

OxyAcetylene Welding (OAW)



جوشکاری اکسی اسیتیلن

جوشکاری گازی

جوشکاری گازی فرایند اتصال فلزات است که در آن با استفاده از گرمای حاصل از احتراق مخلوط اکسیژن با یک گاز سوختنی ، عمل جوش انجام می گیرد .

در این روش لبه های دو قطعه ای که باید به هم متصل شوند ، ذوب شده و پس از انجماد لبه های آنها به هم جوش می خورند .
اغلب برای اتصال فلزات از یک فلز پرکننده نیز استفاده می شود .

جوشکاری گازی

گرمای لازم برای ذوب فلز پایه از سوزاندن مخلوط اکسیژن و یک گاز سوختنی در مشعل مخصوص به دست می آید . شعله ی حاصل از سوختن این مخلوط به اندازه ای گرم هست که فلز پایه را ذوب کند . متداولترین گاز سوختنی مورد استفاده در جوشکاری گازی ، گاز استیلن است . از پروپان ، هیدروژن ، گاز طبیعی و متان هم می توان استفاده نمود .

۳۲۵۰ سانتی گراد

اکسی استیلن

۲۸۱۵ سانتی گراد

اکسی بوتان

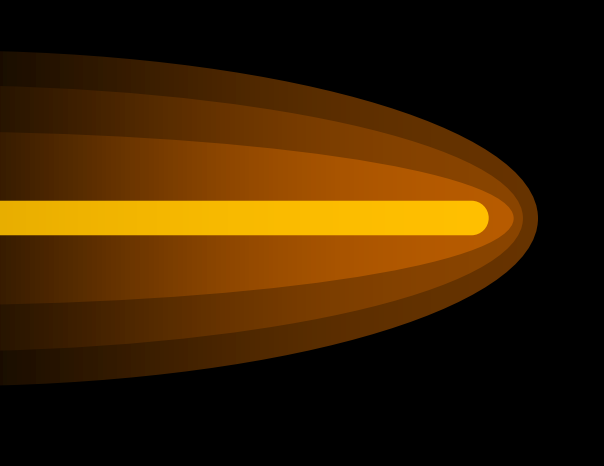
۲۷۷۰ سانتی گراد

اکسی متان

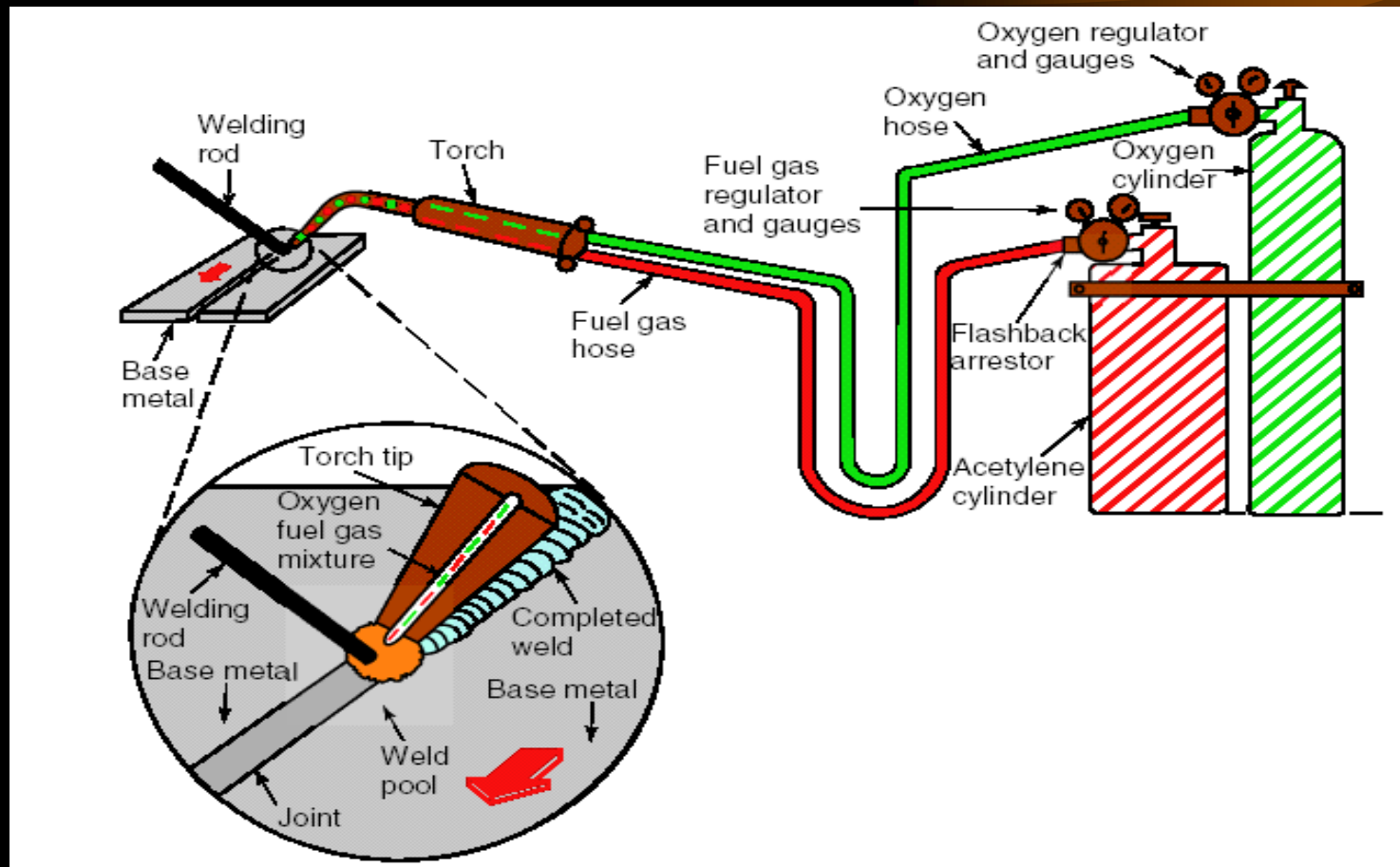
۲۸۲۰ سانتی گراد

اکسی هیدروژن

TABLE 3.1 Flame Temperatures and Other Key Features for Various Oxyfuel Gas Welding Processes

Fuel Gas	Formula	Specific Gravity ^a	Volume to Weight Ratio ^a		Oxygen-to-Fuel Gas Combustion Ratio ^b					
		Air = 1	ft ³ /lb	m ³ /kg						
Acetylene	C ₂ H ₂	0.906	14.6	0.91	2.5					
Propane	C ₂ H ₃	1.52	8.7	0.54	5.0					
Methylacetylene-propadiene (MPS) ^d	C ₃ H ₄	1.48	8.9	0.55	4.0					
Propylene	C ₃ H ₆	1.48	8.9	0.55	4.5					
Natural gas (methanol)	CH ₄	0.62	23.6	1.44	2.0					
Hydrogen	H ₂	0.07								
			Flame Temperature for Oxygen ^c		Heat of Combustion					
					Primary		Secondary		Total	
			°F	°C	Btu/ft ³	MJ/m ³	Btu/ft ³	MJ/m ³	Btu/ft ³	MJ/m ³
			5589	3087	507	19	963	36	1470	55
			4579	2526	255	10	2243	94	2498	104
			5301	2927	571	21	1889	70	2460	91
			5250	2900	438	16	1962	73	2400	89
			4600	2538	11	0.4	989	37	1000	37
			4820	2660					325	12

جوشکاری اکسی اسیتیلن



کپسول استیلن

رنگ بدنه ی کپسول استیلن سبز یا قهوه ای است و بلندی آن کمتر از کپسول اکسیژن می باشد . شیرهای آن رزوه ی چپ گرد دارند و شلنگ های متصل به آن قرمز رنگ می باشد.

اندازه ی معمول این کپسول ها ۲۸۰۰ و ۵۴۰۰ لیتر است و در آنها استیلن حل شده با فشار ۱۵ بار نگهداری می شود . کف سیلندر های استیلن تورفته است و به دلایل ایمنی باید آن را سرپا نگه داشت . زیرا استون موجود در سیلندر نباید وارد رگولاتور یا مشعل شود ، در غیر اینصورت ممکن است انفجار رخ دهد .

کپسول اکسیژن

کپسول اکسیژن سیاهرنگ است و خروجی های آن رزوه ی راستگرد دارند . رنگ شلنگ هایی که اکسیژن را به مشعل می‌رسانند آبی است.

اندازه های معمول سیلندر اکسیژن عبارتند از ۳۴۰۰ ، ۵۲۰۰ و ۶۸۰۰ لیتر و اکسیژن با فشار حداکثر ۱۷۰ بار در آن نگهداری میشود.

رگلاتور

جوشکاری با فشارهای زیاد امکان پذیر نیست. بدین جهت بایستی فشار کپسول را کاهش داده و به فشار گاز تبدیل نمود فشار گاز با بزرگی و کوچکی سرمشعلی که برای جوشکاری به کار می رود تغییر می کند و مقدار آن معمولاً برای اکسیژن ۵/۱ الی ۴ اتمسفر و برای استیلن ۲/۱ الی ۱ اتمسفر می باشد. فشار گاز در تمام مدت جوشکاری ثابت و یکسان می باشد. عمل کاهش و تنظیم فشار گاز کپسولها به وسیله رگولاتور انجام می گیرد

رگلاتور



بنابراین رگلاتور دو وظیفه دارد:

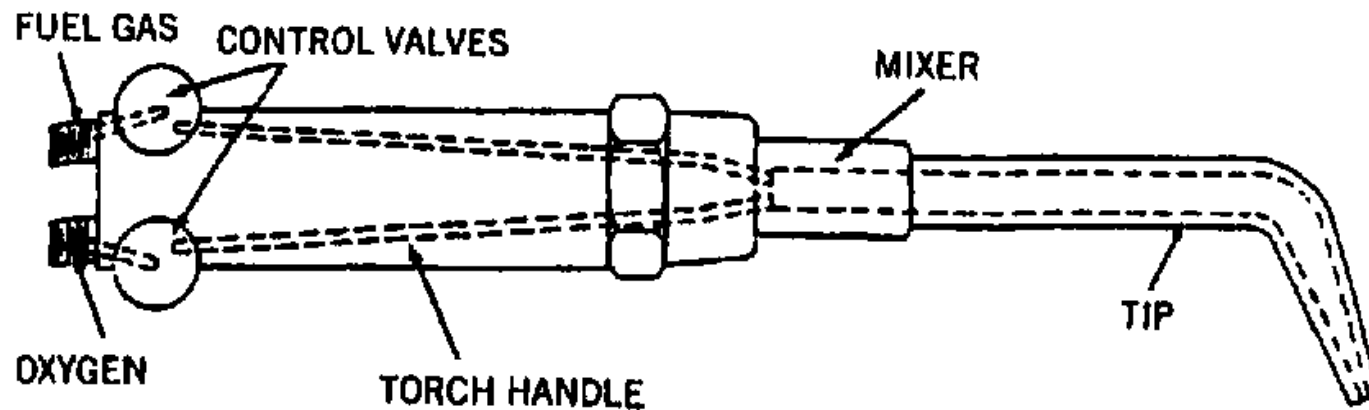
۱. فشار گاز داخل کیسول را به فشار کار تبدیل می نماید.
۲. فشار کار را همیشه ثابت نگه می دارد.

مشعل

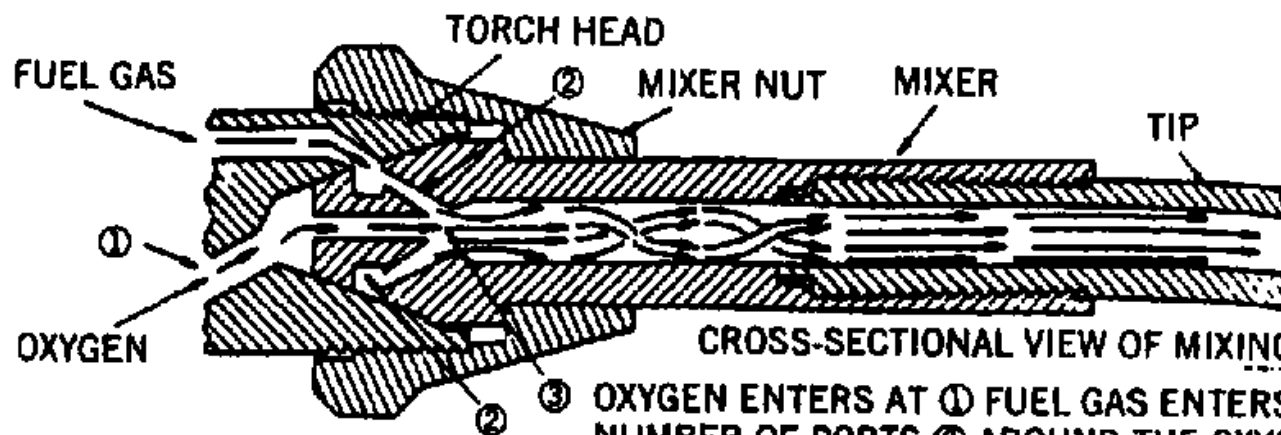
وظیفه مشعل تنظیم اختلاط گاز سوخت و اکسیژن به اندازه معین می باشد که آن را با سرعت کمی بیشتر از سرعت احتراق از دهانه خود خارج نماید . به عبارت دیگر کار مشعل آوردن حجم مناسبی از گاز سوختنی و اکسیژن سپس مخلوط کردن آنها و هدایتشان به سوی نازل است تا شعله مورد نظر را ایجاد کند.

مشعل ها بر دو نوع می باشند:

۱. مشعل فشار مساوی
۲. مشعل اثرکتوری یا فشار ضعیف



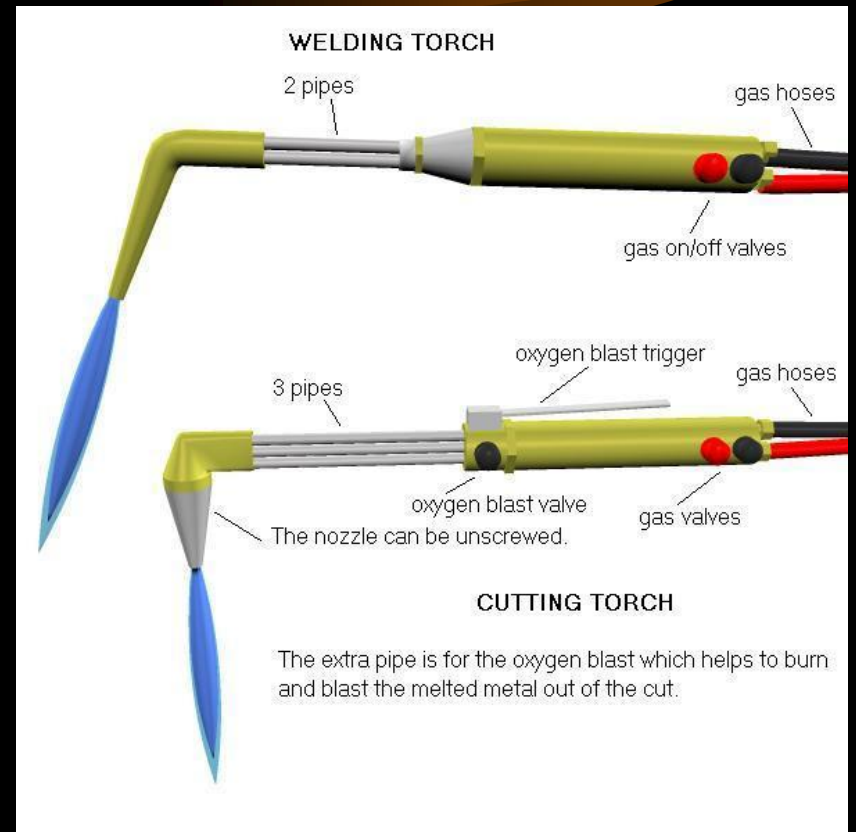
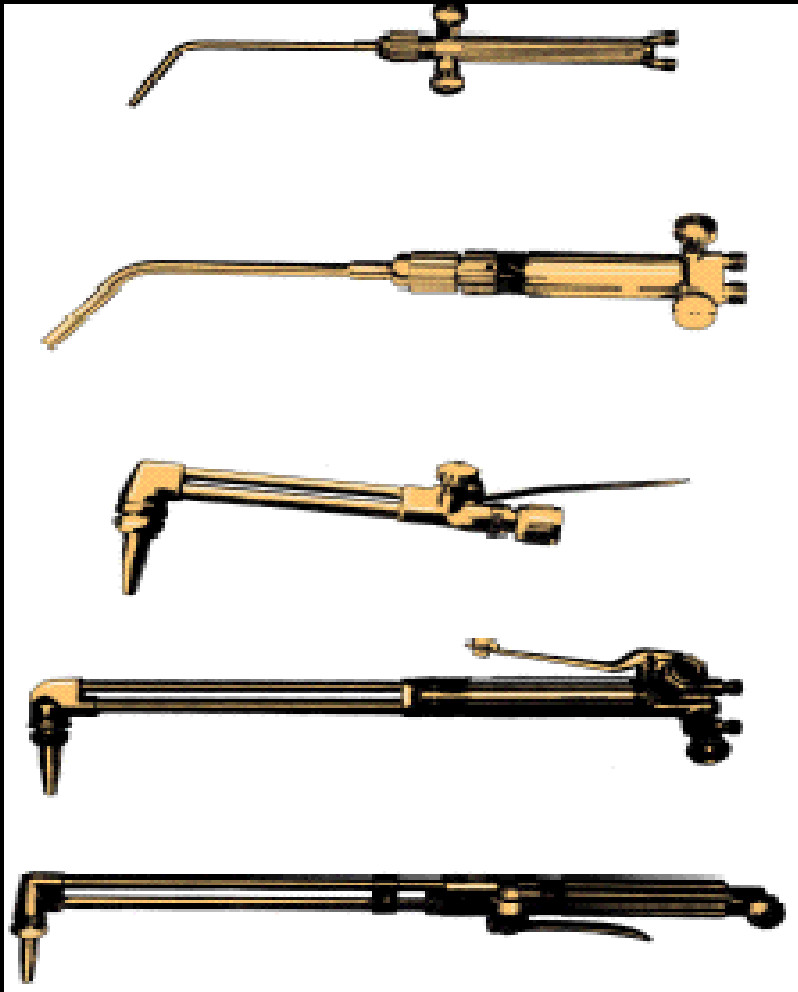
(a)



CROSS-SECTIONAL VIEW OF MIXING CHAMBER
 ① OXYGEN ENTERS AT ① FUEL GAS ENTERS THROUGH A
 NUMBER OF PORTS ② AROUND THE OXYGEN PORT ③
 THE GASES MIX TOGETHER AS THEY FLOW TO THE TIP

(b)

