In the name of God

Sharif University of Technology
Department of materials Science and Engineering

Welding and sheeting Workshop (course No.: 33012)

Sina Zinatlou Ajabshir
(sina.zinatlou@sharif.edu)

3nd Semester- Summer-1398

Outline:

Section 1 : Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

Section 2 : Oxy Acetylene Welding (OAW)

Section 3 : Sheeting Processes

Section 4 : Other welding Processes and Welding Inspection

Score Allotment::

Practical Work : 10 points
- SMAW : 9 points
- Sheeting : 1 points

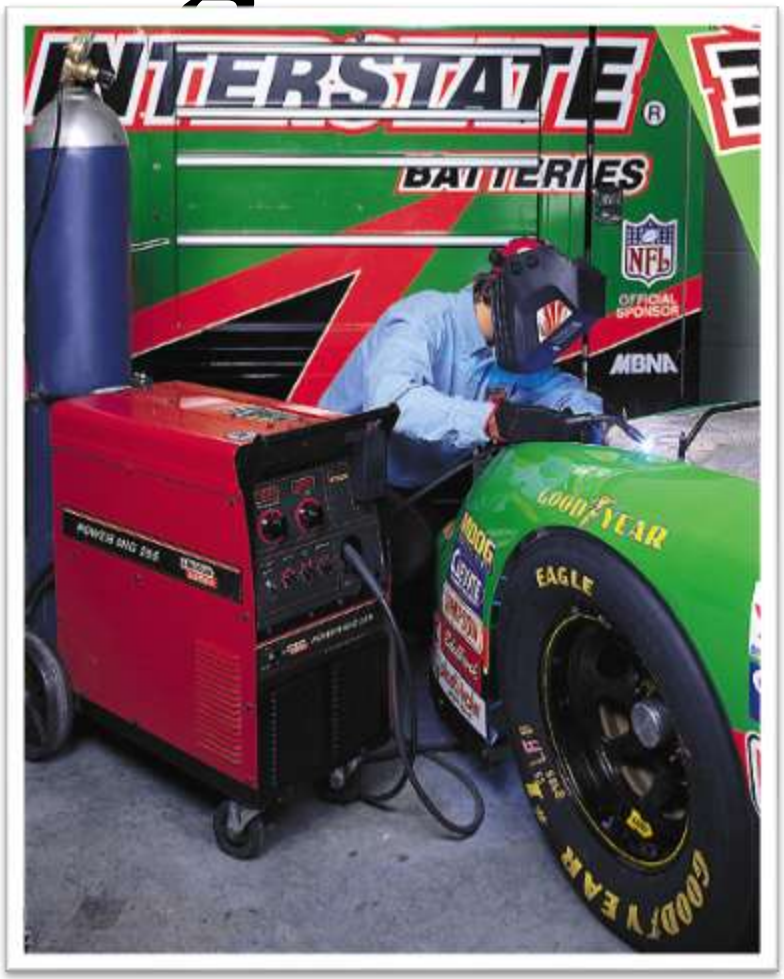
Final Exam : 10 points

Short Quizzes : 1 point

Class Activities : 2 point

Overall Score : 23 points

Joining & Welding



- چرا جوشکاری مهم است؟
- چرا به عنوان یه مهندس باید جوشکاری یاد بگیریم؟
- چرا یکی از روش های رایج و محبوب ساخت قطعات جوشکاری است؟

- در دنیای امروز که عصر فن آوری و صنعت است اگر نگاهی گذرا به محیط زندگی و کار خود داشته باشید خواهید دید که تقریبا همه دستگاه ها و وسایل مورد نیاز زندگی و صنعت بسته به پیچیدگی خود از اتصال اجزای مختلف ایجاد می شود.

توجه داشته باشیم که این اتصال قطعات و اجزا به روش های مختلف صورت می گیرد.

روش های ساخت قطعات مهندسی مختلف است، همچون ریخته گری، آهنگری،ماشینکاری، پرس کاری ، جوشکاری، ساخت افزایشی و ....

امکانات موجود، نوع کاربرد و یا مهارت های افراد تولید کننده => انتخاب روش مناسب ساخت

با توجه محدودیت ها و مواد مصرفی و نیاز تولید، ایجاد یکپارچه قطعه ضروری است (مثل ریخته گری بدنه موتور خودرو)

یا گاهی قطعات یه سازه به روش های مختلفی ساخته شده و در نهایت به هم متصل می شوند تا قطعه نهایی حاصل شود، هدف از اینکار کاهش هزینه، حذف محدودیت های ساخت قطعه و بهبود خواص مورد نیاز قطعه نهایی است

روش ساخت قطعه با توجه به کاربرد، قیمت تمام شده و استحکام نهایی قطعه انتخاب می شود.

