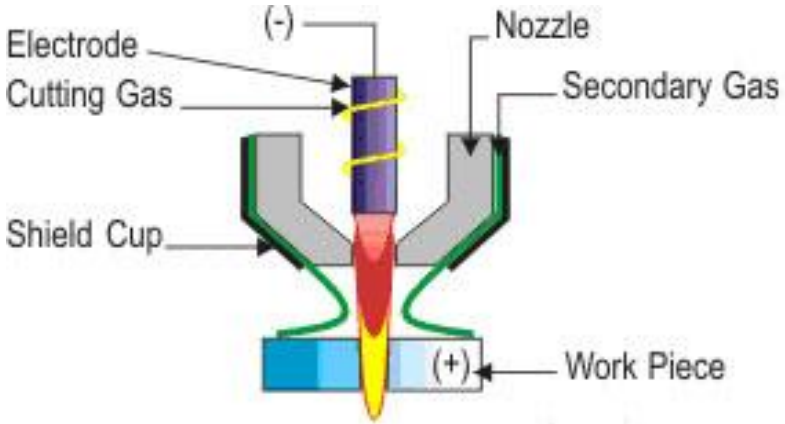
نمونه ای از قوس ایجاد شده از طریق پلاسما

برشکاری قوس پلاسما (PAC)

- قوس پلاسما با دو جریان
- برشکاری با پلاسمای هوا
- برشکاری با تزریق آب
- برشکاری پلاسما با تزریق اکسیژن
- برشکاری پلاسما با چگالی بالا

قوس پلاسما با دو جریان

- این مدل از قوس با مقدار اندکی اصلاح در فرآیند قبلی به وجود آمد. به این طریق که گاز دیگری در اطراف نازل پلاسما اضافه شده است. در این روش گاز برش کاری یا پلاسما نیتروژن است و گاز محافظ دومی با توجه به فلز قطعه کار انتخاب می شود. معمولا گاز محافظ دومی برای فولاد نرم هوا یا اکسیژن بود. برای فولاد مقاوم (ضد زنگ) دی اکسید کربن و برای آلومینیوم مخلوطی از آرگون - هیدروژن استفاده شد. مزیت اصلی این روش این بود که نازل درون گودی در پوش گاز فرو می رفت و این باعث جلوگیری از اتصال نازل با قطعه کار می گشت. همچنین گاز محافظ با پوشاندن ناحیه برش باعث بهبود کیفیت برش و سرعت آن می شد.



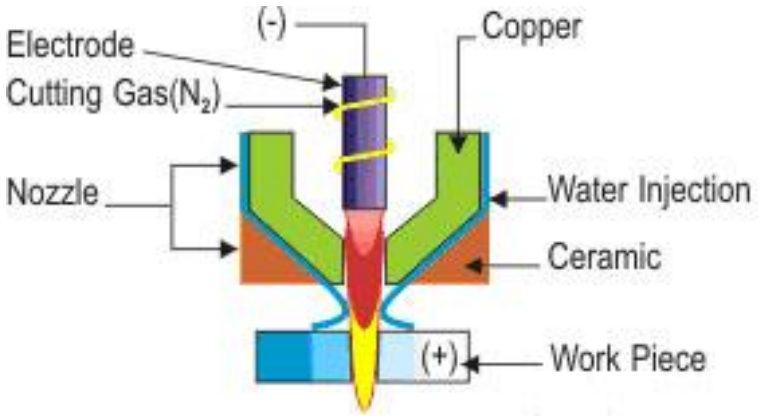
شکل ۲- برش پلاسما با دوجریان

برشکاری با پلاسمای هوا

- اکسیژن موجود در هوا از واکنش گرماده با فلز مذاب انرژی مازادی را فراهم می آورد. این انرژی اضافه شده سرعت برش را در حدود ۲۵٪ بیشتر از برش با پلاسمای نیتروژن بالا می برد. اگر چه این فرآیند قابل استفاده برای برش فولاد ضد زنگ و آلومینیوم بود ولی این مواد به شدت اکسید می شدند و برای بسیاری از کاربردها غیر قابل استفاده می شدند. بزرگترین مشکل در برش با پلاسمای هوا، خوردگی سریع الکترود مشعل پلاسما بوده است. الکترودهای مخصوص از جنس زیر کونیوم، هافنیوم و آلیاژهای آن مورد نیاز بود زیرا تنگستن در ثانیه ای خورده می شد اگر گاز برشکاری حاوی اکسیژن بود. حتی با استفاده از این جنس از الکترودها، عمر آنها بسیار کمتر از عمر آنها در استفاده از روش قراردادی پلاسما بود.