مشعل



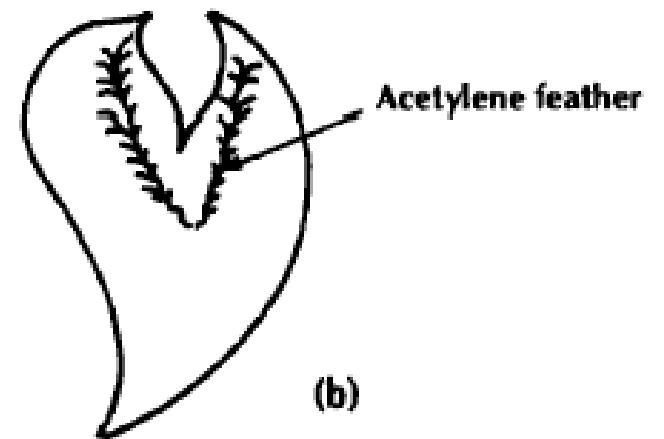
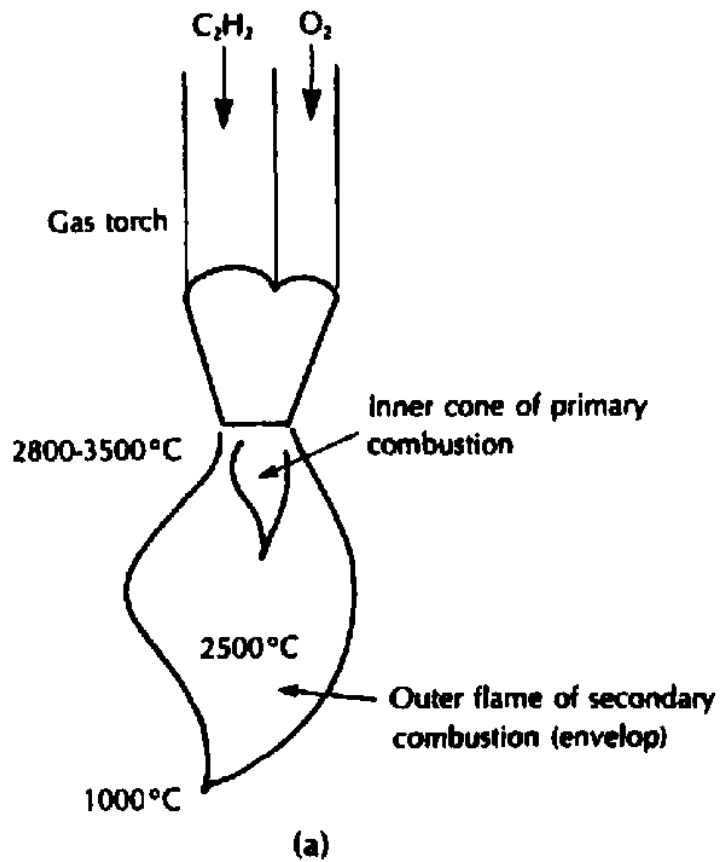
شعله

موفقیت در عملیات جوشکاری به استفاده از شعله ی مناسب بستگی دارد . سه نوع شعله ی اصلی مورد استفاده عبارتند از :

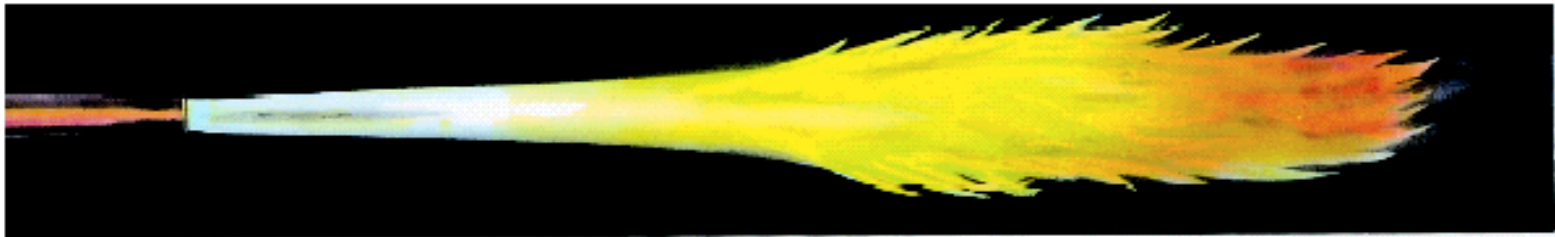
۱ - شعله ی کربن ده یا احیا کننده که در آن استیلن اضافی مصرف می شود .
از این شعله برای عملیات سخت کردن سطحی استفاده می شود .

۲ - شعله ی خنثی که در آن مقدار استیلن و اکسیژن مصرفی برابر است . از این شعله برای جوشکاری فولاد ، فولاد زنگ نزن ، چدن ، مس ، آلومینیوم و... استفاده می شود .

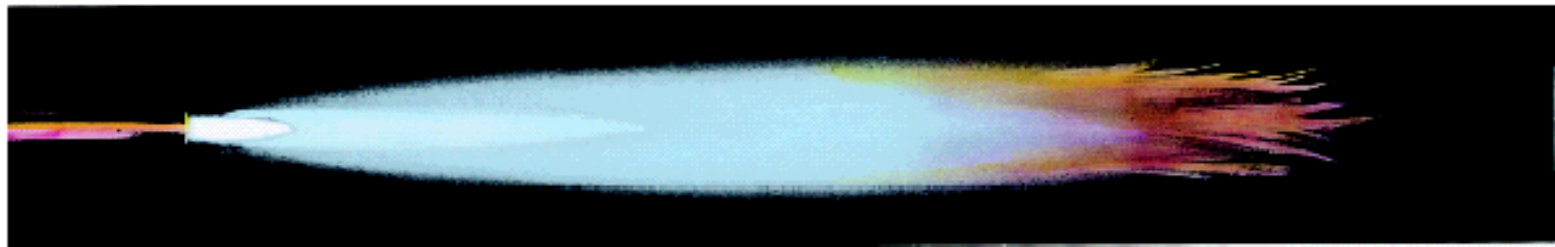
۳ - شعله ی اکساینده که در آن اکسیژن اضافی مصرف می شود . از این شعله برای جوشکاری برنج استفاده می شود .



شعله



Acetylene Burning in Atmosphere
Open fuel gas valve until smoke clears from flame.



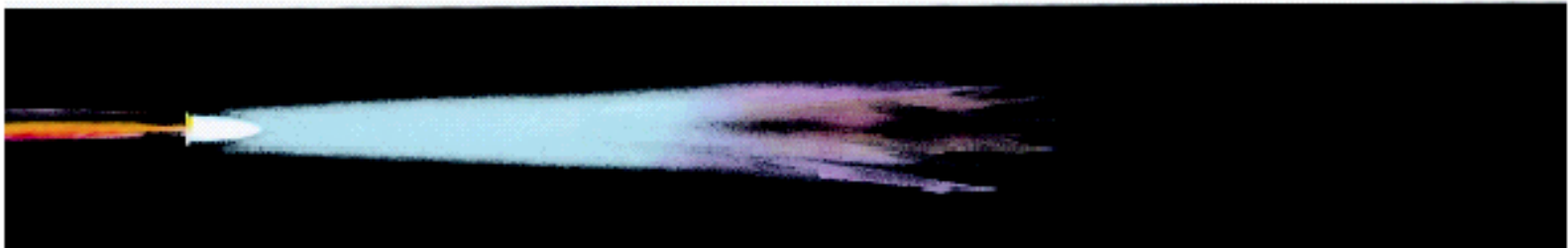
Carburizing Flame
(Excess acetylene with oxygen.) Used for hard-facing and welding white metal.

شعله



Neutral Flame

(Acetylene and oxygen.) Temperature 5589°F (3087°C). For fusion welding of steel and cast iron.



Oxidizing Flame

(Acetylene and excess oxygen.) For braze welding with bronze rod.



■ مزایا:

- ۱- سادگی در یادگرفتن.
- ۲- تجهیزات ارزانتر نسبت به سایر روشهای جوشکاری
- ۳- قابلیت حمل آسان تجهیزات جوشکاری
- ۴- قابلیت برش قطعات بزرگ



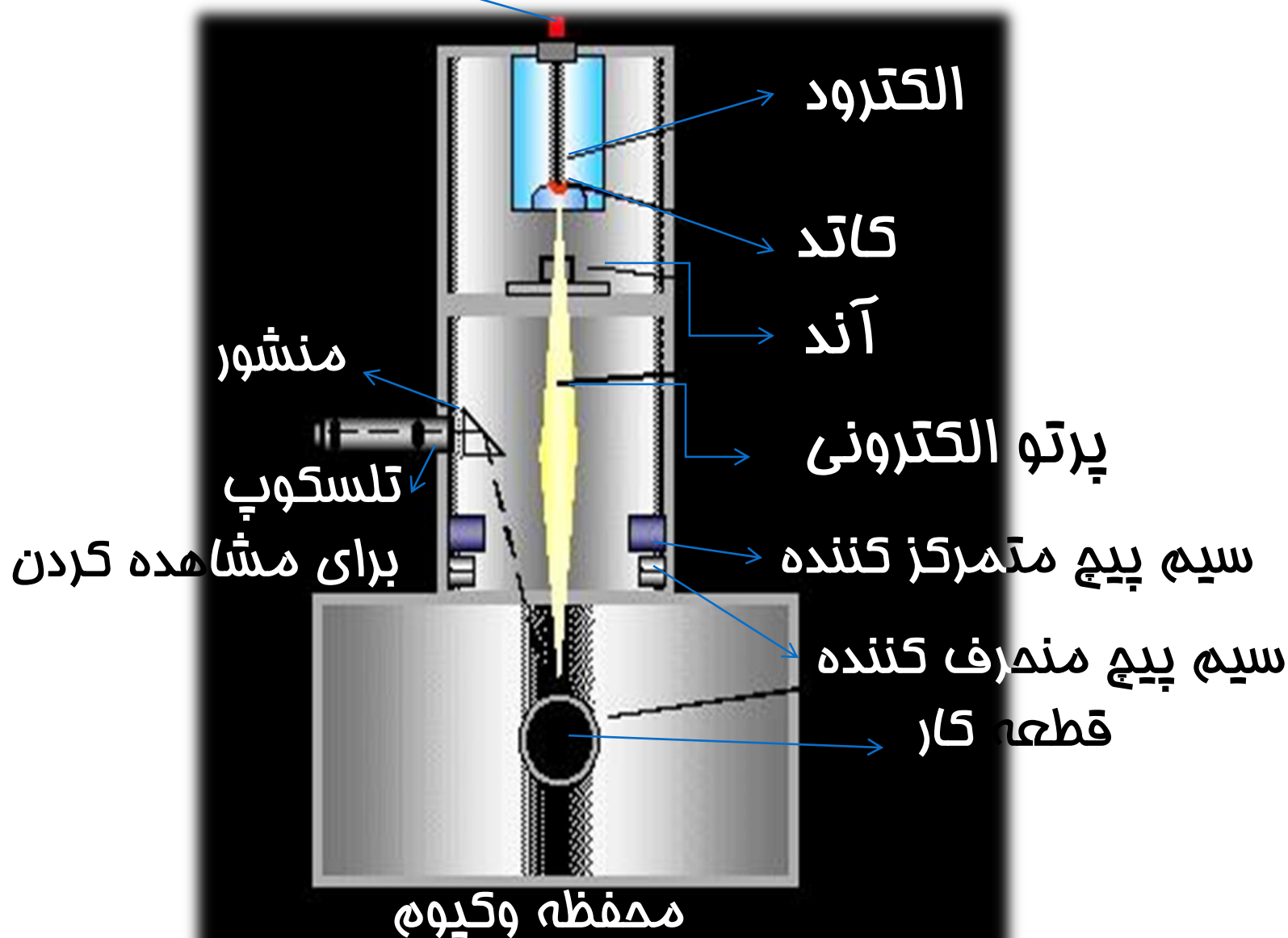
■ معایب:

- ۱- سطح جوش خشن است و بعد از جوشکاری نیاز به تمیز کاری دارد.
- ۲- ناحیه متأثر از جوش زیاد
- ۳- سرعت انجام عملیات سطحی کمتر از روشهای دیگر است

آشنایی
با

جوشکاری با پرتو الکترونی
(EBW)

کابل ولتاژ بالا



Column support boom

جریان خنک کننده
اصلی

پمپ
Turbo T₃

کابل ولتاژ بالا

دریچه ستون

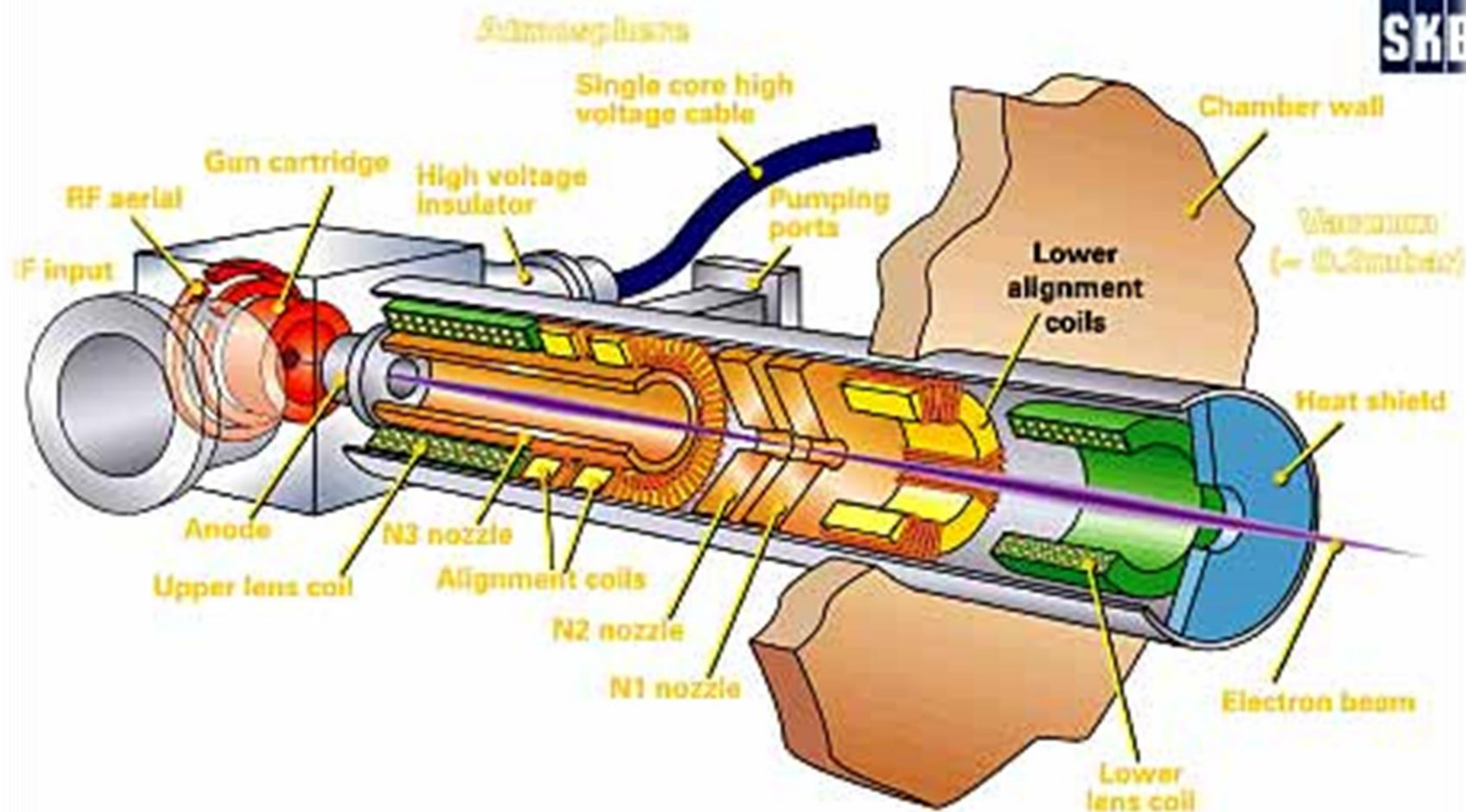
ستون انتقال اشعه

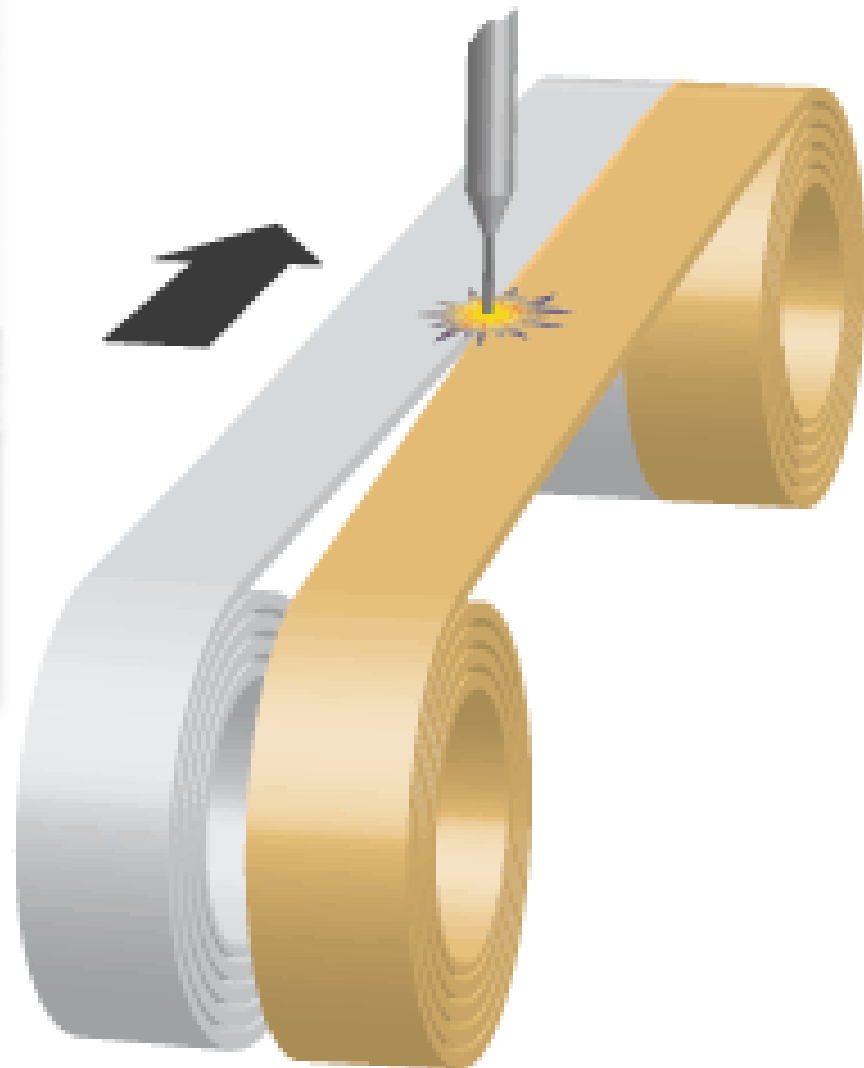
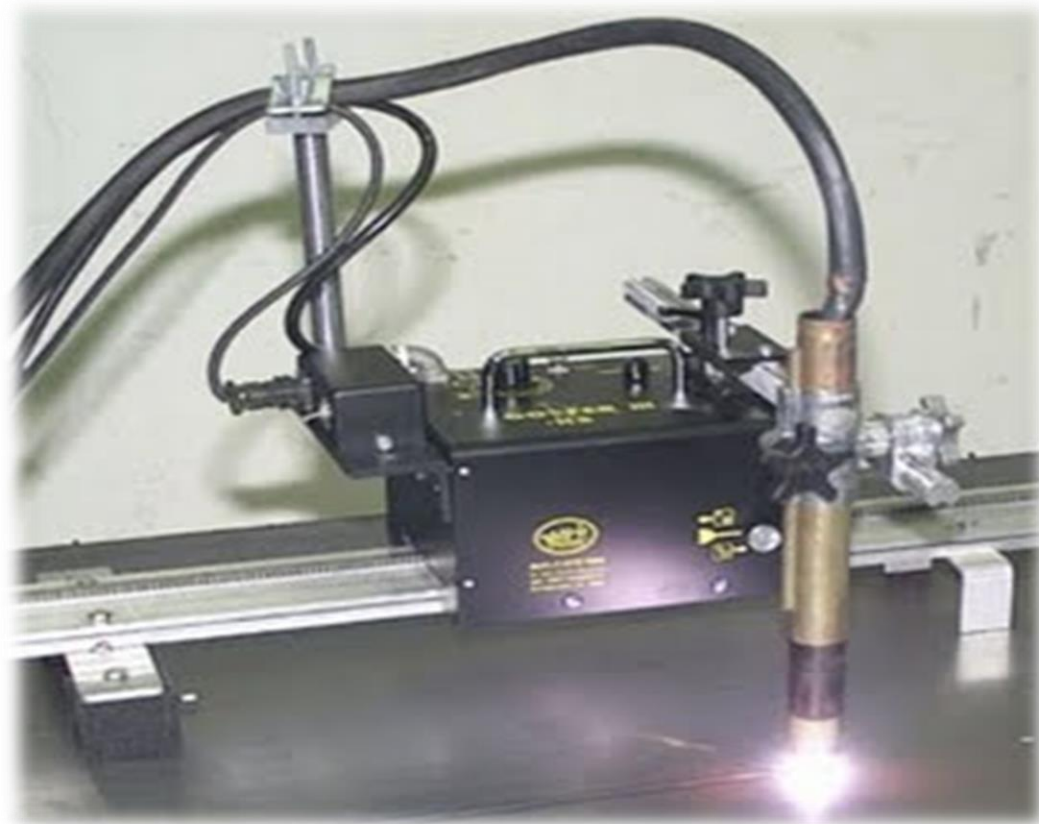
قطعه کار