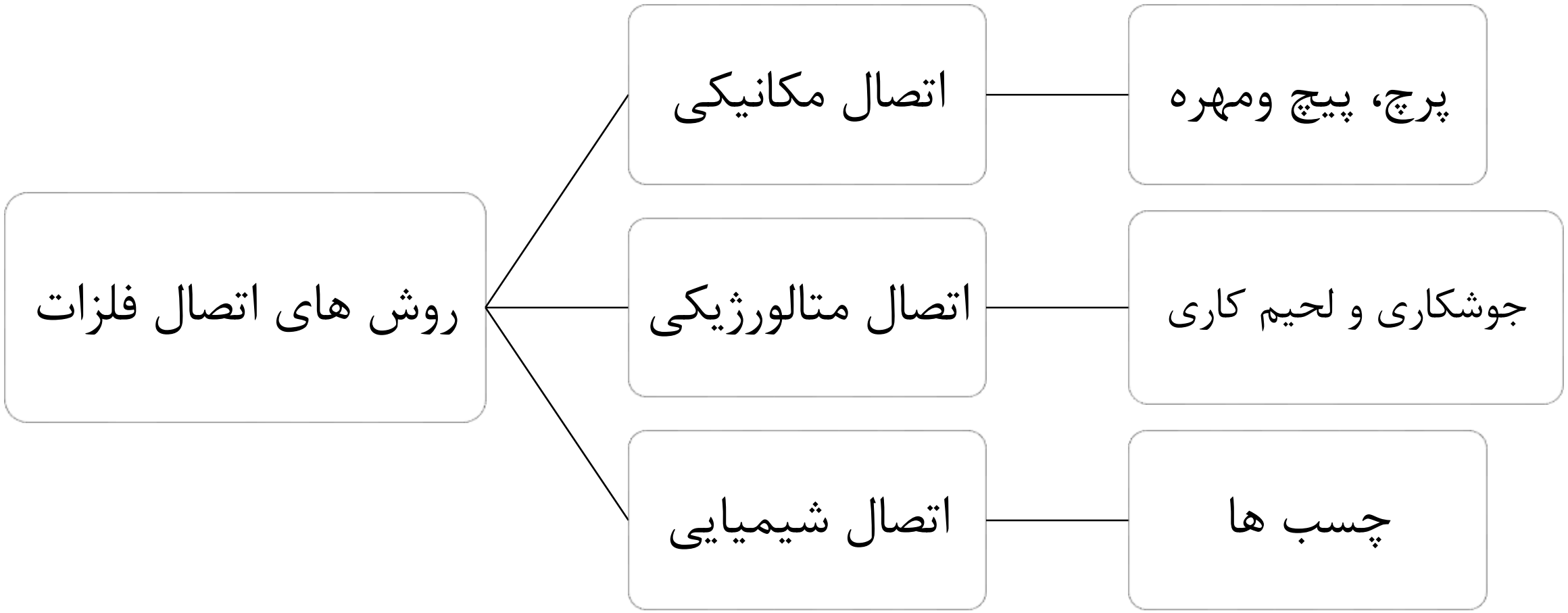
مواد مهندسی مختلفی وجود دارد که گاهی اتصال غیر همجنس بین این مواد نیاز خواهد بود. مواد مهندسی همچون فلزات، سرامیک ها و پلیمرها از جمله مواد مهندسی پر کاربرد هستند.

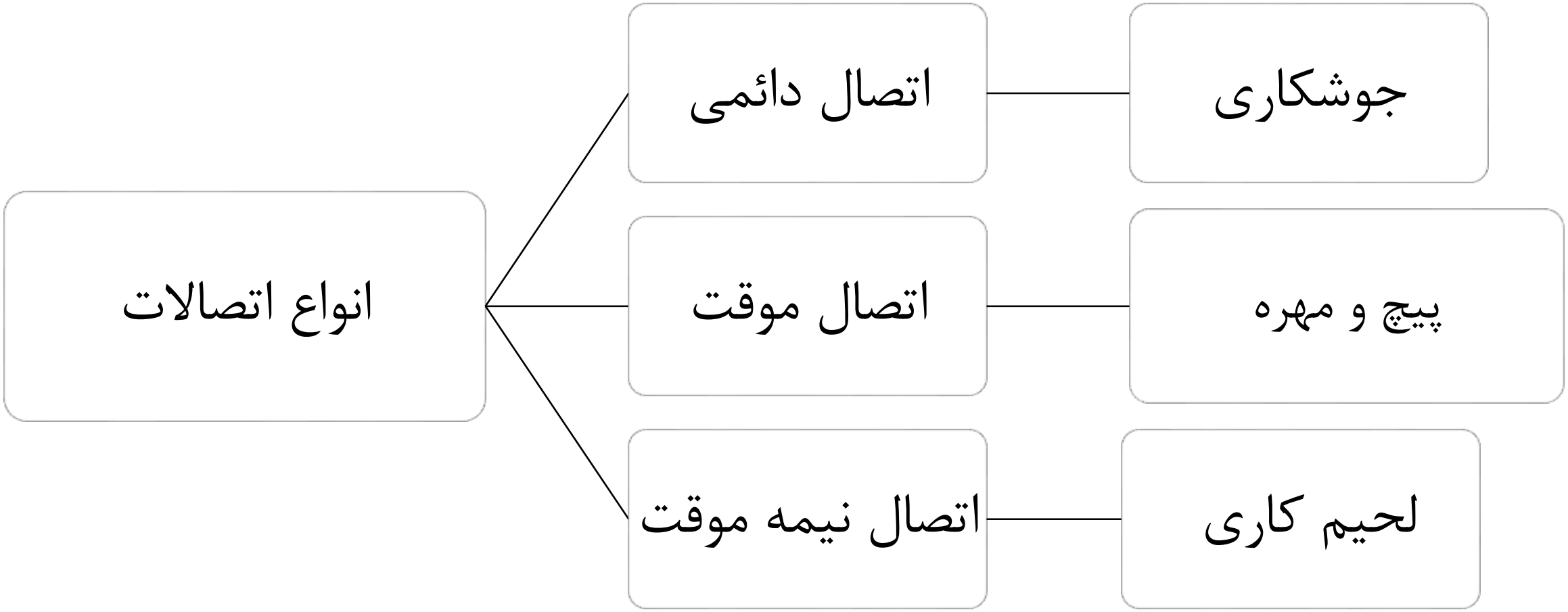
الف) اتصال فلز/فلز (بدنه خودرو، هواپیما، سازه های ساختمانی و ...)

ب) اتصال فلز/ سرامیک (سازه های الکتریکی، هواپیما، پیل های سوختی و...)

ج) اتصال فلز/ پلیمر (هواپیما، خودرو، ظروف و ...)

مهمترین بحث ما در این درس **اتصال فلزات** است. که در ادامه بحث به آن خواهیم پرداخت.