برشکاری با تزریق آب

- قبلا بیان شد، راه حل ارتقاء کیفیت برش، تنگ کردن قوس می باشد. در روش برشکاری پلاسما با تزریق آب، آب به صورت شعاعی و یکنواخت به داخل قوس تزریق می شود. (همانند شکل)



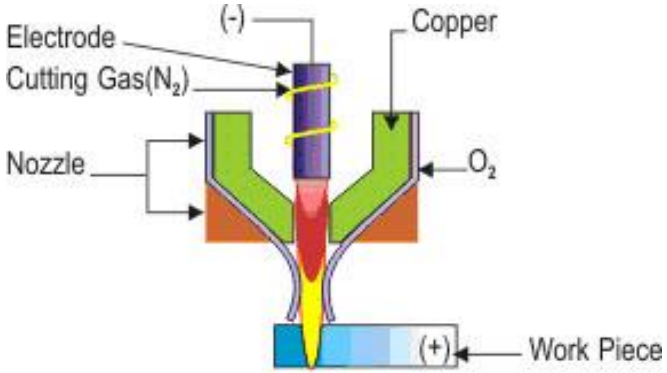
شکل ۳- برش پلاسما با تزریق آب

- برخورد شعاعی آب تزریق شده با قوس باعث ایجاد تنگی بیشتری در قوس نسبت به نازل مسی به تنهایی می شود. دمای قوس در این ناحیه تخمین زده می شود به ۵۰۰۰۰ درجه کلوین یا تقریبا ۹ برابر دمای سطح خورشید و ۲ برابر دما در روش قراردادی پلاسما می رسد. نتیجه نهایی آن بهبود در چهار گوشه بودن برش، افزایش سرعت برش و از بین رفتن کف فلزات در برش فولاد نرم بود.. برخلاف این نیاز به یک گاز، باعث شد که این فرآیند اقتصادی تر شود. با وجود دمای بشدت بالا در نقطه برخورد آب با قوس، کمتر از ۱۰ درصد از آب بخار می شود و مابقی آب خارج شده از نازل، سطح بالایی قطعه کار را خنک می کند که باعث جلوگیری از اکسید شدن سطح برش می شود.

- همچنین با ایجاد محافظ با جریان بسیار زیاد آب در اطراف مشعل به این راهکارها دست یافتند:
- صدای بسیار زیاد پلاسما به مقدار زیادی به واسطه خاصیت خفگی دیواره آب از بین رفت.
- دود و گازهای سمی در دیواره آب محبوس شده و در نهایت ذرات دود در آب به جا می ماندند.
- تابش قوس به سطح کمی رسید که خطر کمتری برای چشم داشت.
- با اضافه کردن رنگ مناسب در آب، تشعشعات ماوراء بنفش تقلیل یافت.

برشکاری پلاسما با تزریق اکسیژن

- در این روش مشکل عمر الکترود را با استفاده از نیتروژن به عنوان گاز پلاسما و اکسیژن تزریق شده در انتهای نازل رفع گردید. این روش مخصوصا برای فولاد نرم استفاده می شد و مقداری سرعت برش را نیز افزایش داد. از معایب این روش می توان به چهار گوشه نبودن برش، باقی ماندن چاک ها نام برد.



شکل ۴- برش پلاسما با تزریق اکسیژن

چاک ها در برش پلاسما در تزریق با اکسیژن

برشکاری پلاسما با چگالی بالا

- امروزه دستگاههای ساخته شده از هوای فشرده نیتروژن ،اکسیژن ،یا آرگون / هیدروژن برای برش میتوان استفاده میکنند.این تکنولوژی مدرن را برای برش دادن تمامی فلزات هادی الکتریسیته بویژه فولادهای ساختمانی ،فولادهای ضد زنگ و فلزات رنگ میتوان به کار برد .با استفاده از این روش در فرایند برش می توان به کمترین میزان پیچید گی و تابید گی قطعه به دلیل تمرکز قوس الکتریکی دست یافت .سرعت بالای برش (۵ تا ۷ بار سریعتر از روشهای معمول) بدون از دست دادن زمان یا عدم احتیاج به پیش گرم شدن قطعه کار، از مزایای این روش می باشد .در عمل با توجه به سرعت بالای این روش و عدم نیاز به اکسیژن و سوخت (فقط مصرف هوای فشرده ،برق ، نازل و الکترود) قیمت تمام شده برش نسبت به روش اکسی استیلن قابل رقابت می باشد.

مقایسه برش پلاسما و برش اکسی – سوخت

- برش پلاسما قابل اجرا بر هر گونه فلز هادی الکتریسته می باشد در حالی که روش اکسی سوخت محدود به فولاد و دیگر فلزات آهنی که فرایند اکسید شدن در آنها اتفاق می افتد می باشد. آلومینیوم و آهن ضد زنگ که اکسیدی تشکیل می دهند که مانع اکسیداسیون بیشتر می شود در نتیجه روش برش اکسی سوخت را غیر قابل استفاده می شود. با این حال پلاسما بدون وابستگی به اکسیداسیون می باشد و آلومینیوم و استنلس استیل و هر فلز هادی دیگری را برش می دهد.
- در حالی که گاز های مختلفی برای برش پلاسما قابل استفاده است، اما معمولا از هوای فشرده که در همه ی بازار ها موجود است استفاده می شود و دیگر نیازی به اکسیژن و گاز سوخت نیست.

- برش پلاسما چه برای مبتدی و چه حرفه ای آسان تر است در حالی که همچنان برای برش های سنگین (۱ اینچ و بالاتر) روش اکسی سوخت ترجیح داده می شود زیرا سریعتر است و برای برش های سنگین تر با پلاسما منبع قدرت بزرگ مورد نیاز است.
- البته از نظر قیمت اکسی سوخت ارزانتر از پلاسما است و نیازی به الکتریسیته ندارد.