تفنگ و
منبع تهیه RF
و پالس دهنده



Tranverse table



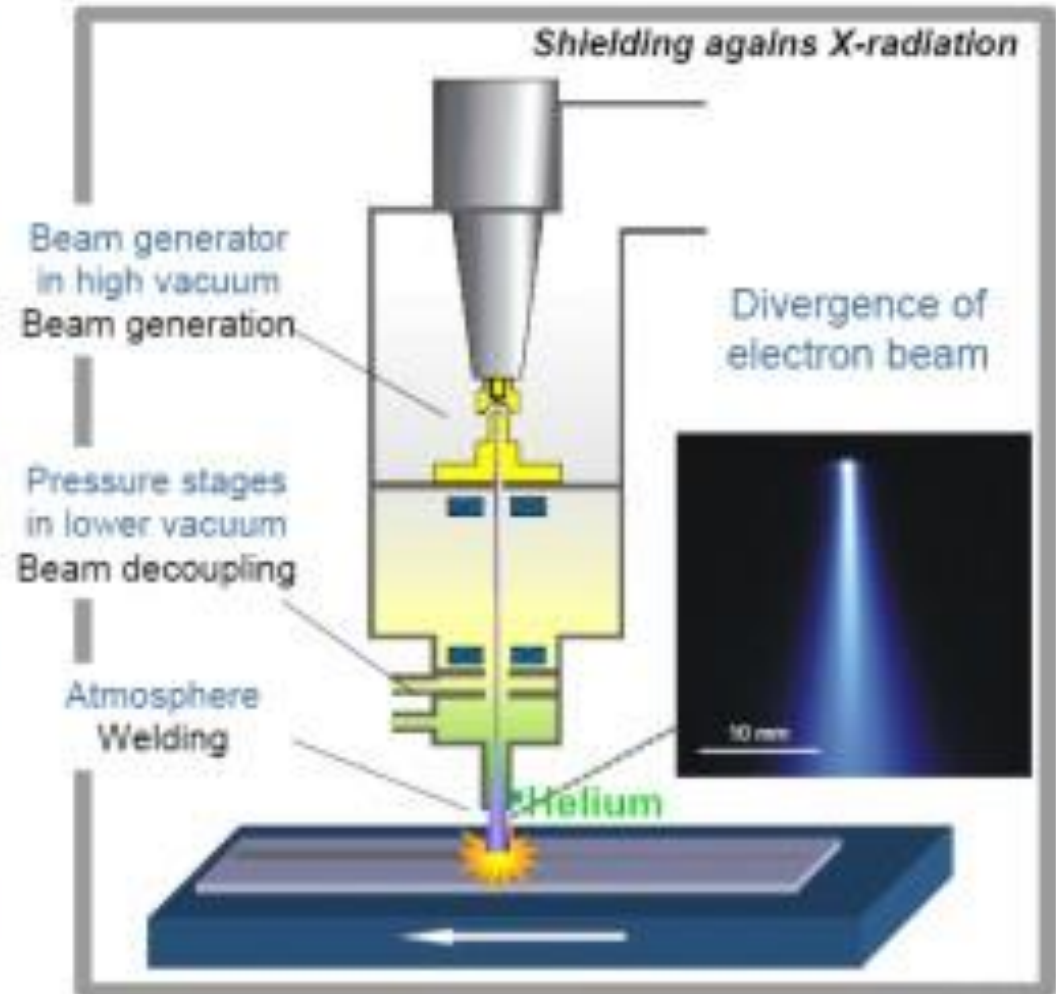


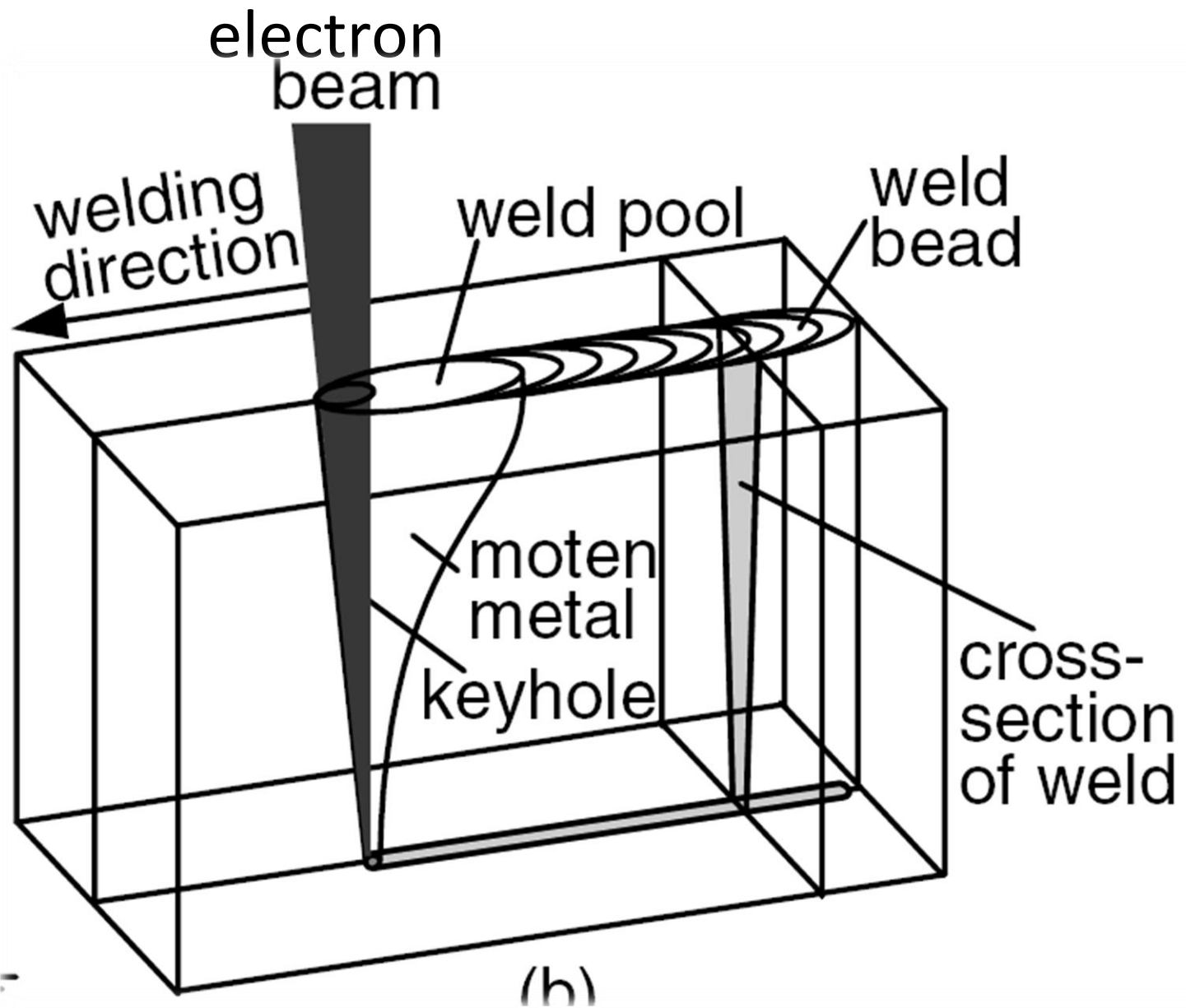
NVEBW: Principle

NVEBW: Non Vacuum Electron Beam Welding



max. beam power: 25 kW
max. beam current: 140 mA
high voltage: 175 kV





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

برلیه

تیتانیه

زیر کونیه

مولیبدن

• متغیرهای فرآیند

انرژی ورودی به قطعه کار

ولتاژ شتاب دهنده

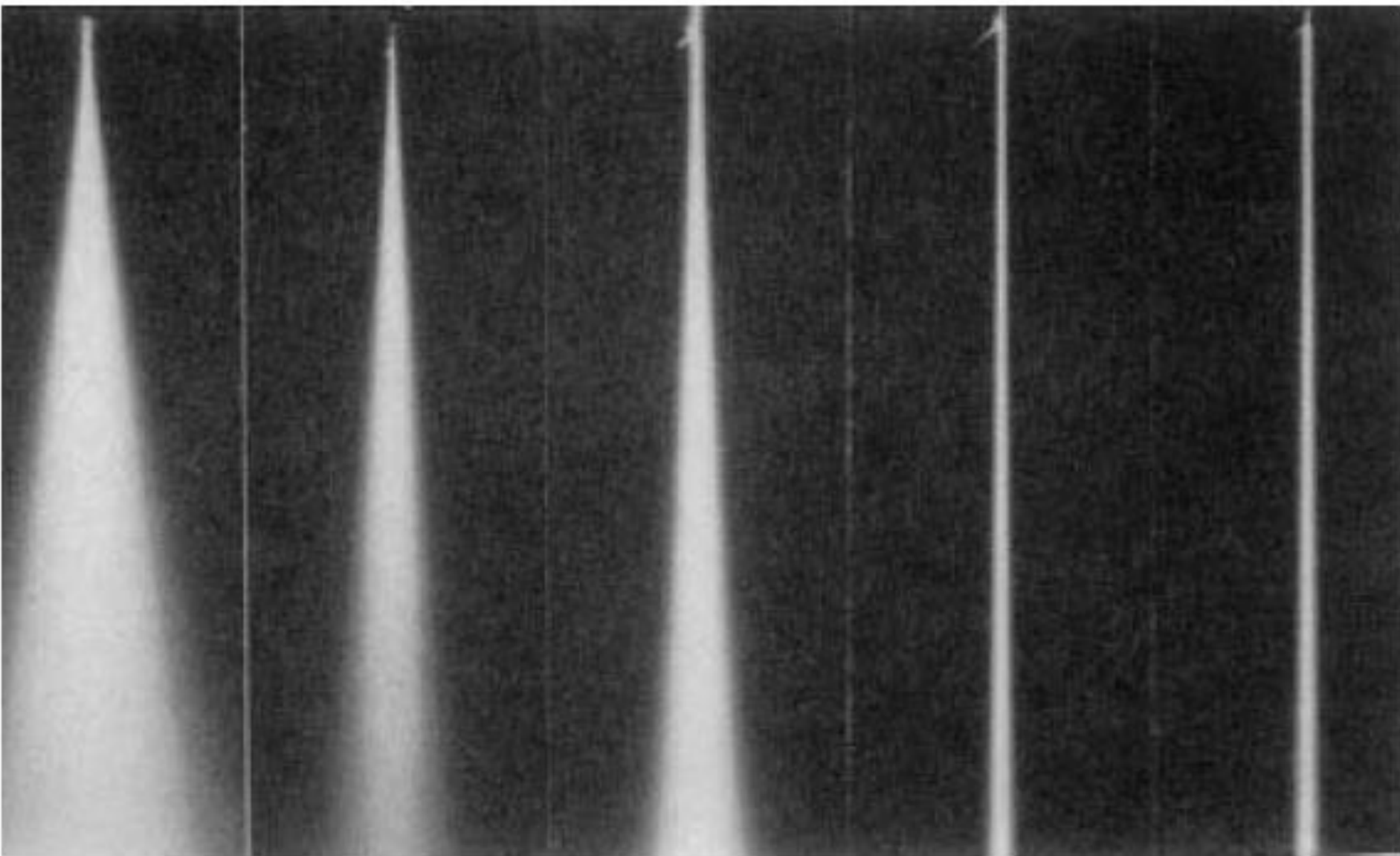
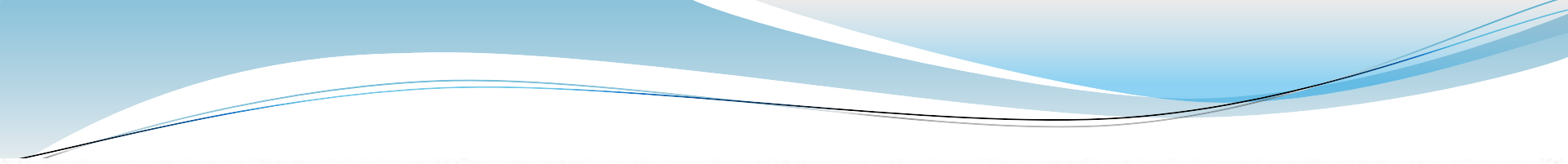
چگالی توان

جریان پرتو

فاصله بین کاتد و آنود

سرعت جوشکاری

فلز پرکننده



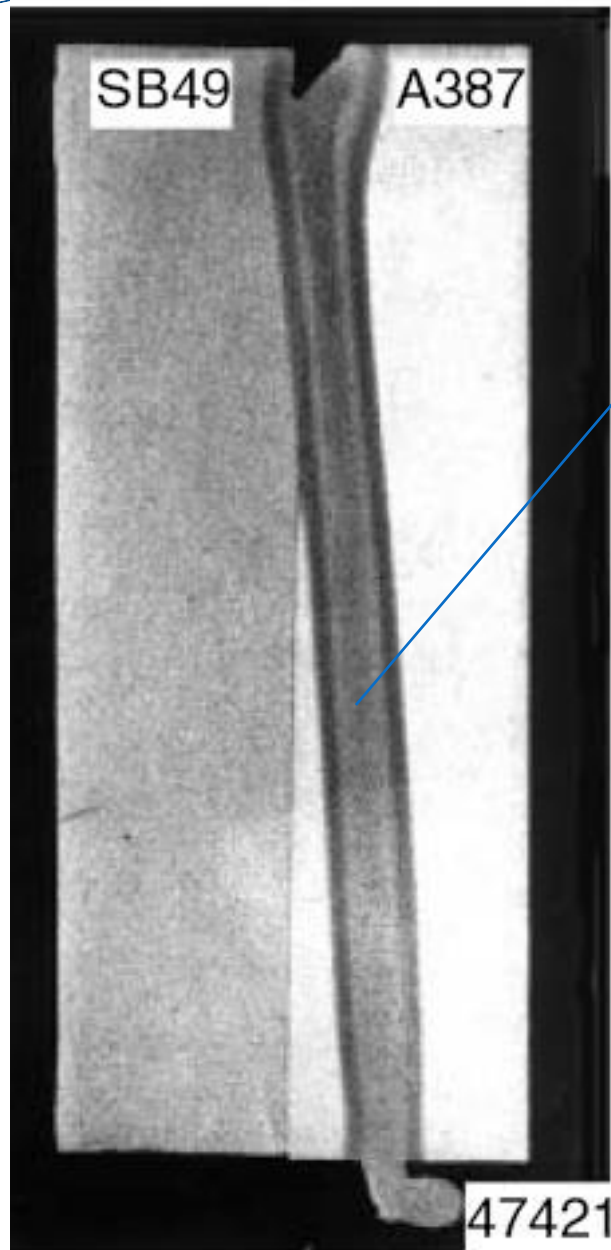
750 torr

500 torr

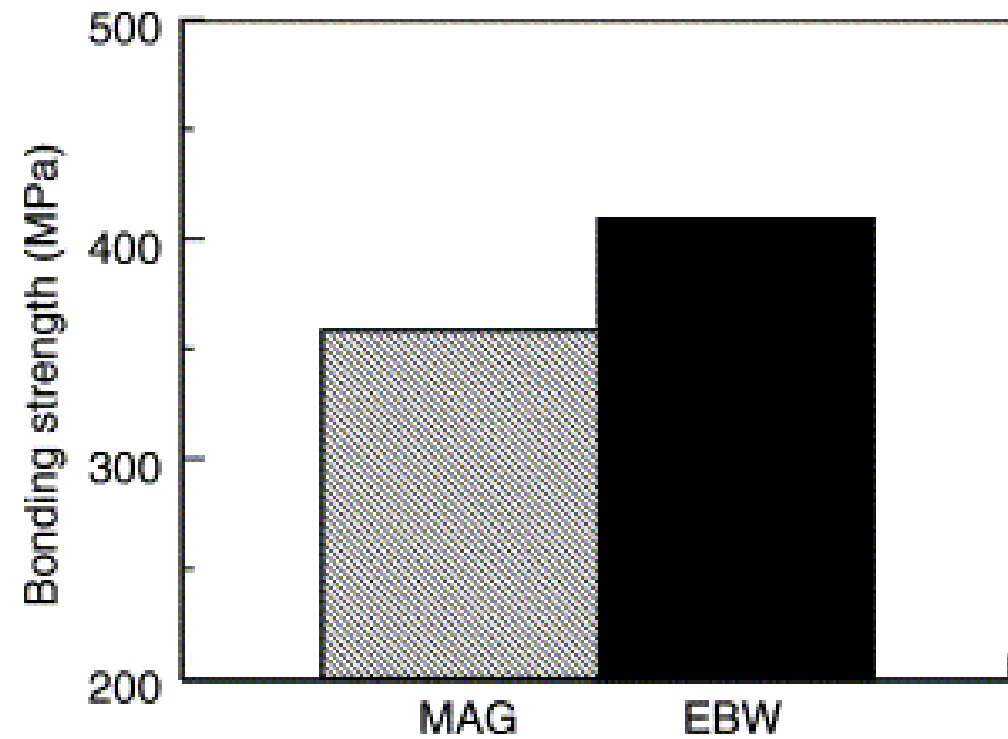
250 torr

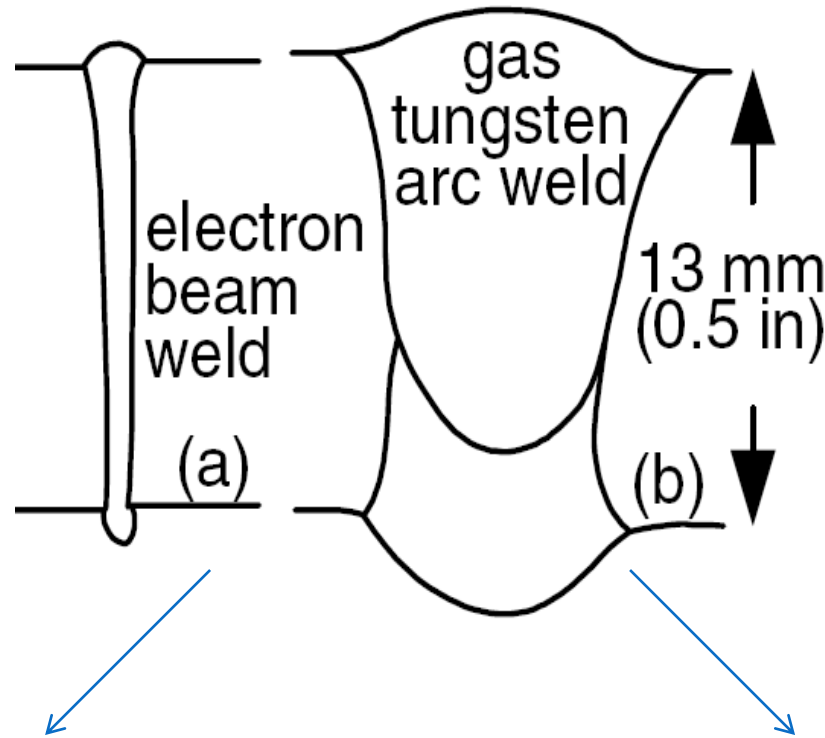
50 torr

5 torr



مسیر عبور بیم





انرژی واحد طول کمتر

(1.5 kJ/cm or 3.8 kJ/in.)