روش های اتصال فلزات
اتصال مکانیکی
اتصال متالورژیکی
اتصال شیمیایی
پرچ، پیچ ومهره
جوشکاری و لحیم کاری
چسب ها


انواع اتصالات
اتصال دائمی
اتصال موقت
اتصال نیمه موقت
جوشکاری
پیچ و مهره
لحیم کاری

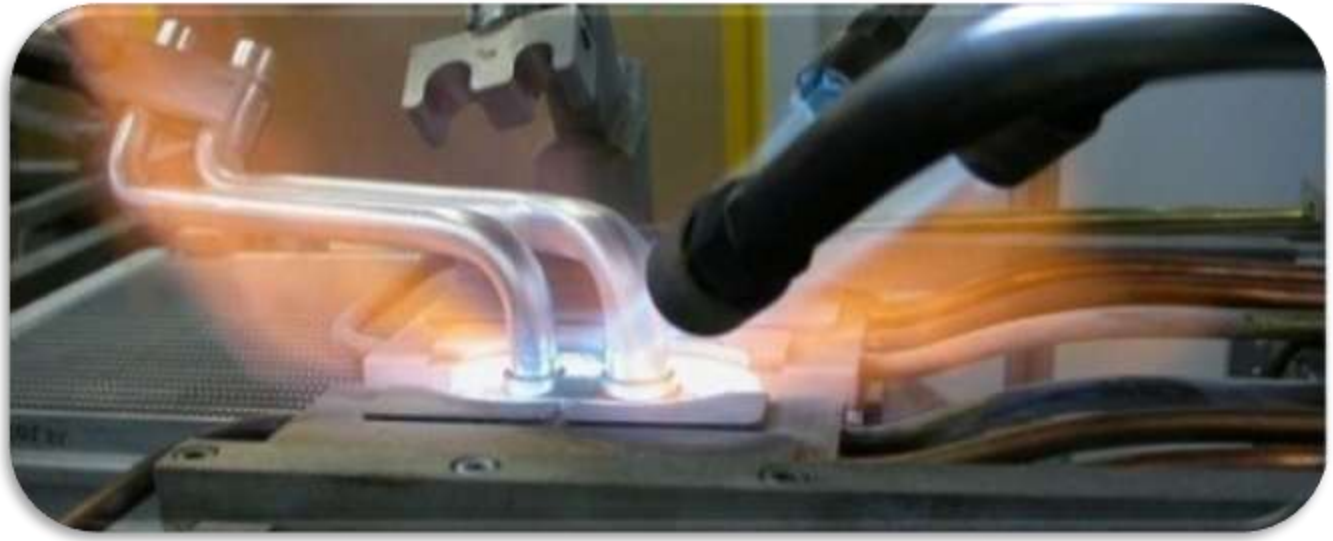
اتصال موقت :

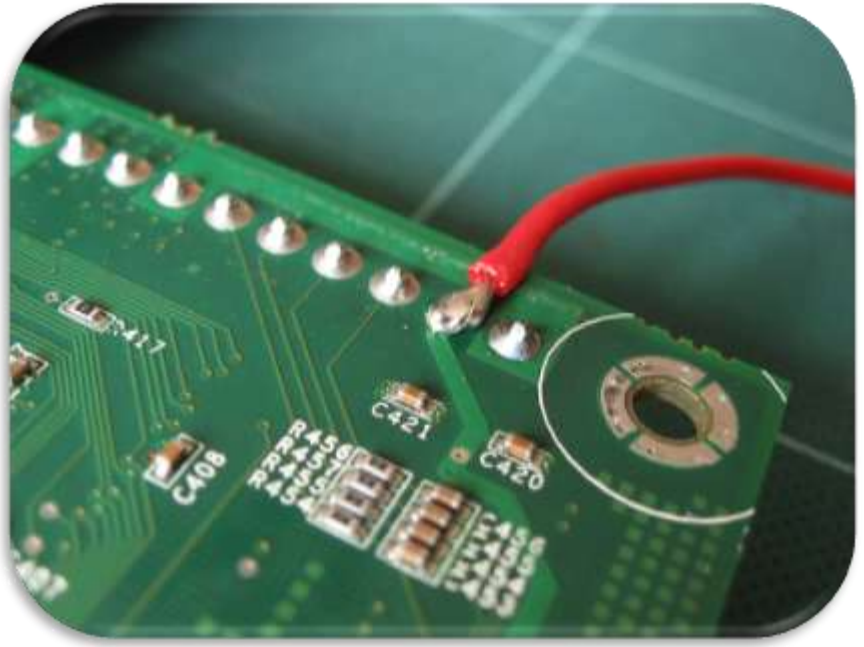
۱. در اتصالات قابل انفعال بیشترین استفاده را دارند.
۲. به راحتی میتوان اجزا را متصل یا منفک کرد.
۳. پیچ و مهره، پین، خار و .....

اتصال نیمه موقت :

۱. جدا کردن قطعات متصل شده وجود دارد اما به راحتی دسته اول نیست.