یک پاس

انرژی واحد طول بیشتر

(22.7 kJ/cm, or 57.6 kJ/in.)

دو پاس

متغیرهای فرآیند EBW:

◀ ولتاژ شتاب دهنده

◀ جریان پرتو

◀ فاصله بین کاتد و آنود

◀ سرعت جوشکاری

◀ فلز پرکننده

◀ محیط کار

◀ انرژی ورودی به قطعه کار

تقسیم بندی فرآیند:

«از نقطه نظر دامنه ولتاژ اعمالی:»

(a) ولتاژ پایین 30 kV-60 kV

(b) ولتاژ بالا ~100 kV

«از نقطه نظر میزان خلأ:»

الف - خلأ سخت

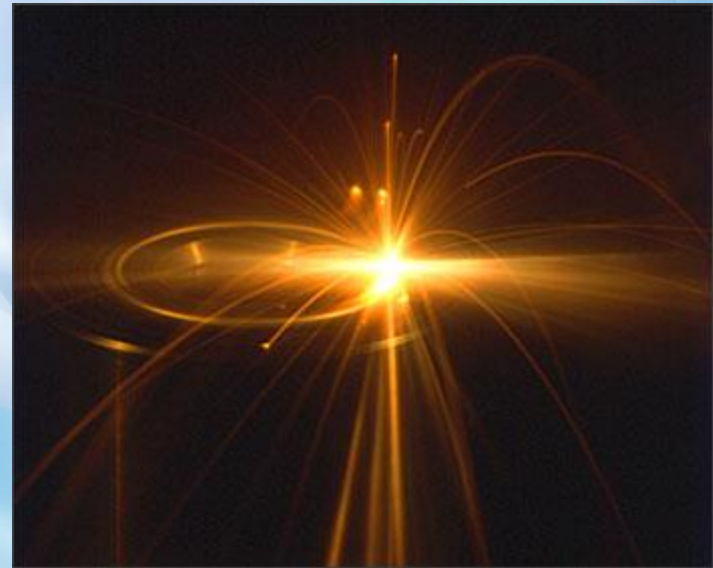
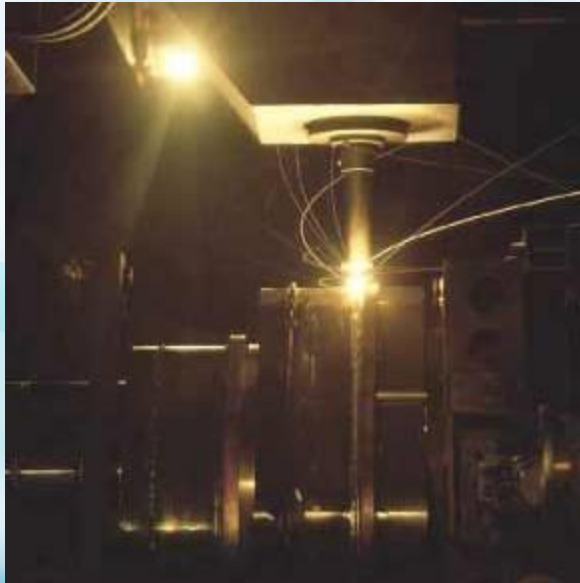
ب - خلأ نرم

ج - بدون خلأ

S. No.	EBM Type	Vacuum Pressure	Working distance limit	Thickness range for single pass weld	Systems power level	Special Applications
1.	Hard vacuum process	0.013 Pa	Upto 750 mm	A few thousand Angstrom to 225 mm	1-25 kW	Gives best properties when welding interstitially sensitive materials
2.	Soft vacuum process	13 Pa	Upto 300 mm	Upto 50 mm	15 kW	-do-
3.	Non-vacuum	1 atm	25 mm	13 mm	—	Cannot successfully weld interstitially sensitive materials

EQUIPMENT AND TECHNOLOGY FOR ELECTRON-BEAM WELDING

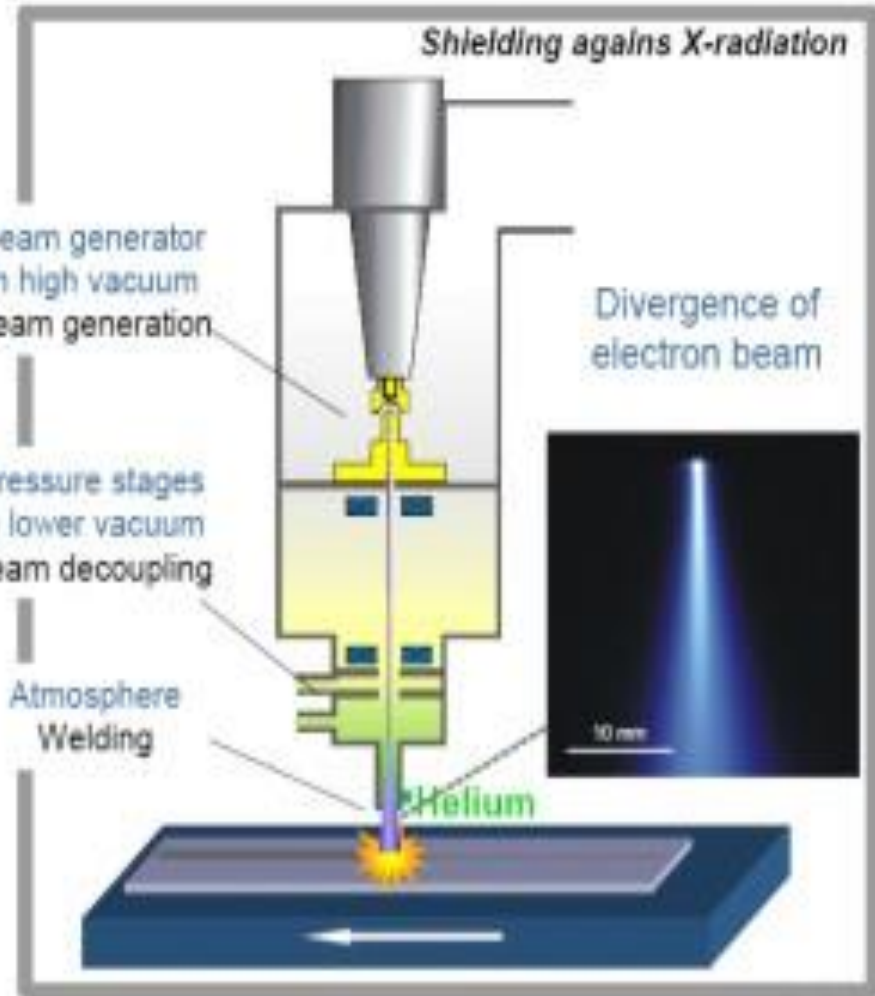




Electron Beam

NVEBW: Principle

NVEBW; Non Vacuum Electron Beam Welding



© IW

Electron Beam



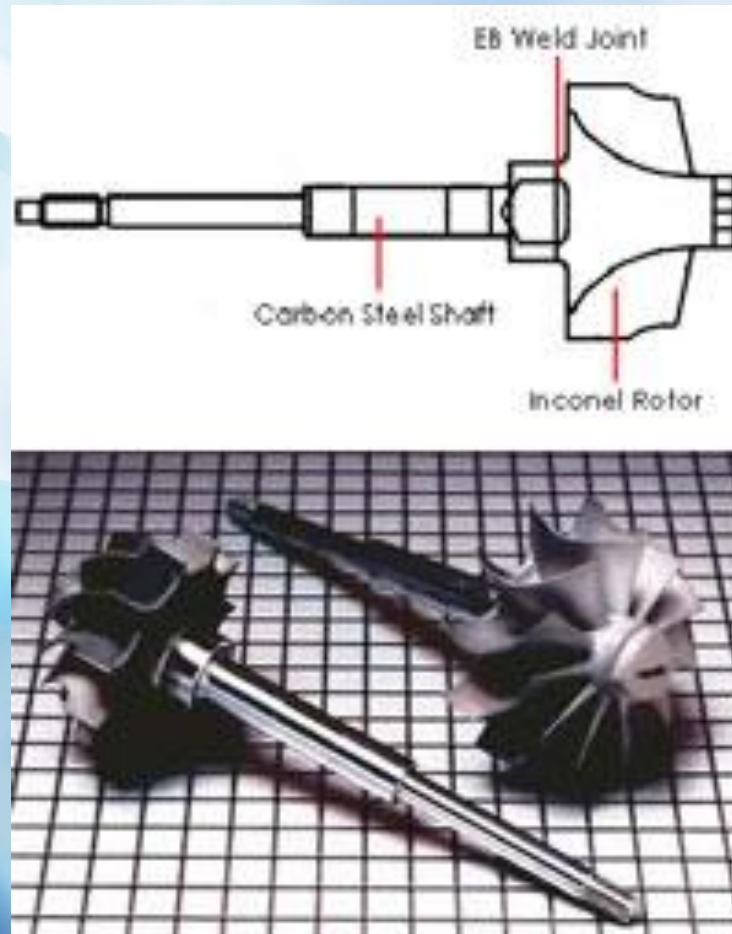
Electron Beam



Electron Beam



Electron Beam



Electron Beam

مزایای جوشکاری بیم الکترونی:

ایجاد جوشهای عمیق تر و باریک تر نسبت به روشهای قوسی

حرارت ورودی کمتر به جوش در مقایسه با روشهای ذوبی دیگر

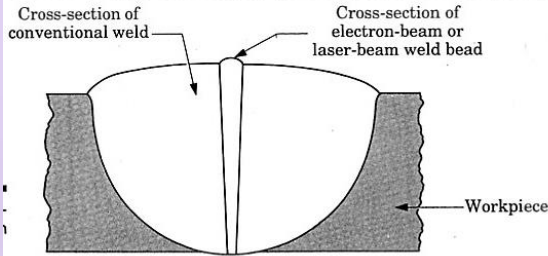
ناحیه متأثر از حرارت جوش باریک به علت تمرکز حرارتی بالای فرایند

تمیزی فلز جوش به دست آمده در صورت استفاده از خلا در فرایند

امکان دست یابی به سرعت جوشکاری بالا و در نتیجه سرعت تولید بالاتر


بازدهی انرژی بالا (تا حدود ۹۵ درصد)

پیچیدگی کم قطعه جوشکاری شده به علت تمرکز حرارتی بالای فرآیند





The depth-to-width can exceed a ratio of 20 to 1


Electron Beam
Welding


عدم نیاز به عملیات حرارتی قبل و بعد از فرآیند 

امکان اتصال قطعات و آلیاژهای حساس به حرارت 

امکان جوشکاری فلزات دیر گداز 

سهولت کنترل فرآیند به صورت رایانه ای 


امکان انجام فرآیند در طرح اتصال های گوناگون 


امکان جوشکاری قطعات بسیار ظریف مورد استفاده در صنایع الکترونیک و تجهیزات پزشکی
و آزمایشگاهی 

**Electron Beam
Welding**


محدودیت های جوشکاری بیم الکترونی:

قیمت زیاد راه اندازی اولیه و حساسیت بالا در هنگام چینش قطعه و باریکه 

در اثر برخورد پرتو الکترونی با سطح فلز پرتو ایکس تولید می شود 

انحراف پرتو از مسیر اصلی طراحی شده در اثر وجود میدان های الکتریکی و مغناطیسی سر گردان 

عدم پایداری طولانی مدت پرتو 

مشکل بودن تعمیر عیوب ایجاد شده در عمق قطعه در اتصال قطعات ضخیم 

حفره انتهایی محل جوش 

محدودیت اندازه قطعه در صورت استفاده از خلاء برای جوشکاری 

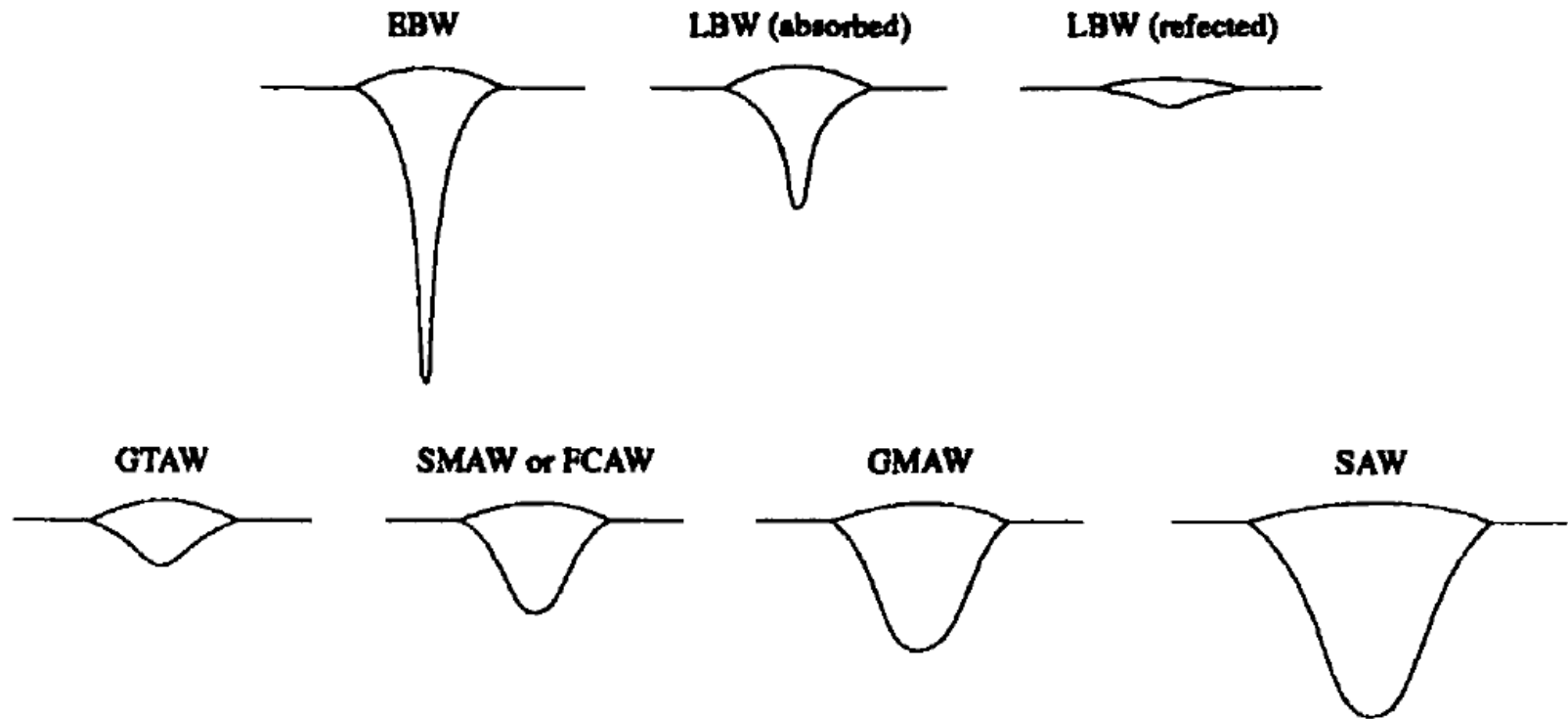
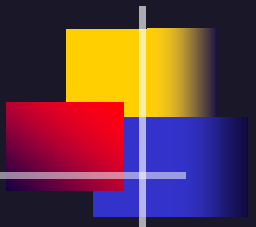


Figure 3.36 Schematic comparison of typical EB, LB, and conventional arc (e.g., GTA, GMA, SMA, FCA, or SA) welds.

جوشکاری زائده ای (SW)

➤ مبانی جوشکاری زائده ای (SW) :

در این روش با استفاده از قوس الکتریکی و اعمال فشار جوشکاری انجام می شود . درجه حرارت انتهای زائده و سطح قطعه کار بوسیله

قوس الکتریکی بالا می رود . بعد از آنکه قوس برقرار گردید و درجه حرارت دو سطح به مقدار لازم رسید پس از گذشت مدت زمان مناسب

دو سطح به هم فشرده شده و پیوندهای متالورژیکی ایجاد می گردد که باعث بالا رفتن خواص مکانیکی جوش می شود .

در این روش از فلز پرکننده و گازهای محافظ استفاده نمی شود . ولی ممکن است که در بعضی از موارد و در بعضی از روشهای خاص از گازهای

محافظ که عموماً آرگون و هلیوم هستند استفاده شود .

در این روش برای محافظت از منطقه جوش از محافظ های سرامیکی استفاده می نمایند .

جوشکاری زائده ای ، روشی برای اتصال زائده ها و بست های فلزی به قطعه کار می باشد . در سال 1940 میلادی این روش جایگزین

دیگر روش های مشابه گردید . میلیون ها بست فلزی بطور موفقیت آمیزی با این روش جوشکاری شدند و در صنایع گوناگونی نظیر

خودروسازی , کشتی سازی و ... کاربردهای فراوانی پیدا نمود .

جوشکاری زائده ای نشان داد که می تواند جایگزین مناسبی برای دیگر روش های جوشکاری مشابه باشد . و همچنین برای کاربردهای

دیگری نظیر سوراخ کاری , حدیده کاری و ... قابل استفاده می باشد .

➤ مبانی جوشکاری زائده ای (SW) :

در این روش با استفاده از قوس الکتریکی و اعمال فشار جوشکاری انجام می شود . درجه حرارت انتهای زائده و سطح قطعه کار بوسیله

قوس الکتریکی بالا می رود . بعد از آنکه قوس برقرار گردید و درجه حرارت دو سطح به مقدار لازم رسید پس از گذشت مدت زمان مناسب

دو سطح به هم فشرده شده و پیوندهای متالورژیکی ایجاد می گردد که باعث بالا رفتن خواص مکانیکی جوش می شود .

در این روش از فلز پرکننده و گازهای محافظ استفاده نمی شود . ولی ممکن است که در بعضی از موارد و در بعضی از روشهای خاص از گازهای

محافظ که عموماً آرگون و هلیوم هستند استفاده شود .

در این روش برای محافظت از منطقه جوش از محافظ های سرامیکی استفاده می نمایند .