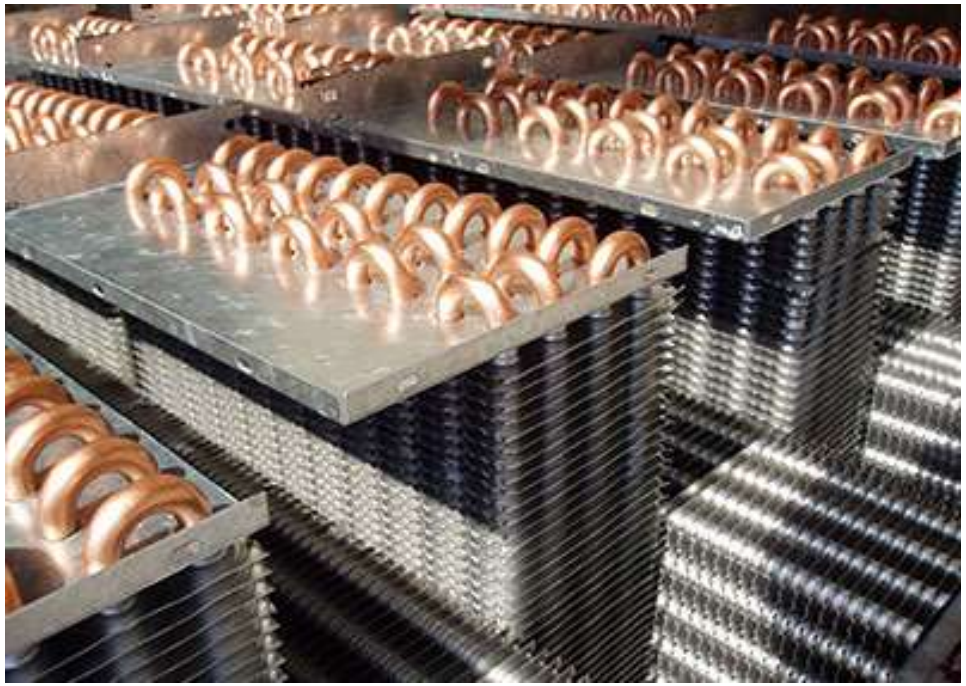
۲. پرچ، لحیم و چسب ها جزو این دسته می باشد.

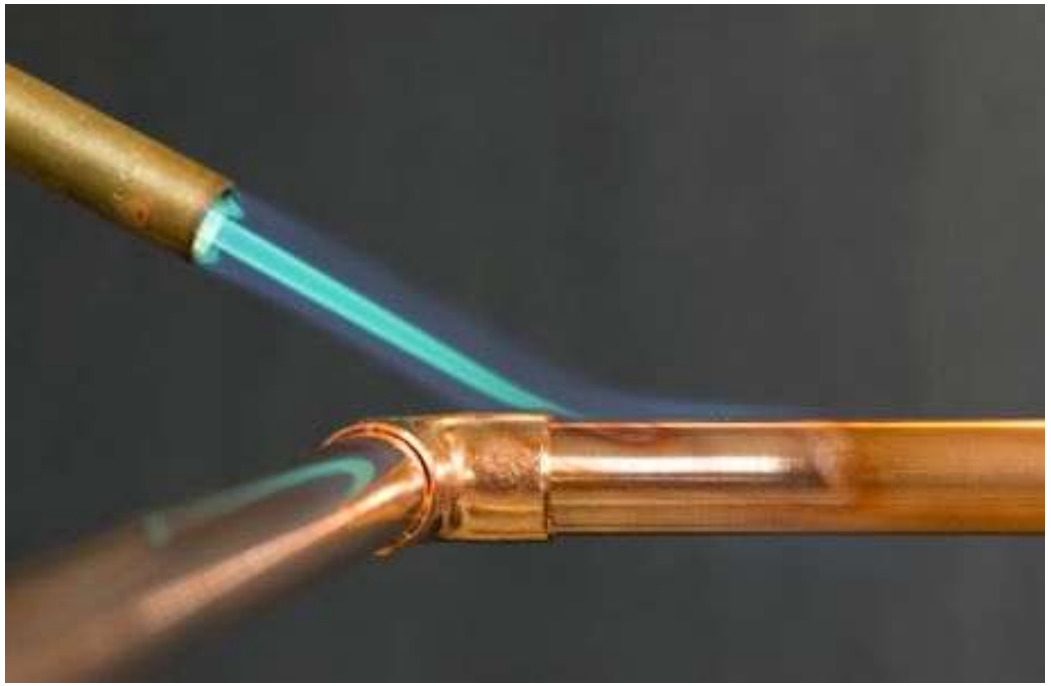


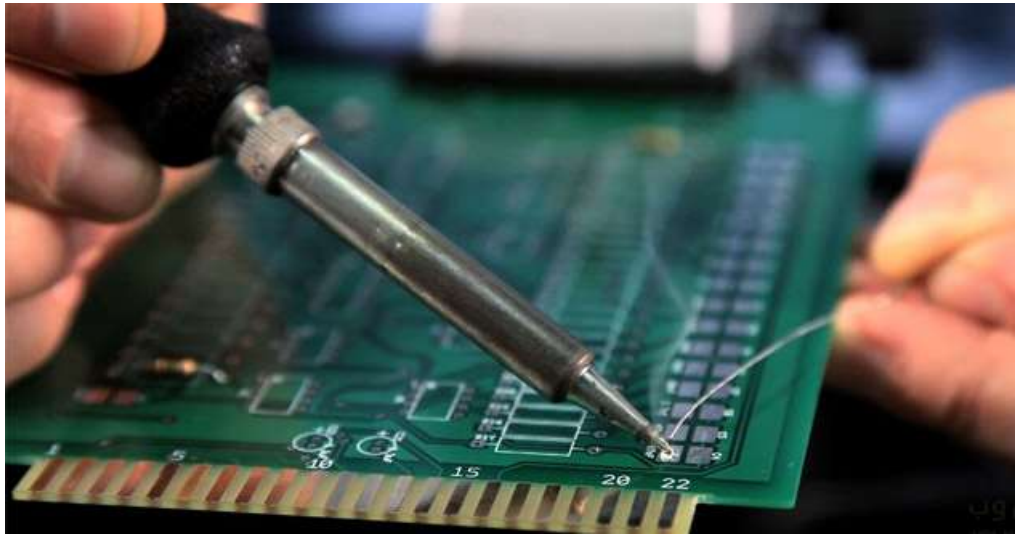


لحیم کاری :

- در لحیم کاری برای اتصال دو فلز (فلزات پایه یا Base Metal) نیاز به فلز واسطه (فلز پرکننده یا Filler Metal) می باشد که دمای ذوب فلز واسطه خیلی پایینتر از دمای ذوب فلزات پایه است.
- در حقیقت حین اتصال با اعمال منبع گرما فقط فلز پرکننده ذوب می شود.
- فلز پرکننده یا واسطه ذوب شده و شکاف بین دو فلز پایه را پر می کند.
- لحیم کاری بر حسب دمای ذوب فلز پرکننده (FM) به دو دسته تقسیم می شود:
- الف) لحیم کاری نرم : که دمای ذوب FM پایین تر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد است. اتصال قطعات الکترونیکی
- ب) لحیم کاری سخت : که دمای ذوب FM بالاتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد است. اتصالات مبدل های حرارتی، کندانسورها







اتصال دائمی:

۱. جدا کردن قطعات متصل شده به راحتی امکان پذیر نیست و برای تفکیک قطعات می باسیت آنها را برید یا شکست که **احتمال تخریب** بخشی از قطعات وجود دارد.