➤ تجهیزات جوشکاری زائده ای (SW) :

سیستم کنترل : که مدت زمان برقراری قوس ، نحوه حرکت تفنگ جوشکاری ، میزان شدت جریان و ولتاژ را تنظیم می نماید .

تفنگ جوشکاری : که بر دو نوع می باشد :

1- نوع سبک و قابل حمل که وزن آن در حدود 8/1 kg بوده و زائده هایی تا قطر 16 mm را جوشکاری می نماید .

2- نوع سنگین و ثابت که وزن آن در حدود 8/6 kg بوده و زائده هایی با قطرهای بالاتر را جوشکاری می نماید .

کابل های اتصال : که به منبع قدرت متصل بوده و و جریان و ولتاژ را به تفنگ جوشکاری منتقل می نماید

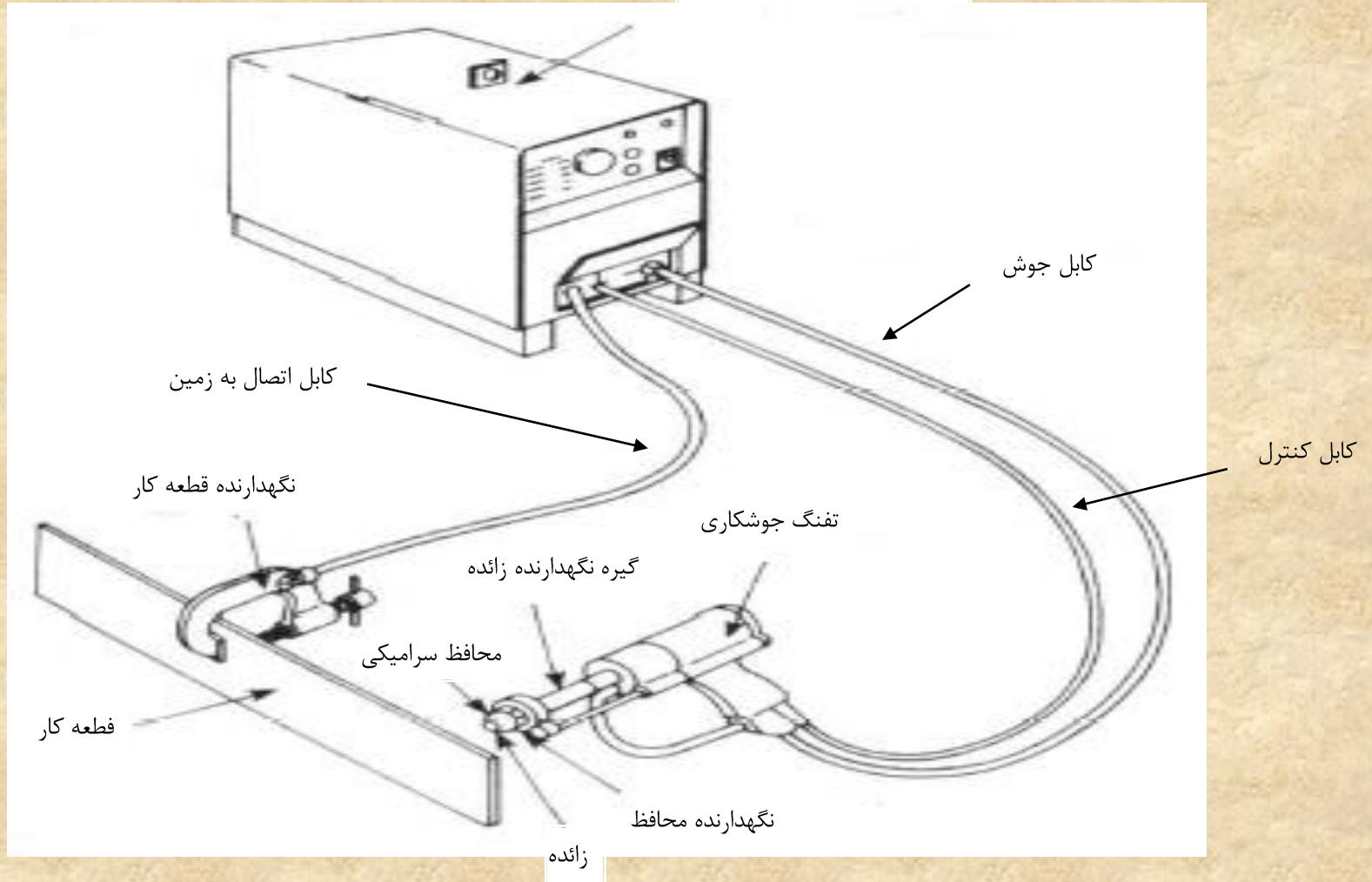
منبع قدرت : که بر دو نوع است:

1- از جریان DC استفاده شده ، عمق نفوذ جوش بالا می باشد ، برای فلزات با ضخامت بالا و زائده هایی با قطر بالا از آن استفاده می شود .

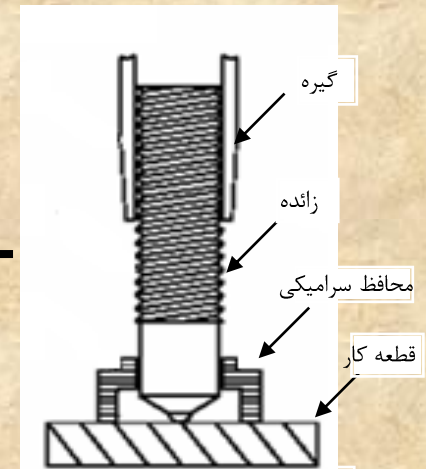
2 – از تخلیه با الکتریکی يك خازن استفاده می شود ، عمق نفوذ کم می باشد ، و برای فلزات با ضخامت کم و زائده هایی با قطرهای پایین تر استفاده می شود . (CDSW)

تجهیزات جوشکاری زائده ای (SW)

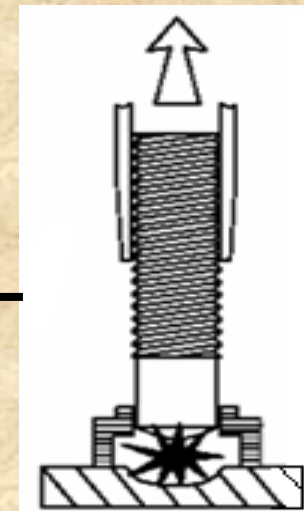
منبع قدرت و مرکز کنترل



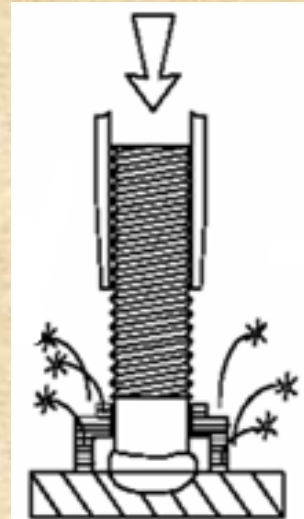
➤ مراحل انجام جوشکاری زائده ای :



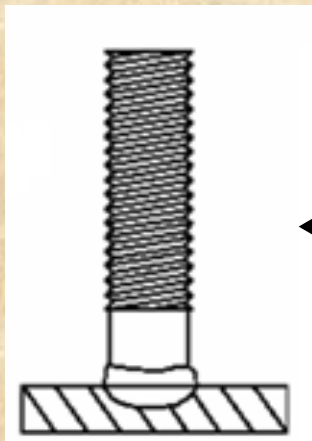
تفنگ در وضعیت مناسب
جوش قرار گرفته و فنر
تفنگ کمی بر روی قطعه کار
فشرده می شود .



ماشه تفنگ فشار داده
می شود . زائده کمی از
روی قطعه بلند شده و
قوش تشکیل می گردد .

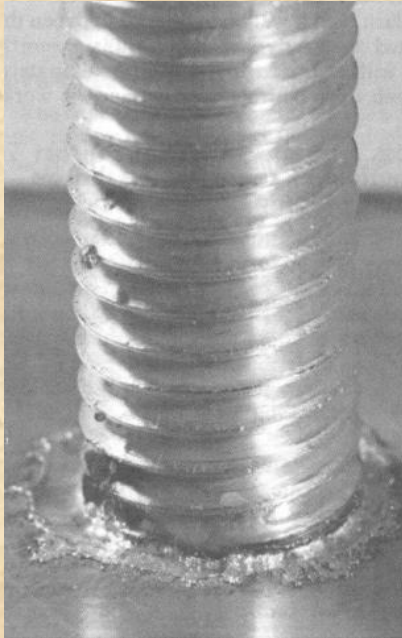


وقتی قوس کامل گردید و
سطح دو قطعه ذوب گردید
زائده بوسیله فنر تفنگ بر
روی فلز ذوب شده فشرده
می گردد .



بعد از گذشت مدت زمان
مناسب تفنگ از روی منطقه
جوش بلند شده و محافظ
سرامیکی شکسته می شود .

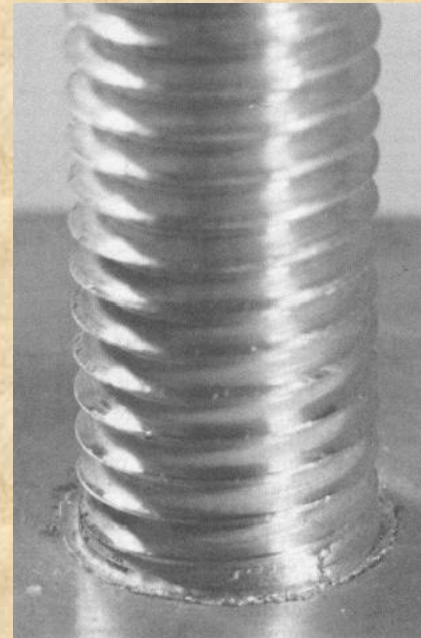
➤ نمونه یک زائده جوشکاری شده :



جوشکاری زائده آلومینیومی 6061 با قطر 5/9 mm

به قطعه کار آلومینیومی 6061 با ضخامت 35/6 mm

(بدون تمیزکاری سطوح قبل از عملیات جوشکاری)



جوشکاری زائده آلومینیومی 6061 با قطر 5/9 mm

به قطعه کار آلومینیومی 6061 با ضخامت 35/6 mm

(با تمیزکاری سطوح قبل از عملیات جوشکاری)

➤ انواع بست ها (زائده ها) و محافظ های سرامیکی



➤ فلزات قابل جوش با روش SW :

فولادهای کربنی ، فولادهای زنگ نزن ، آلومینیوم و آلیاژهای آن با این روش قابل جوشکاری هستند .

کلیه فولادهای زنگ نزن بجز فولاد 303 که جوش خوبی انجام نمی شود قابل جوشکاری با این روش هستند .

آلیاژهای آلومینیومی سری 1100 تا 3000 و سری 5000 جوش خوبی ایجاد می کنند . آلیاژهای سری 4000 و 6000 جوش متوسط و آلیاژهای سری 2000 و 7000 جوش ضعیفی ایجاد می کنند. بطور مثال آلیاژهای سری 5000 که با این روش جوشکاری می شوند

فولادهایی با درصد کربن کم احتیاجی به عملیات حرارتی قبل و بعد از جوشکاری ندارند .

فولادهای با کربن متوسط و بالا به دلیل سخت شدن منطقه جوش و احتمال ایجاد ترک ، عملیات حرارتی قبل از جوشکاری ضروریست .

فولادهای آلیاژی استحکام بالا نیاز به عملیات حرارتی قبل و بعد از جوشکاری دارند .

فولادهای زنگ نزن استنیتی نیازی به عملیات حرارتی نداشته اما فولادهای زنگ نزن مارتنزیتی باید بعد از جوشکاری تحت عملیات آنیلینگ قرار بگیرند .

➤ نسبت ضخامت قطعه کار با قطر زائده :

قطر زائده (mm)	ضخامت فلز پایه (فولاد) mm		ضخامت فلز پایه (آلومینیوم) mm	
	حداکثر استحکام	حداقل استحکام مجاز	بدون پشت بند	با پشت بند
۴/۸	۱/۵۹	۰/۹۱	۳/۱۸	۳/۱۸
۶/۴	۳/۱۸	۱/۲۱	۳/۱۸	۳/۱۸
۷/۹	۳/۱۸	۱/۵۲	۴/۷۶	۳/۱۸
۹/۵	۴/۷۶	۱/۹۰	۴/۷۶	۴/۷۶
۱۱/۱	۴/۷۶	۲/۲۸	۶/۳۵	۴/۷۶
۱۲/۷	۴/۷۶	۳/۰۴	۶/۳۵	۶/۳۵
۱۵/۹	۶/۳۵	۳/۶۸
۱۹/۱	۷/۹۴	۴/۷۰
۲۲/۲	۹/۵۳	۶/۳۵
۲۵/۴	۹/۵۳	۹/۵۳

➤ متغیر های فرایند :

- ولتاژ
- شدت جریان
- مدت زمان برقراری قوس
- مدت زمان غوطه ورسازی

در جوشکاری زائده ای لازم است تا متغیرهای فرایند در رنج های مجاز بوسیله سعی و خطا آنقدر تغییر داده شود تا به کیفیت مطلوب دست پیدا کرد . (در بازرسی های چشمی و تست های فیزیکی مورد تایید قرار گیرد .)

A large, billowing cloud of white and grey smoke or dust rises from a grassy field under a clear blue sky. The cloud is dense and expansive, with a smaller, more defined plume of smoke rising from its base on the right side. The foreground shows a flat, grassy area with some low-lying vegetation and a small body of water in the distance on the right.

EXPLOSIVE WELDING WELDING

تاریخچه

✓ اولین نمونه های عملی در جنگ جهانی اول

✓ اولین تحقیقات جوشکاری انفجاری توسط کارل

✓ گسترش بیشتر در جنگ جهانی دوم

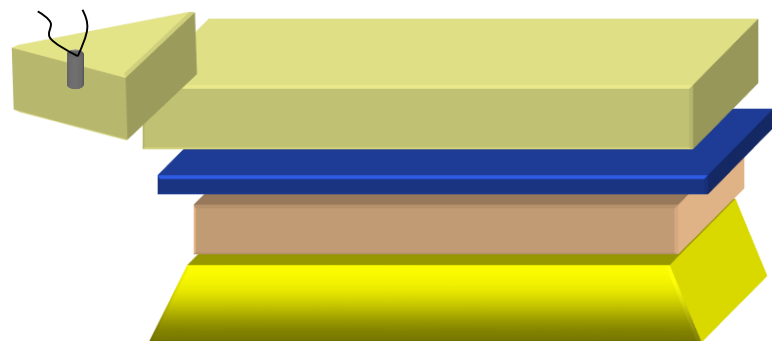
تعریف

✓ فرآیند جوشکاری حالت جامد

✓ فشار زیاد برخورد دو صفحه و امواج حاصل از انفجار

✓ قابلیت شکل پذیری بالای صفحات

مواد منفجره چاشنی



صفحه پرنده

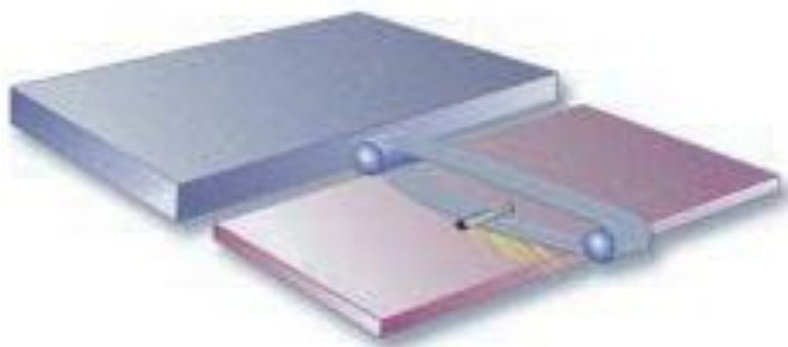
صفحه اصلی

سندان

مراحل کار



✓ بازرسی صفحات فلزی



✓ تمیز کاری سطوح اتصال

EXPLOSIVE POWDER

SPACE BETWEEN
PLATES

✓ روی هم قرار دادن صفحه اصلی و صفحه پرنده و مواد منفجره

✓ انفجار

DETONATION FRONT

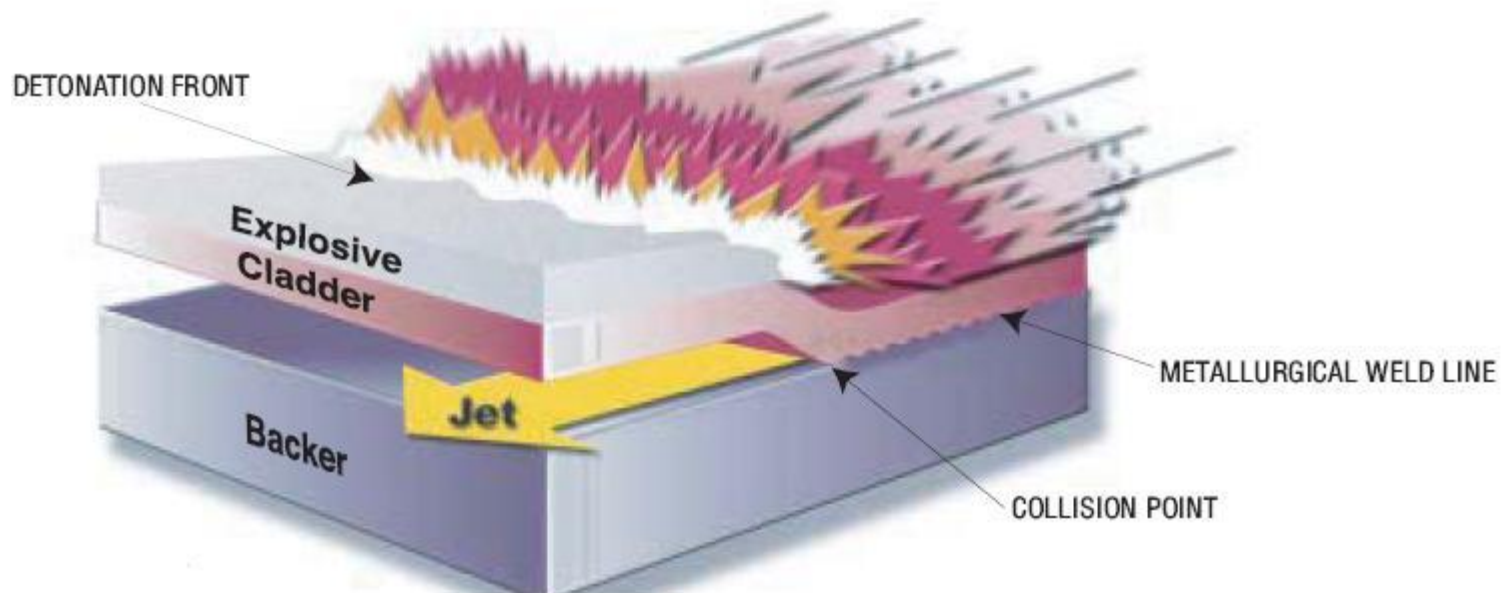
Explosive
Cladder

Backer

Jet

METALLURGICAL WELD LINE

COLLISION POINT





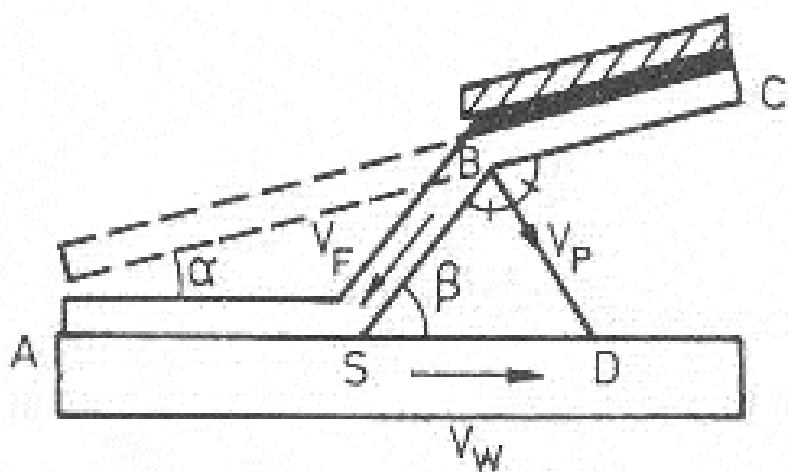
✓نورد و و برشکاری سطوح



بازرسی

تست اولتراسونیک
آزمایش باند اتصال
تست های مکانیکی
اندازه گیری فیزیکی

پارامترهای موثر بر تشکیل پیوند انفجاری با کیفیت



- ✓ تشکیل جت در نقطه برخورد
- ✓ افزایش فشار برای تشکیل پیوند های بین اتمی

پارامترهای
موثر بر
موارد بالا

- ✓ زاویه دینامیکی برخورد بحرانی (α) برای تشکیل جت
- ✓ سرعت نقطه برخورد V_P
- ✓ سرعت برخورد V_F

کاربردها

✓ تولید مخازن تحت فشار

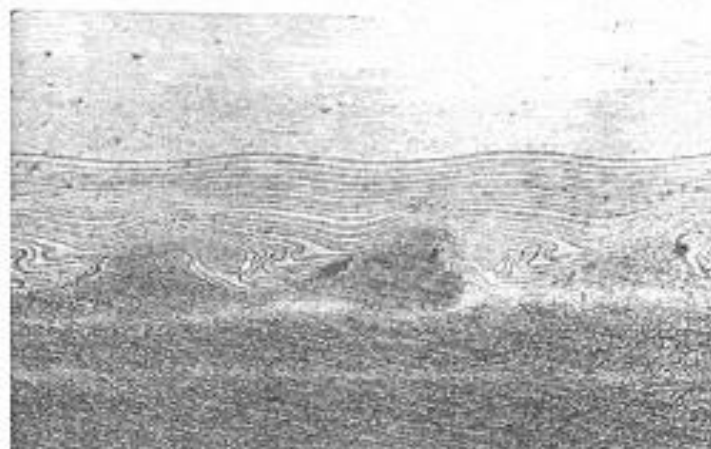
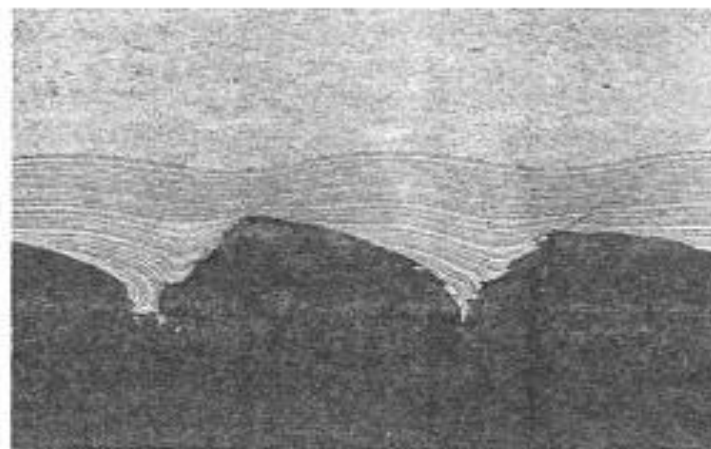
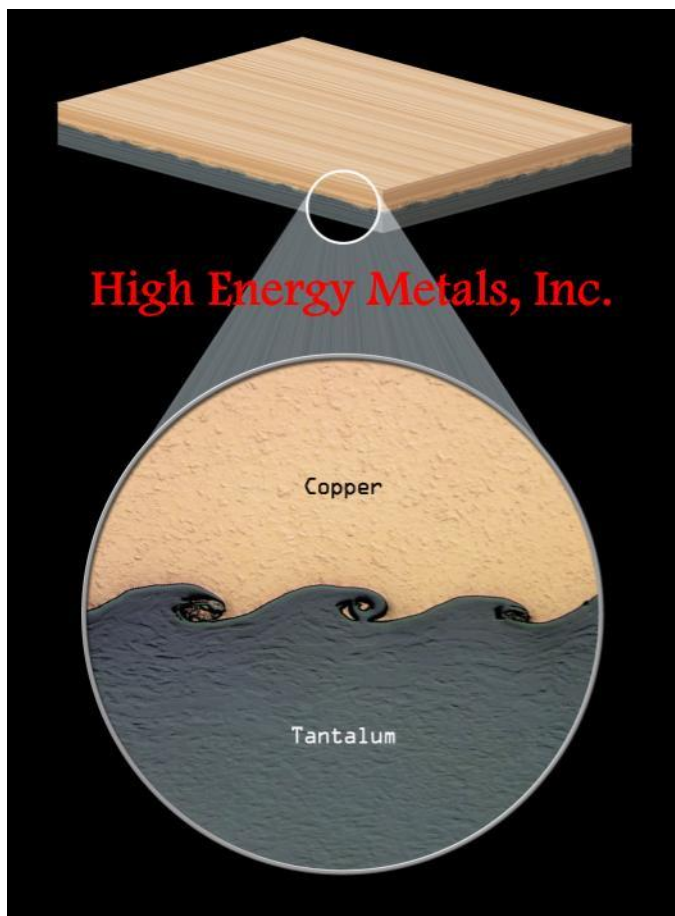
✓ اتصال صفحات غیر همجنس مخصوصا در فلزات Al, Cu, St-St

✓ روکش کاری صفحات فلزی

✓ لوله های دو جداره



رئز ساختار فصل مشترک جوشکاری انفجاری



مزیت ها

- ✓ می توان با این روش بسیاری از فلزات « جوش ناپذیر » و معمولاً « نامشابه » را به یکدیگر پیوند داد
- ✓ به دلیل فقدان حرارت و ذوب، خواص فلز در اثر آن تغییر نمی کند؛
- ✓ از ایجاد پیوند بین فلزی که « مشکلات متالورژیکی » فراوانی دارد جلوگیری می شود؛
- ✓ مساحت جوش می تواند از چند اینچ مربع تا چند صد فوت مربع باشد.
- ✓ هیچگونه محدودیت ابعادی برای صفحه پایه وجود ندارد.
- ✓ امکان انجام آن در خلا وجود دارد و از قابلیت اتوماسیون بالایی برخوردار است.

معایب

✓ فلزات بکار رفته باید مقاومت به ضربه کافی و انعطاف پذیری مناسبی داشته باشند

✓ هندسه قطعات باید ساده بوده مسطح استوانه ای یا مخروطی

✓ صفحه پوشش نمی تواند بیش از حد بزرگ باشد.

✓ برای محافظت از پرسنل در برابر امواج ضربه انفجار نیاز به سنگر بوده و یا اینکه برای انجام در محظه

های خلا یا زیر ماسه یا آب انجام داد.

جوش نوردی

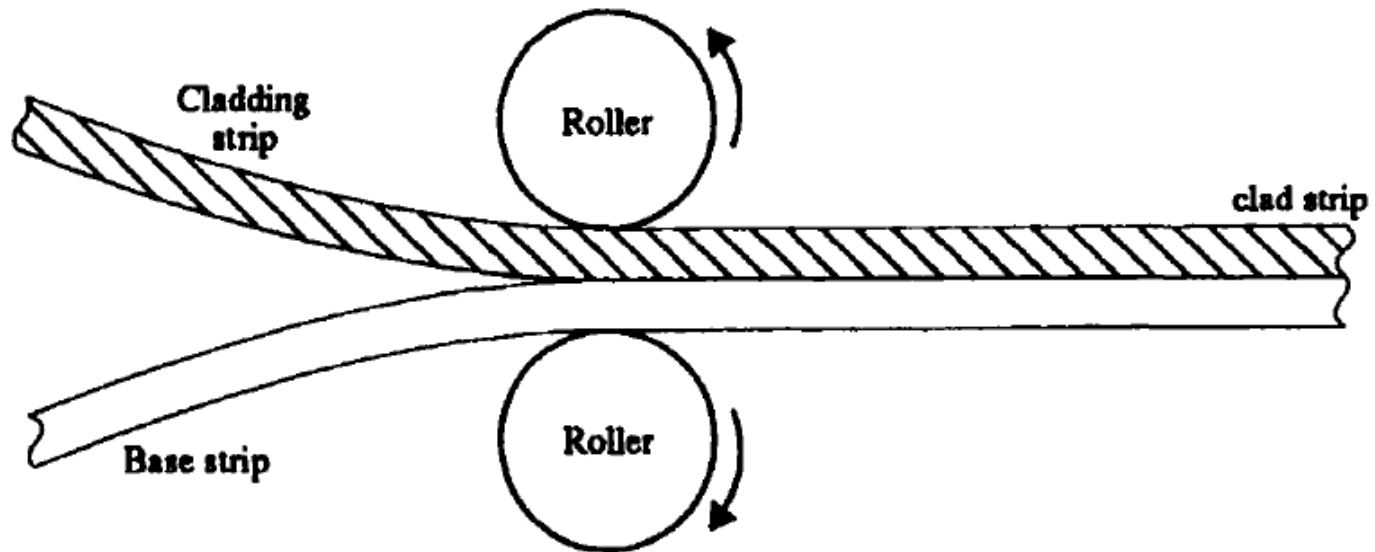
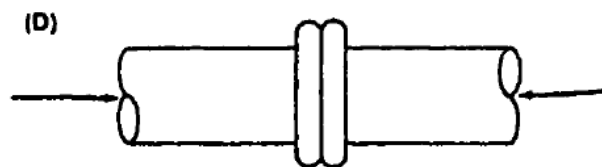
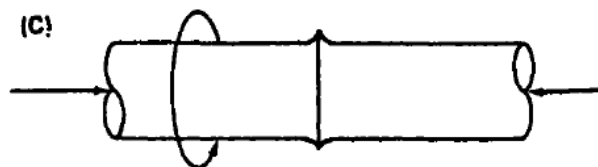
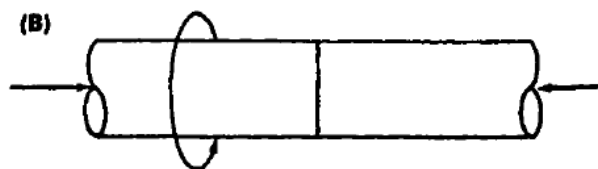
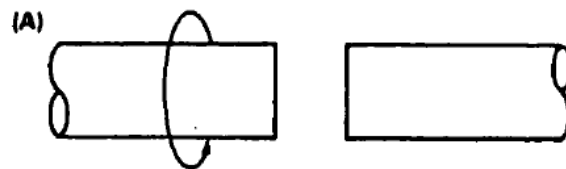
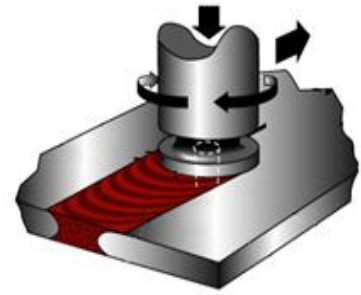
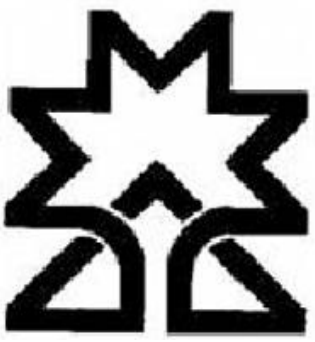


Figure 4.5 Schematic of a typical roll welding process producing clad metals.

فرآیندهای جوشکاری اصطکاکی





Friction **Stir** Welding

جوشکاری همزن اصطکاکی

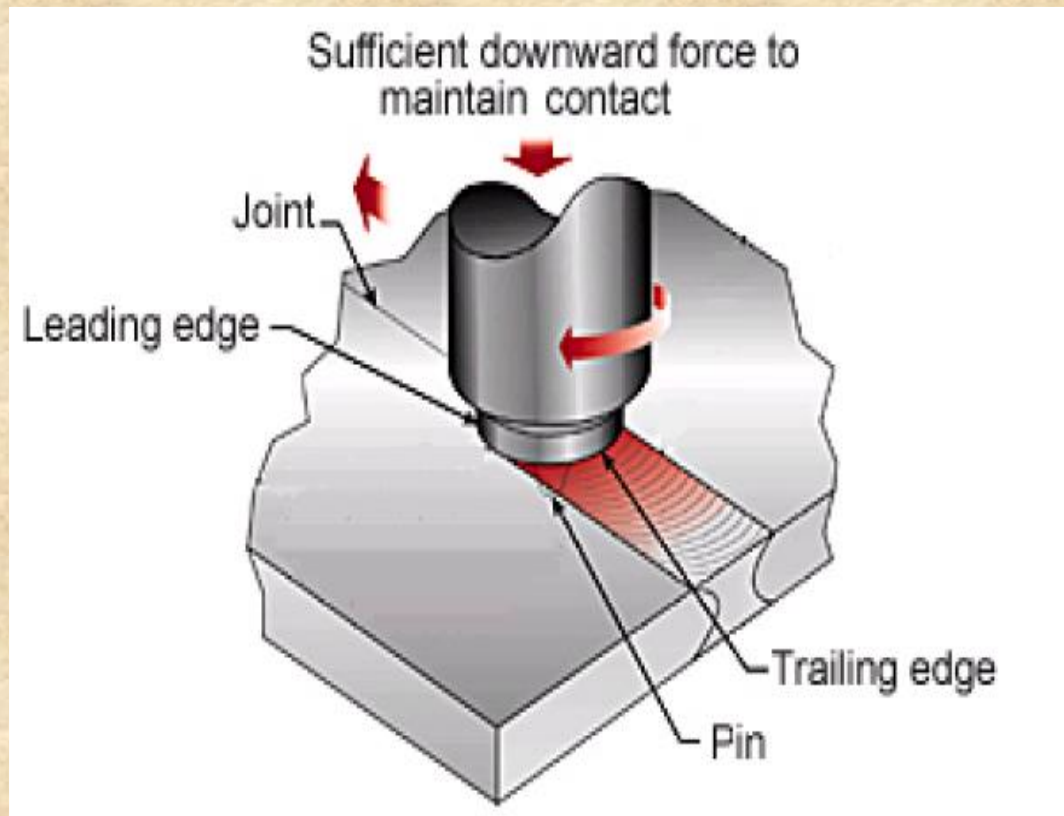
فرایند جوشکاری FSW

❑ مشکلات جوشکاری آلیاژهای آلومینیم

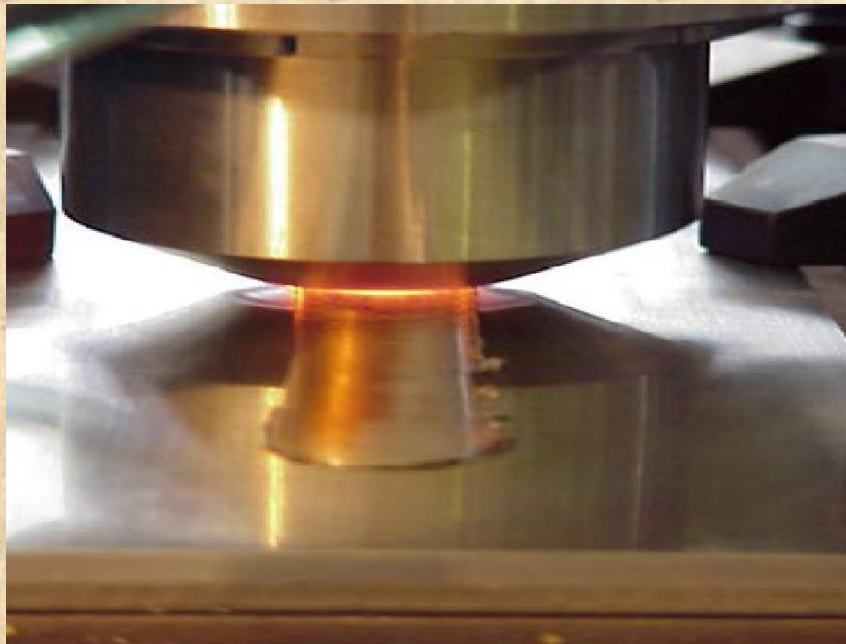
(مخصوصا سری 2xxx و 7xxx)

❑ ابداع فرایند: سال 1991 توسط TWI

فرایند جوشکاری FSW



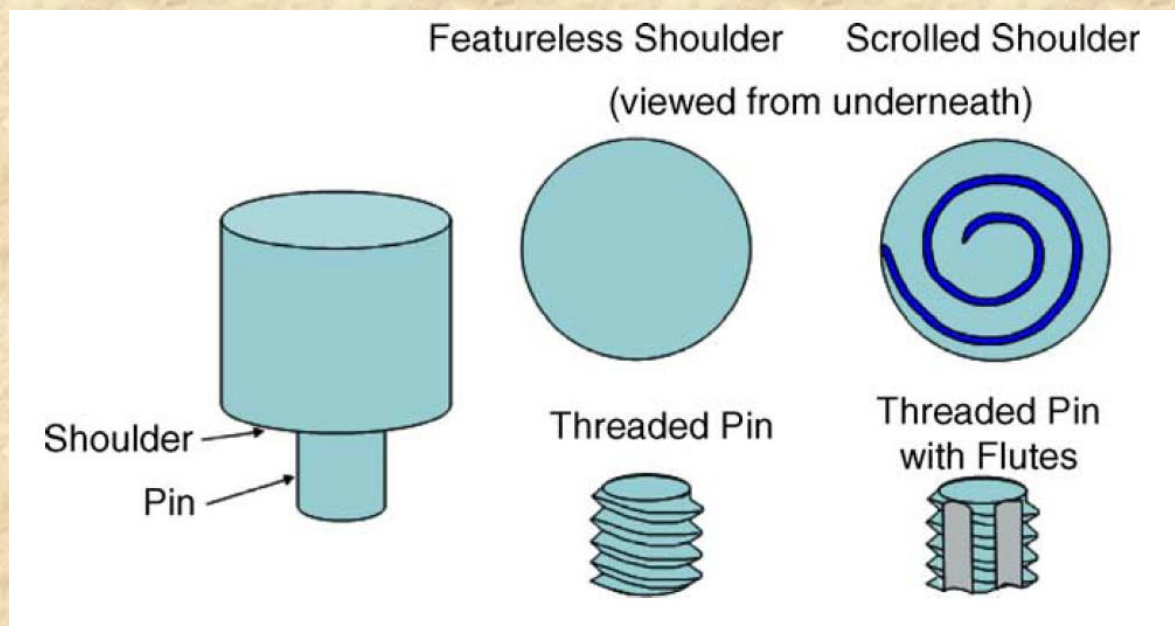
پارامترهای فرایند



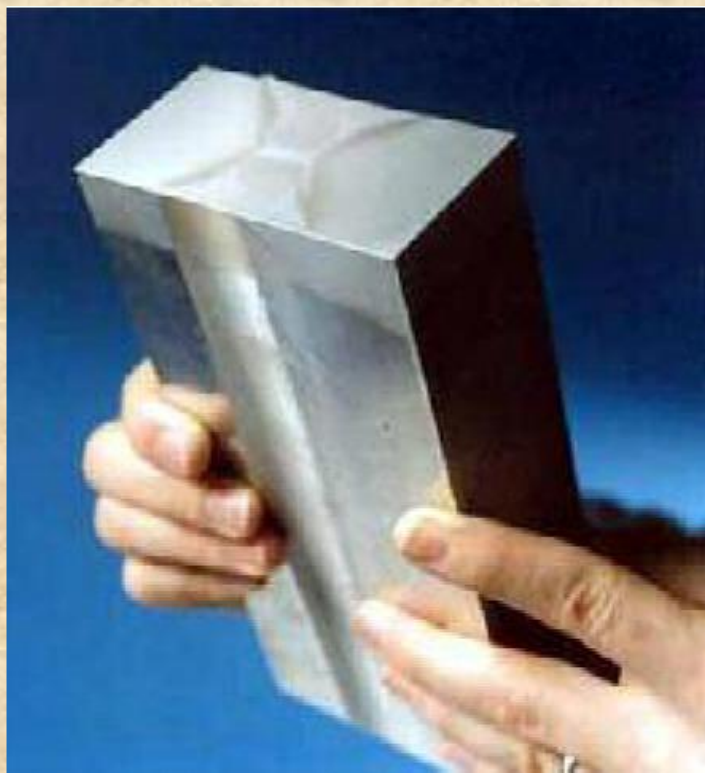
- هندسه ابزار
- پارامترهای جوشکاری
- طرح اتصال