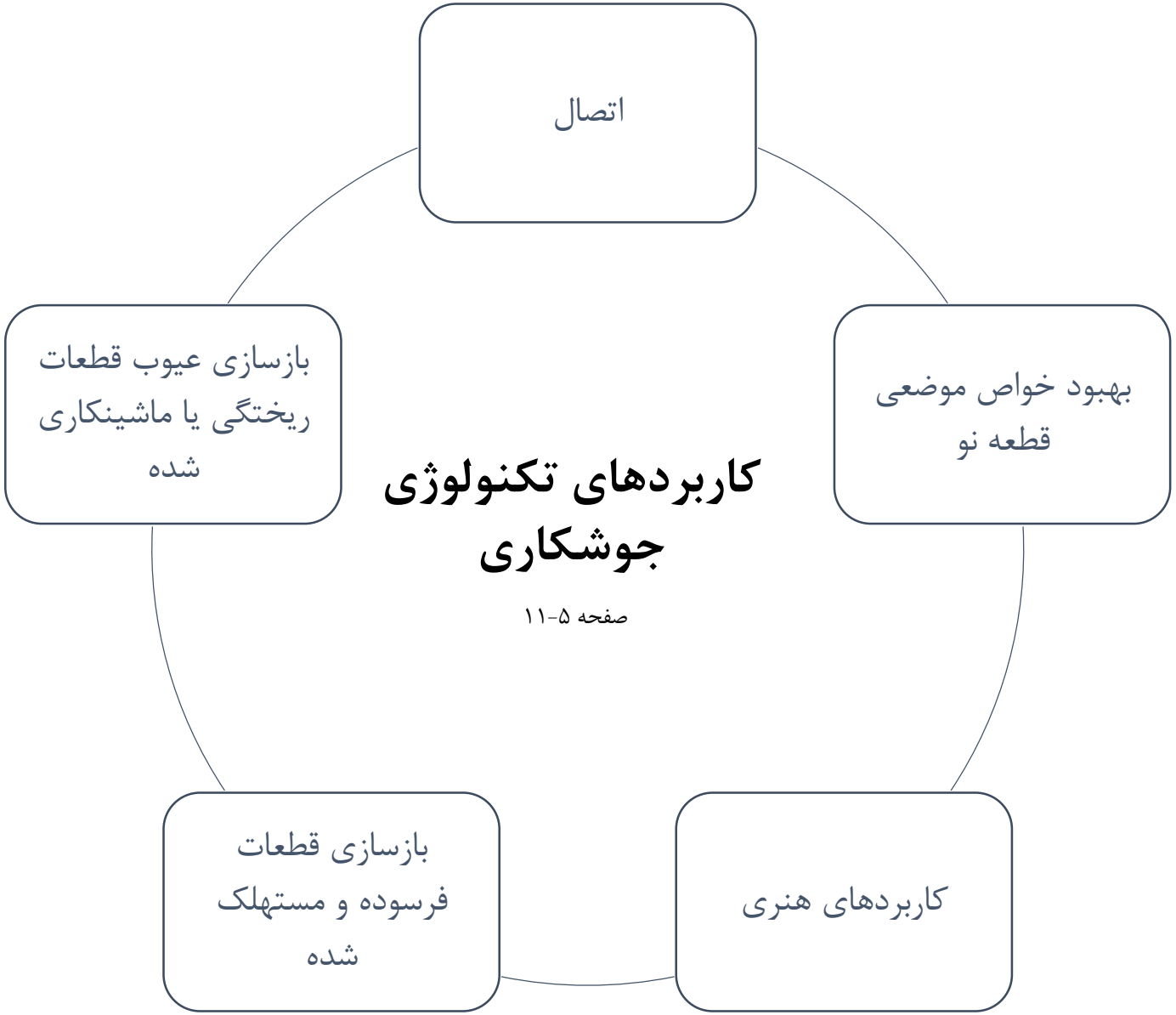
۲. یکی از روش های متداول اتصال دائم قطعات به یکدیگر جوشکاری است.

جوشکاری:

- در مقایسه با سایر روش های اتصال از لحاظ اقتصادی ، سرعت اتصال، استحکام، دوام، وسعت کاربرد آن در صنعت و عدم تضعیف قطعات فلزی بهتر است.
- در جوشکاری برای اتصال دو فلز (فلزات پایه یا Base Metal) به یک منبع انرژی حرارتی نیاز است.
- دو قطعه فلزی را به طور همگن با ایجاد باند فلزی به هم متصل متصل می کنند. به طوری که محل اتصال از نظر خواص مکانیکی با سایر قسمت ها یکسان بوده و به طریقه آنالیز شیمیایی نمی توان محل اتصال را از سایر قسمت ها تمیز داد.
- اکثر مواقع در جوشکاری با الکترود مصرفی برای اتصال دو فلز (فلزات پایه یا Base Metal) نیاز به فلز واسطه یا **الکترود** (فلز پرکننده یا Filler Metal) می باشد که تقریبا ترکیبی مشابه فلزات پایه دارد و دمای ذوب الکترود در حد دمای ذوب فلزات پایه است.
- در حقیقت حین اتصال با اعمال منبع گرما فقط فلز پرکننده ذوب نمی شود، بلکه هم فلزات پایه و هم الکترود ذوب خواهد شد (البته بستگی به روش جوشکاری دارد که الکترود مصرفی باشد یا الکترود غیرمصرفی).
- از موارد کاربرد جوشکاری می توان به ساخت مخازن تحت فشار، اسکلت های ساختمانی، صنعت نفت و گاز، سازه های دریایی، صنعت خودرو، صنعت هوا فضا و ... اشاره کرد.