هندسه ابزار

- نقش ابزار: تولید حرارت و سیلان مواد در اثر چرخش و حرکت
- شکل و ابعاد ابزار: کنترل یکنواختی میکروساختار و بارهای اعمالی



پارامترهای فرایند



مزایای ابزارهای جدید:

1. سهولت مته کاری اولیه
2. افزایش فصل مشترک پین و ماده
3. نسبت بالای حجم جاروبی به حجم پین

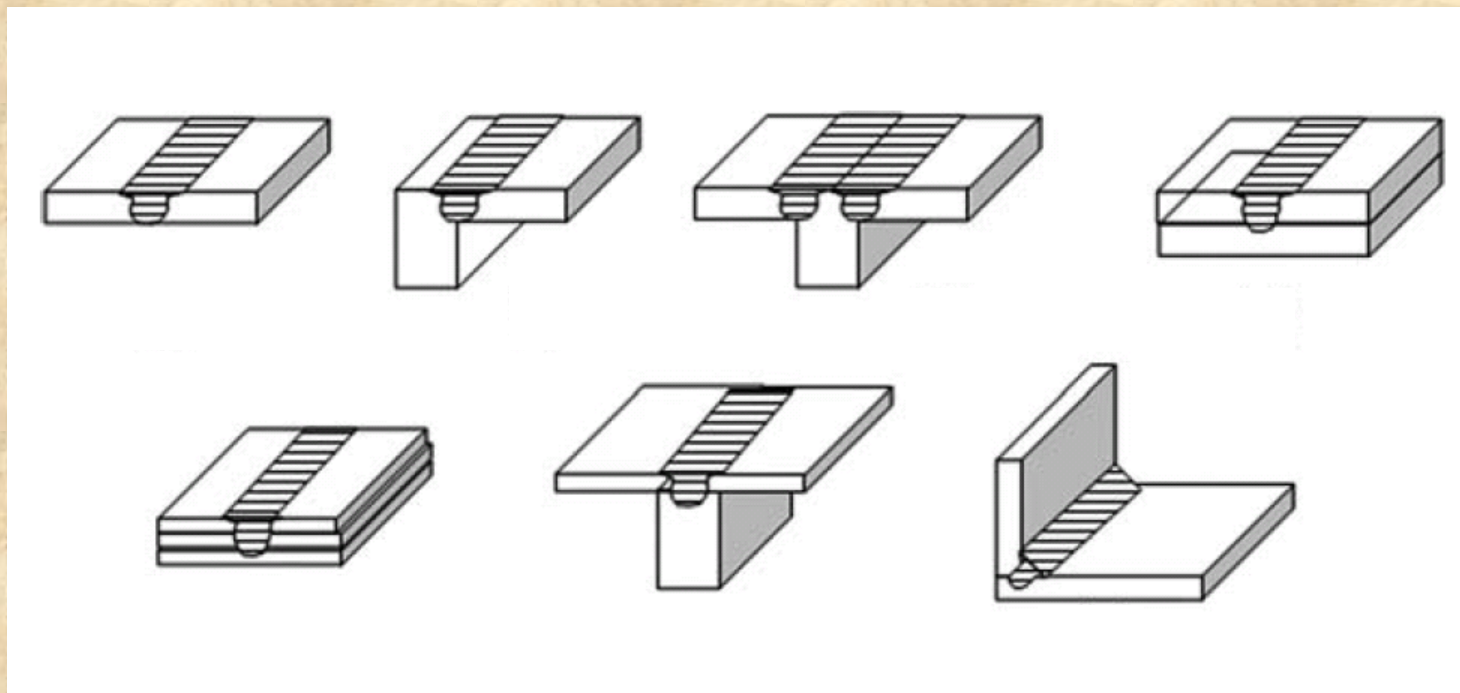
پارامترهای فرایند

پارامترهای جوشکاری

- سرعت چرخش ابزار
- سرعت خطی ابزار
- زاویه ابزار با قطعه
- عمق وارد شدن ابزار به قطعه
- پیشگرم کردن یا سرد کردن قطعه

پارامترهای فرایند

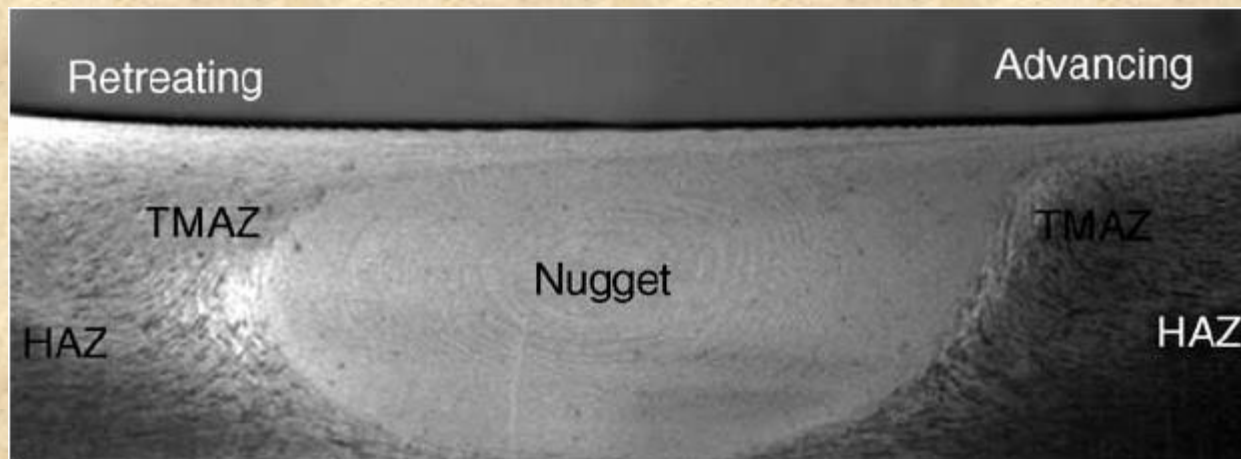
طرح های مختلف اتصال



تغییرات میکرو ساختاری

میکروساختار فلزات جوش

1. ناحیه اختلاط یافته
2. ناحیه متاثر از عملیات ترمومکانیکی
3. ناحیه متاثر از حرارت

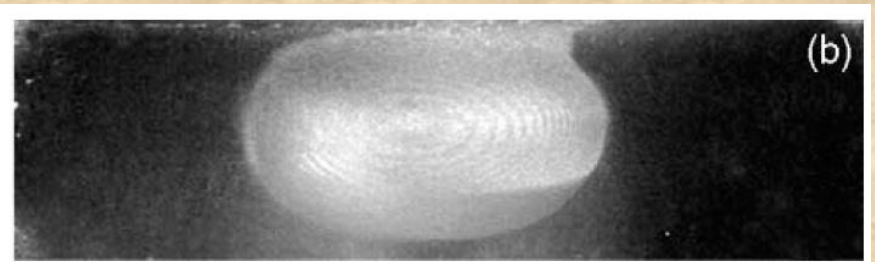
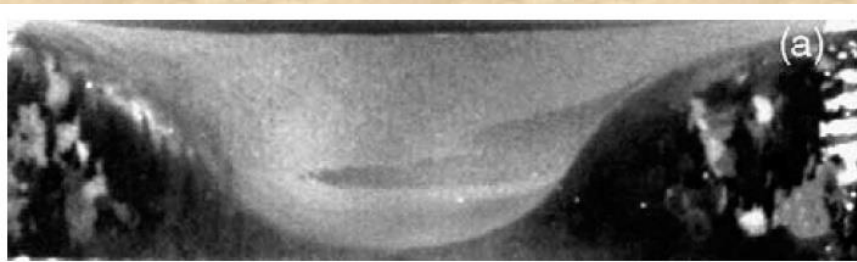


تغییرات میکرو ساختاری

ناحیه اختلاط یافته

الف) تشتی شکل

ب) بیضی



تغییرات میکرو ساختاری

اندازه دانه در ناحیه اختلاطی

- اندازه دانه ها در ناحیه اختلاطی: اغلب در محدوده میکرون
- سریع سرد کردن و کاهش سطح تماس ابزار با قطعه:
میکروساختارهای فوق ریز
- کاهش اندازه دانه: کاهش نسبت سرعت چرخشی به سرعت
جوشکاری.

تغییرات میکرو ساختاری

اندازه دانه در ناحیه اختلاطی

A summary of ultrafine-grained microstructures produced via FSW/FSP in aluminum alloys

Material	Plate thickness (mm)	Tool geometry	Special cooling	Rotation rate (rpm)	Traverse speed (mm/min)	Grain size (μm)
2024Al-T4	6.5	Threaded, cylindrical	Liquid nitrogen	650	60	0.5–0.8
1050Al	5.0	Conical pin without thread	N/A	560	155	0.5
7075Al	2	N/R	Water, methanol, dry ice	1000	120	0.1
Cast Al–Zn–Mg–Sc	6.7	Threaded, cylindrical	N/A	400	25.4	0.68

تغییرات میکرو ساختاری

ناحیه متأثر از عملیات ترمومکانیکی

تغیر شکل شدیدی در دمای بالا و عدم تبلور مجدد؛

امکان انحلال بعضی از رسوبات؛

دانسیته بالایی دانه های فرعی.

تغییرات میکرو ساختاری

ناحیه متأثر از حرارت

- تحت تاثیر حرارت؛
- اثر بسیار کوچک روی اندازه دانه های فرعی؛
- اثر عمده بر ساختار رسوبات.

مزایای جوشکاری FSW

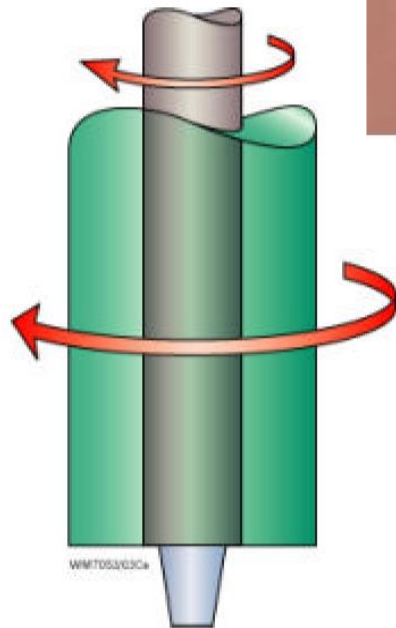
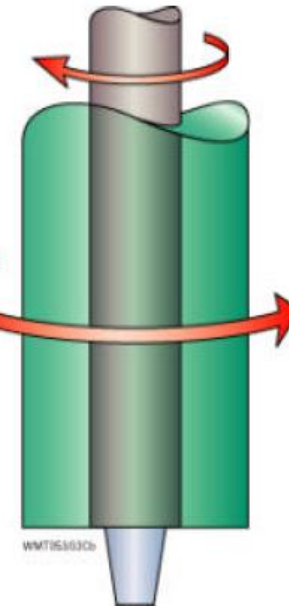
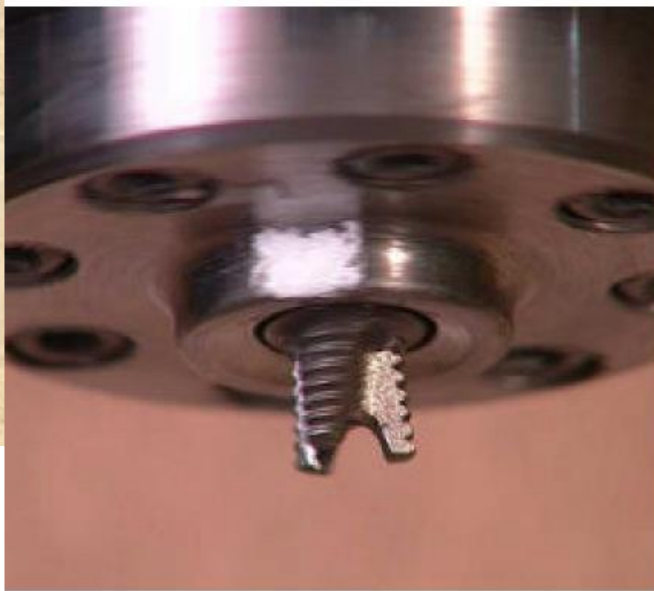
- ✓ عدم نیاز به سیم جوش؛
- ✓ عدم نیاز به گاز محافظ یا فلاکس؛
- ✓ اعوجاج بسیار پایین؛
- ✓ عاری بودن جوش از تخلخل؛

مزایای جوشکاری FSW

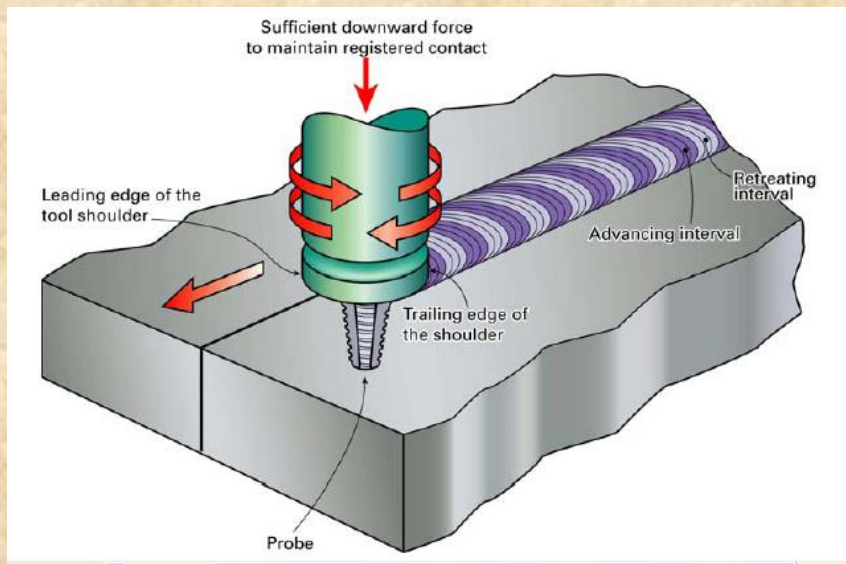
- ✓ سازگار با محیط زیست (تکنولوژی سبز)؛
- ✓ جوشکاری محدوده وسیعی از ضخامتها در یک یا دو پاس؛
- ✓ مصرف بسیار پایین انرژی ($5/2\%$ جوش لیزر)؛
- ✓ پایین بودن هزینه جوشکاری در مقایسه با فرایندهای ذوبی.