بررسی اجمالی مزایا و محدودیت های جوشکاری:

- گاهی جنس قطعه مشکلاتی را برای جوشکاری به وجود می آورد که به اصطلاح گفته می شود این فلز یا آلیاژ قابلیت جوش پذیری خوبی ندارد و می بایست سراغ دیگر فرایندهای اتصال رفت. به طور مثال آلومینومی با آلیاژ خاص که در صنایع هواپیما سازی استفاده می شود برای اتصال قطعاتی از این جنس به دلیلی جوش پذیری پایین سراغ پرچکاری می روند.
- مشکل حمل و نقل قطعه جوشکاری شده خیلی بزرگ مثل دکل برق فشار قوی (**راه حل؟**)
- برای سازه های حساس مثل زیردریایی، مخزن تحت فشار و موشک با انتظاراتی که از مواضع اتصال می رود، استفاده از روشهای جوشکاری اجتناب ناپذیر است.
- تیم طراح با در نظر گرفتن جنبه های مختلف فنی، اقتصادی، سهولت و سرعت عملیات روش اتصال را انتخاب می کنند. برای یک پروژه شاید چندین روش اتصال استفاده شود.


اتصال
بهبود خواص موضعی قطعه نو
کاربردهای هنری
بازسازی قطعات فرسوده و مستهلک شده
بازسازی عیوب قطعات ریختگی یا ماشینکاری شده
کاربردهای تکنولوژی جوشکاری
صفحه ۵-۱۱

تعاریف اولیه:

- جوش ایده آل : با علم بر اینکه جوشکاری نوعی اتصال دائم است و عمدتا اتصال مواد همجنس باشد می توان جوش ایده آل را به محل اتصالی اطلاق نمود که نتوان آن موضع را از نظر خواص مکانیکی و ترکیب شیمیایی با فلزات پایه تشخیص داد.
- نیروی پیوند : اتم ها در فلزات و اکثر مواد دارای نظم کریستالی بوده و نسبت به هم نیروی جاذبه دارند که منجر به کنار هم قرارگرفتن اتم ها شده و سبب تشکیل یک ماده جامد می شود. اگر قرار باشد بخشی از قطعه فلزی از آن جدا شود. نیاز به غلبه بر این نیروی پیوند دارد. عواملی چون نواقص شبکه کریستالی (علم مواد داشتید)، گرم کردن و ذوب کردن سبب تضعیف این نیروی پیوند خواهد شد که دلیل آن بر هم ریختن نظم کریستالی است.
- فرض کنید پس از جدا کردن قسمتی فلز از قطعه فلزی مادر، اگر به طور ساده قطعه جدا شده را کنار قطعه اصلی بگذارید به هم متصل نخواهد شد.
- علت این است که **موانع اتصال** (ناهمواری های سطوح، لایه هوایی و احتمالا آلودگی های سطحی) اجازه نمی دهند اکثریت اتمها در دو سطح مقابل در مقیاس اتمی ساختار کریستالی آنقدر به مهم نزدیک شوند که نیروی جاذبه بین اتمی برقرار شود.
- برای رفع این مشکل باید به نحوی با یک انرژی خارجی این ناهمواری های سطحی، گپ هوایی و آلودگی ها را از بین برد و با ایجاد شرایط جدید و چیده شدن اتم ها در کنار هم در شرایط جدید سبب ایجاد اتصال شد. منبع این انرژی سبب تعریف دو خانواده بزرگ جوشکاری **الف) جوشکاری ذوبی، ب) جوشکاری حالت جامد** خواهد شد.

تعاریف اولیه:

- **فرایندهای جوشکاری ذوبی**: در این فرایندها به کمک یک منبع حرارتی (نظیر قوس، شعله، لیزر و ...) سطوح و لبه های مورد اتصال ذوب شده و **حوضچه مذاب جوش** به وجود می آید. در این صورت چون حالت ماده مذاب است موانع ذکر شده که دلیل عدم اتصال بودند، از بین رفته اند. در دمای انجماد اتم ها با نظم خاصی کنار هم چیده می شوند و فلز جوش محل اتصال را تشکیل می دهند که دارای نظم خاص کریستالی مشابه فلز پایه می باشد. اتم ها نسبت به اتم های مجاور نیروی جاذبه داشته و اتصال انجام می شود. همچنین منطقه حوضچه مذاب با راهکارهای مختلف از اتمسفر دور نگه داشته می شود. این نحوه نگه داری بعد ها پایه تقسیم بندی فرایندهای ذوبی می شود.