پیشرفت های تکنولوژیکی

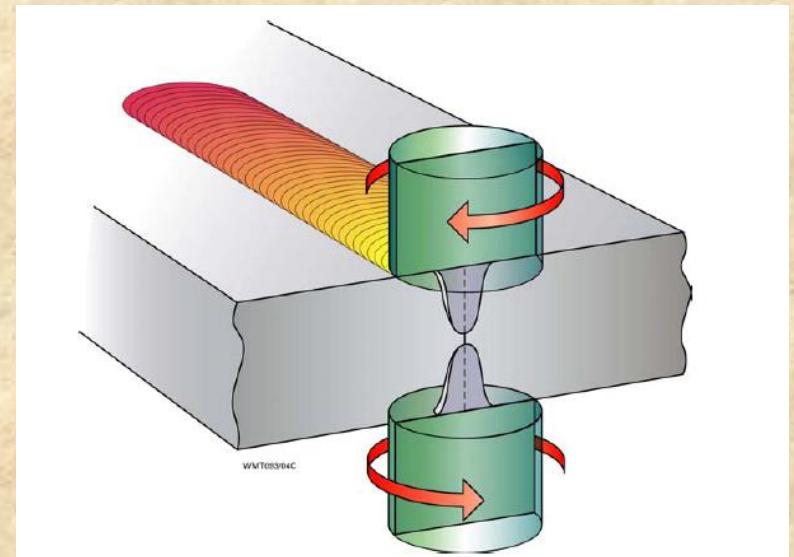
تکنیک Dual Rotation



پیشرفت های تکنولوژیکی

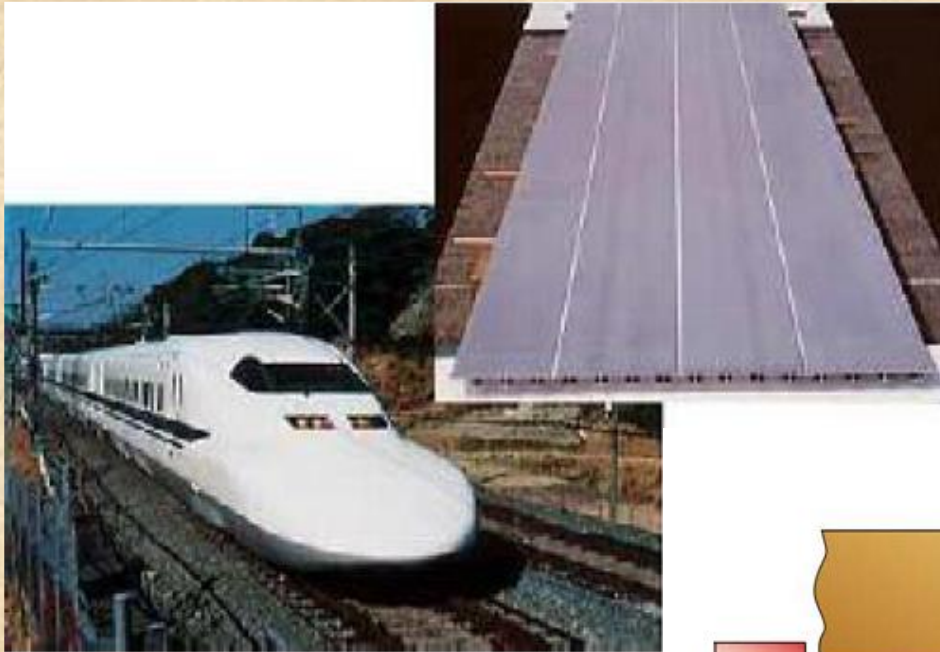


Reversal Technique in FSW

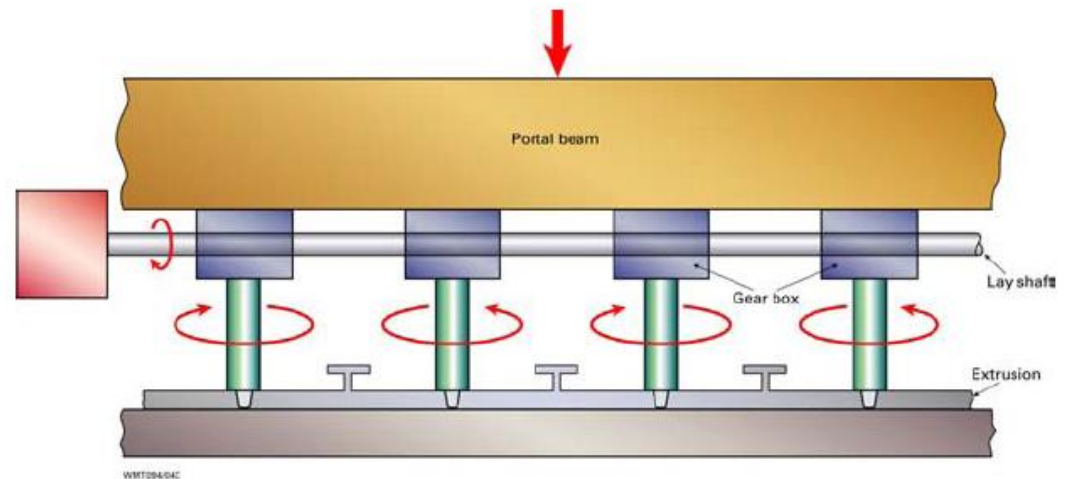


Two passes from two sides

پیشرفت های تکنولوژیکی

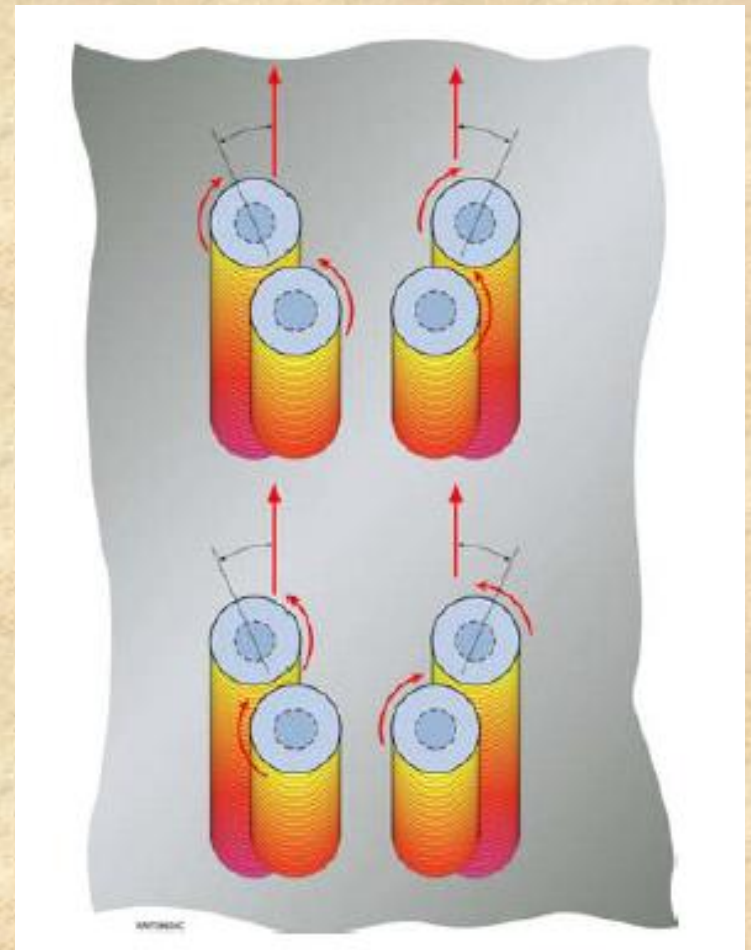
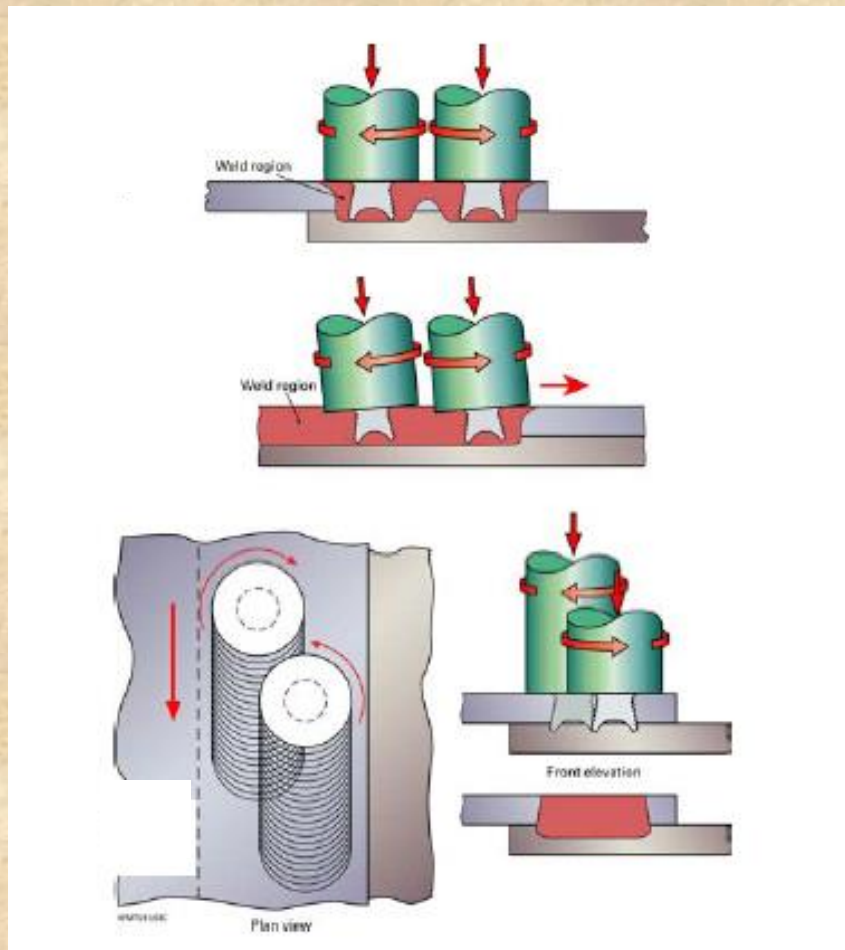


استفاده همزمان از چند ابزار

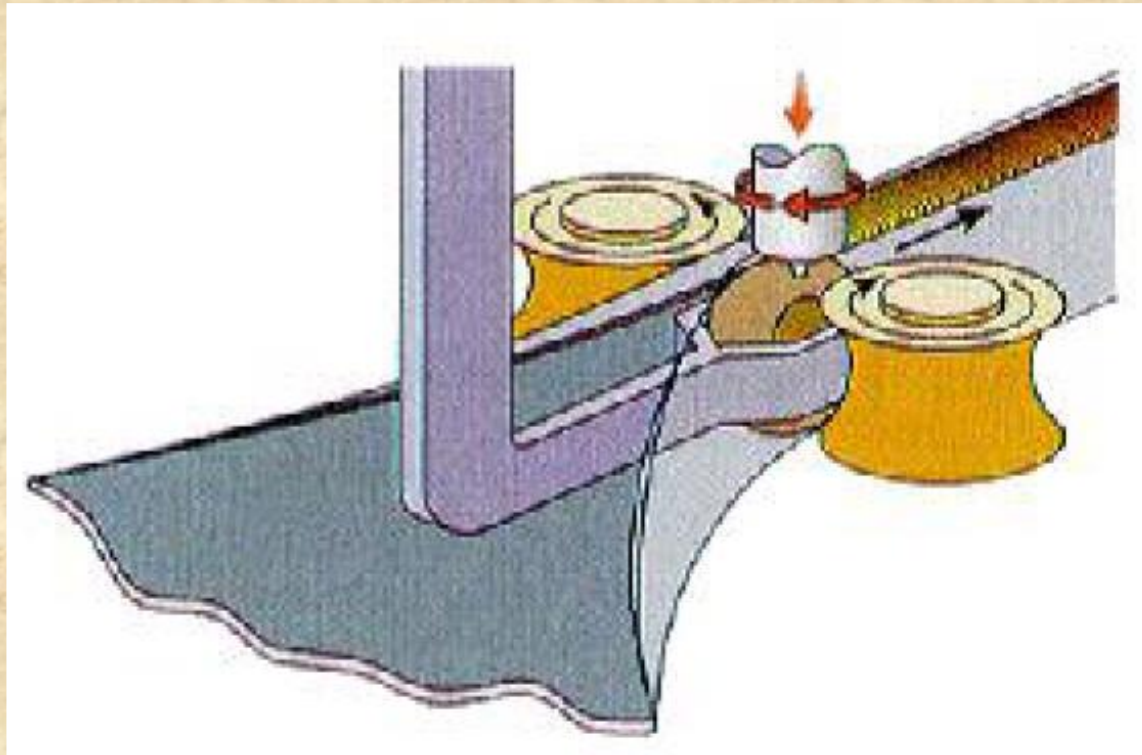


Multi-head friction stir welding machine.

پیشرفت های تکنولوژیکی

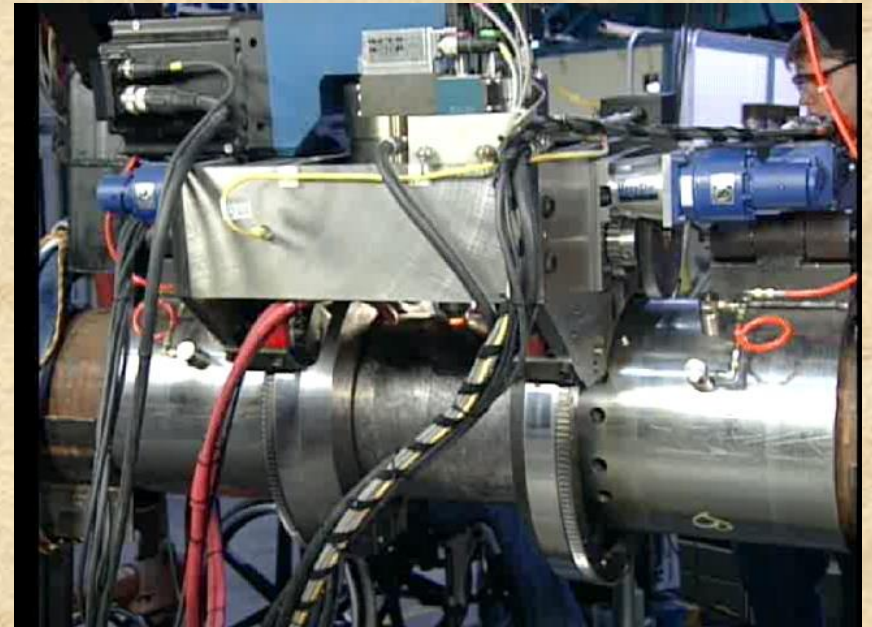


پیشرفت های تکنولوژیکی



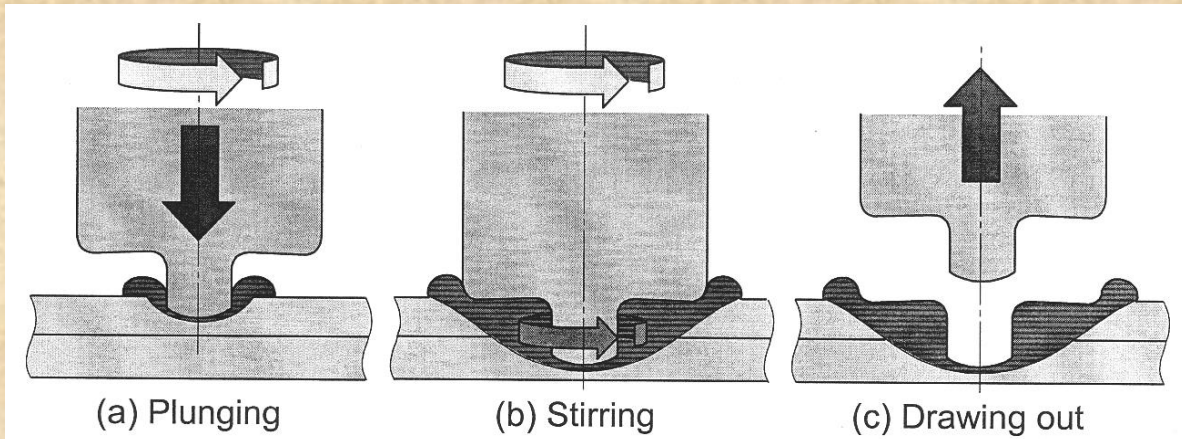
جوشکاری در خط تولید لوله با استفاده از فرایند FSW

پیشرفت های تکنولوژیکی



جوشکاری خطوط لوله با استفاده از فرایند FSW

پیشرفت های تکنولوژیکی



جوشکاری اختلاط اصطکاکی نقطه ای (FSSW)
و جوشکاری FSSW در اتوموبیل مزدا

مواد جوشکاری شده با FSW

- آلومینیم و آلیاژهای آن
- مس و برنج ها
- فولادها
- آلیاژهای تیتانیم
- آلیاژهای منیزیم
- کامپوزیت های زمینه فلزی
- فلزات و آلیاژهای غیر هم جنس

مواد جوشکاری شده با FSW

مزایای جوشکاری FSW در فولادها:

1. تغییرات متالورژیکی کم در HAZ بخاطر حرارت ورودی پایین
2. بهبود مقاومت به خوردگی (بهخصوص در فولادهای زنگ نزن)
3. کاهش تنشهای پسماند
4. حذف مسایل ناشی از ترک هیدروژنی
5. حذف دوده ، بویژه آلودگی های حاوی Cr ظرفیت شش مطابق OSHA

OSHA: Occupational Safety and Health Administration

مواد جوشکاری شده با FSW

مطالعات انجام شده در مورد فولادها

FSW parameters and tool materials for FSW of steels

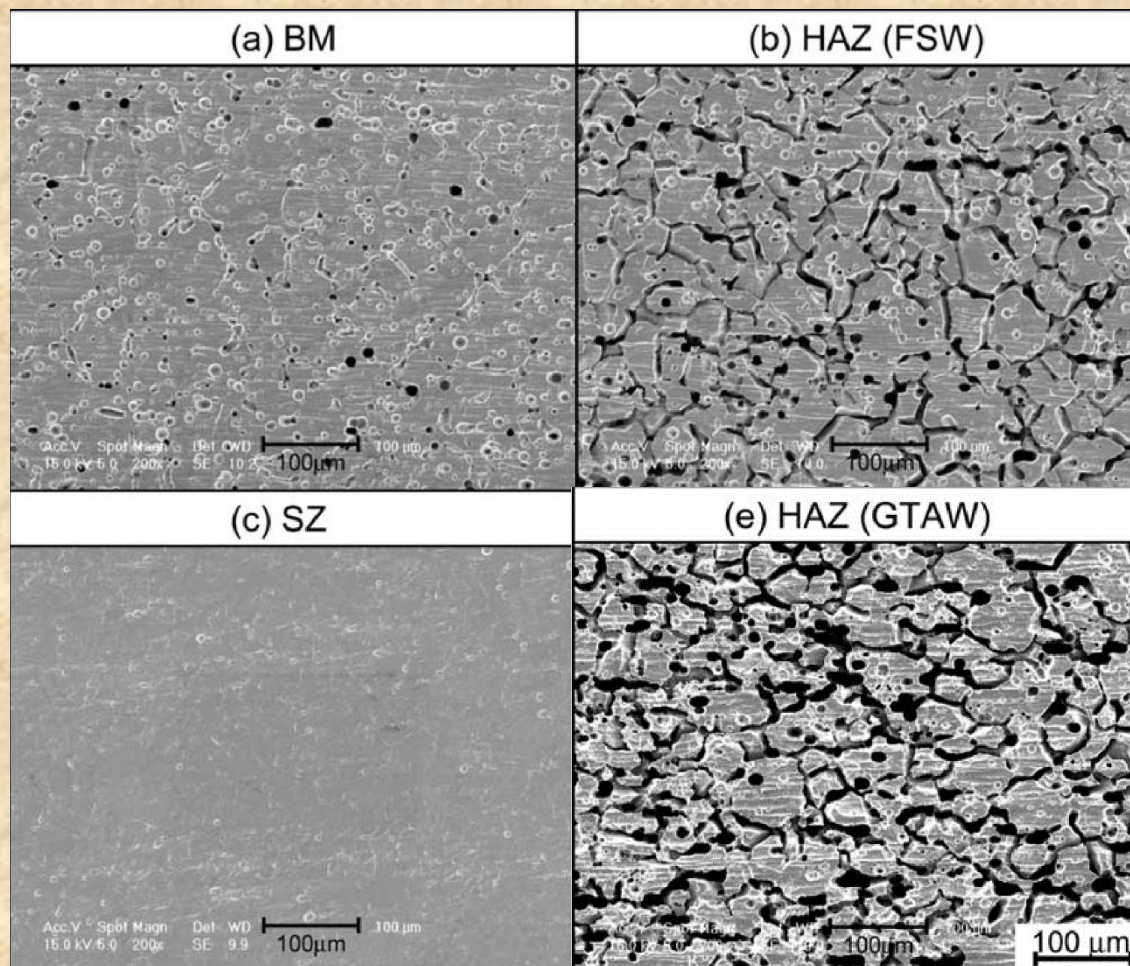
Materials to be welded	Plate thickness (mm)	Tool rotation rate (rpm)	Tool traverse speed (mm/min)	Tool materials
12% Cr steel	12	–	240	–
Low carbon steel	12, 15	–	102	–
AISI 1010	6.4	450–650	25–102	Mo and W-based alloys
304L	3.2, 6.4	300, 500	102	W alloy
304	6.0	550	78	Polycrystalline cubic boron
304L, 316L	5, 10	300–700	150, 180	–
Al 6XN	6.4, 12.7	–	102	W alloy
HSLA-65	6.4, 12.7	400–450	99–120	W
DH-36	6.4	–	102–457	W alloy
C–Mn	6.4	–	–	Polycrystalline cubic boron nitride

مواد جوشکاری شده با FSW

Transverse tensile properties of FSW welds in various steels at room temperature

Materials	Conditions	UTS (MPa)	YS (MPa)	Elongation (%)	Reduction in area
12% Cr steel	Base metal	–	–	–	–
	FSW welds	539–541	–	–	–
Low carbon steel	Base metal	–	–	–	–
	FSW welds	453–457	–	–	–
AISI 1010	Base metal	463	310	33.9	22
	FSW welds	476	331	22	31
304L	Base metal	483	172	–	–
	FSW welds	621	340	–	–
HD-36	Base metal	579	428	–	–
	FSW welds	624	566	–	–
HSLA-65	Base metal	537	448	20	–
	FSW welds (12.7 mm)	569	493	30	–
	FSW welds (6.4 mm)	569	483	18.5	–
C–Mn steel	Base metal	248	204	9.5	
	FSW welds	179	151	2.6	
	GMA welds	136	126	5.5	

مواد جوشکاری شده با FSW



تصاویر SEM نواحی مختلف مربوط به نمونه فولاد زنگ نزن 304L

مواد جوشکاری شده با FSW