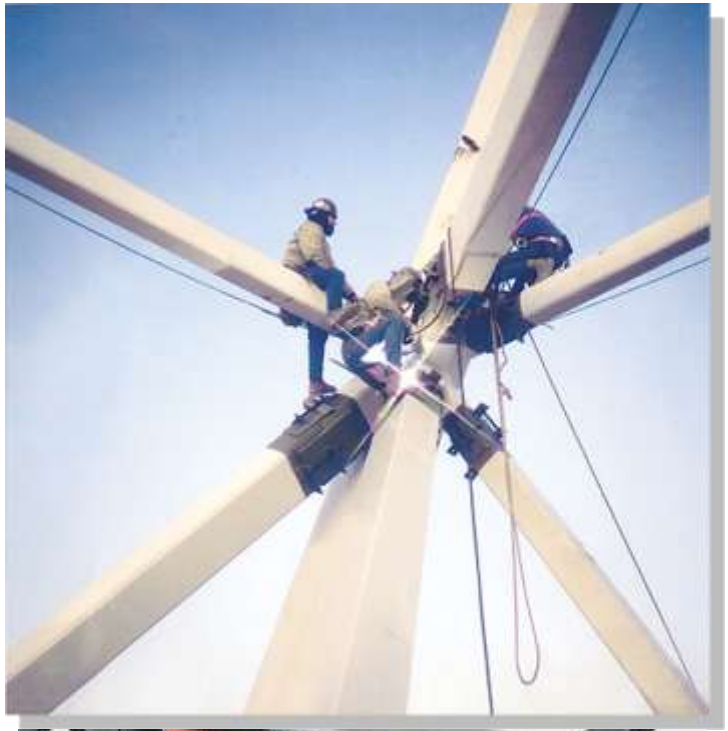
- **فرایندهای جوشکاری حالت جامد**: با اعمال **فشار** و **ایجاد تغییر شکل پلاستیک** به صورت ماکرو و میکرو موانع اتصال ذکر شده از بین خواهد رفت و اتصال در حالت جامد صورت خواهد گرفت. در ادامه راجع به این فرایند ها بحث خواهد شد.

- راهکار سومی هم برای رفع موانع اتصال وجو دارد که همان روش لحیم کاری است که قبلا راجع به آم بحث شد.

فرایندهای جوشکاری بر اساس منبع انرژی اولیه
انرژی الکتریکی
جوشکاری قوسی
جوشکاری الکترود دستی، جوشکاری قوسی با گاز محافظ و ...
جوشکاری مقاومتی
جوشکاری مقاومتی نقطه ای، جوشکاری مقاومتی درزی، ...
انرژی شیمیایی
جوشکاری با شعله
جوشکاری ترمیت
انرژی تشعشعی
جوشکاری اشعه لیزر
جوشکاری پرتو الکترونی
جوشکاری التراسونیک
انرژی مکانیکی
جوشکاری اصطکاکی
جوشکاری انفجاری

جوشکاری قوسی الکترود دستی:

- این فرایند جوشکاری جزو خانواده جوشکاری ذوبی با منبع قوسی است. نام دیگر این روش **جوشکاری قوسی با الکترود روپوش دار** است. این روش در صنعت با **جوشکاری برق** شناخته می شود.
- انجمن جوشکاری آمریکا نام انگلیسی این روش را Shielded Metal Arc Welding می نامد. که به اختصار با SMAW نشان می دهند.

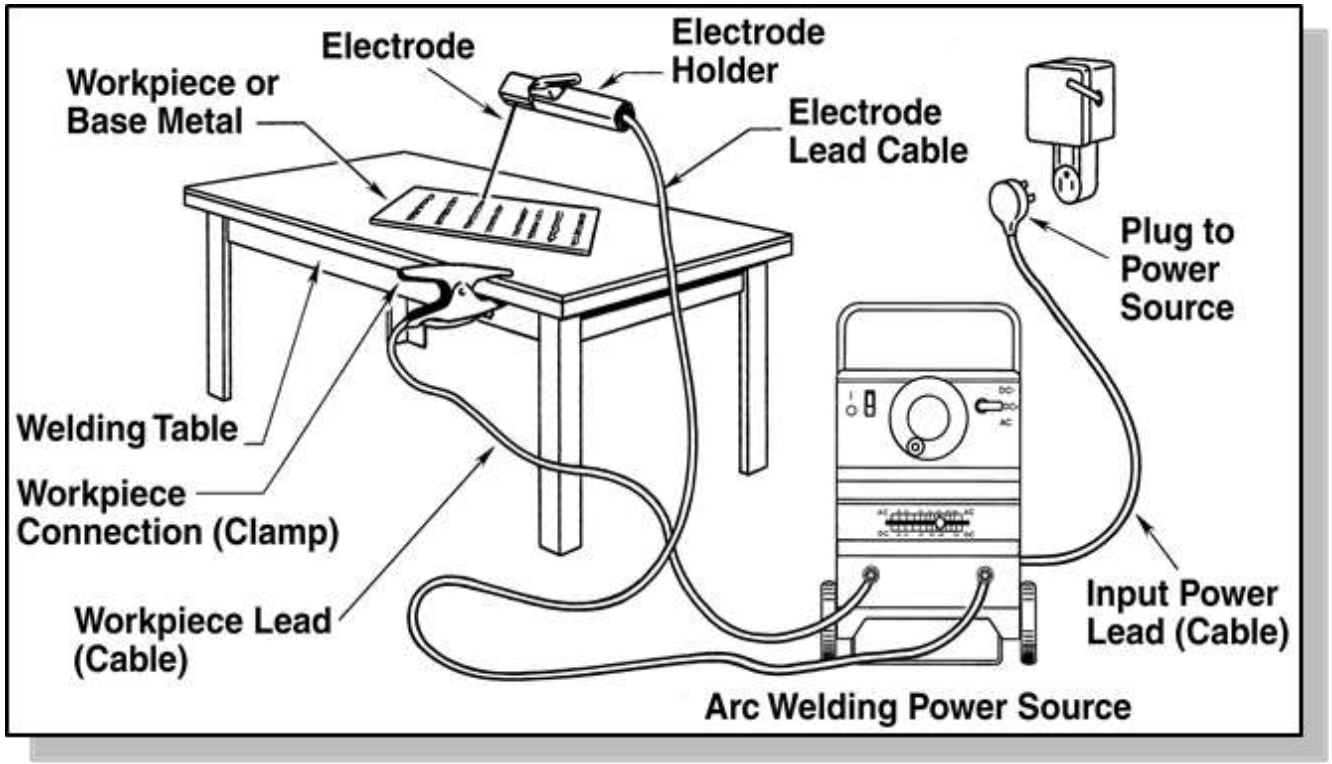


مزایا و محدودیت های جوشکاری الکترود دستی:

- **مزایا :**
- هزینه های اولیه پایین
- پورتابل و قابل استفاده در محل های مختلف و همچنین قابلیت استفاده در حالت های مختلف جوشکاری
- قابل استفاده برای اکثر فلزات
- **معایب :**
- مشکل جوشکاری قطعات خیلی نازک
- بازده مصرفی کم
- نیاز به مهارت بالای جوشکار

اصول اولیه:

- **ابزار مورد نیاز** :
- برای این جوشکاری به یک سری ابزاراصلی نیاز است که در ادامه لیست می شود.
- ۱- منبع تولید انرژی (دستگاه مولد جریان)، ۲- کابل های انتقال جریان جوشکاری، ۳- انبر جوشکاری، ۴- انبر اتصال به قطعه کار، ۵- الکترود جوشکاری
- ابزار فرعی : ۱- میز کار، ۲- ماسک جوشکاری، ۳- چکش جدا کننده گِل جوش، ۴- برس سیمی، ۵- عینک محافظ، ۶- انبر قطعه گیر، ۷- دستکش و پیشبند چرمی نسوز



منبع تولید انرژی (مولد جریان)

جریان مورد استفاده جوشکاری باید ویژگی خاصی داشته باشد. از آن جمله می توان به ولتاژ کمتر و آمپر بالاتر نسبت به برق شهری اشاره کرد. بدین منظور از مولد جریان مستقیم و متناوب برای کاهش ولتاژ برق و تامین شدت جریان مناسب برای جوشکاری استفاده می شود.

ترانسفورماتور

تبدیل برق شهری به ولتاژ کمتر و جریان بیشتر، جریان به صورتAC است. ترانفورماتور جوشکاری از نوع کاهنده ولتاژ است. ترانسفورماتورهای استفاده شده تک فاز، دوفاز و سه فاز هستند. نحوه تنظیم آمپر در این ترانفورماتورها به روش های مختلفی است که در ادامه آورده شده است

ریکتیفایر

ترانسفورماتور یکسوکننده یا ریکتیفایر برای تولید جریان DC استفاده می شود. ریکتیفایرها قابلیت ایجاد جریان AC را نیز دارند.

ژنراتور

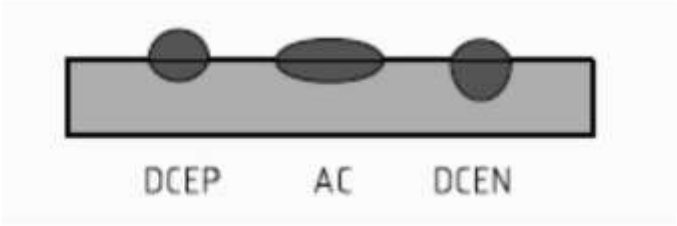
اساس کار ژنراتورقطع خطوط مغناطیسی توسط یک سیم پیچ است. در یک ژنراتور ممکن است آهنربای ایجاد حوزه مغناطیسی ثابت و چمبره بچرخد و یا برعکس باشد. دو نوع مختلف دارد . اگر نیروی لازم برای چرخاندن محور به وسیله موتور الکتریکی تامین شود به آن دینام یا کنورتور گفته می شود و اگر از موتور احتراقی استفاده شود آن را معمولا موتور جوش گویند. در دینام انرژی الکتریکی به مکانیکی و سپس انرژی مکانیکی به الکتریکی تبدیل می شود. اما در موتور جوش انرژی شیمیایی (سوخت) به انرژی حرارتی، سپس به مکانیکی و در نهایت به الکتریکی تبدیل می شود. خروجی دینام جریانDC و موتور جوش جریان DC و گاها AC دارد.

ترانسفورماتور:

- تنظیم شدت جریان در ترانسفورماتور های جوشکاری با روش های مختلفی صورت می گیرد.
- **۱- تنظیم آمپر به روش پله ای :**
- در این روش یکی از خروجی های سیم پیچ ثانویه به انبر اتصال قطعه متصل می شود و از سر دیگر آن خروجی های مختلفی گرفته می شود که هرکدام آمپر معینی را برای جوشکاری تأمین می کنند. اولین ترمینال قبل از سیم پیچ راکتور قرار دارد و بالاترین آمپر را تامین می کند و با فاصله گرفتن، مقدار آمپر خروجی کاهش می یابد.
- **۲- تنظیم آمپر به روش پیوسته :**
- در این روش مقادیر دقیق آمپر، قابل تنظیم و انتخاب است. مکانیزم های مختلفی برای این منظور مورد استفاده قرار می گیرد.
- استفاده از سیم پیچ متحرک : با دور و نزدیک کردن سیم پیچ ثانویه از حوزه مغناطیسی، خطوط القاء تغییرکرده و در نتیجه میزان آمپر خروجی نیز تغییر خواهد کرد.
- استفاده از هسته فرعی : هسته فرعی درون هسته اصلی قرار گرفته و مانع از عبور خطوط میدان مغناطیسی گشته و در نتیجه القای مغناطیسی کمتری صورت میگیرد. با خارج شدن تدریجی هسته فرعی از درون هسته اصلی، خطوط تقویت شده و شدت جریان افزایش می یابد. تنظیم آمپر به کمک جابه جایی هسته اصلی صورت میگیرد، بدین ترتیب که با خارج شدن هسته از فاصله بین دو سیم پیچ، شدت جریان خروجی کم شده و با وارد شدن هسته، مقدار آمپر افزایش می یابد.
- تنظیم آمپر به کمک هسته دوقسمتی : در جوشکاری از ترانسفورماتو رهای کاهنده ولتاژ استفاده می شود که یک هسته ورقه ای از جنس آهن سیلیس دار، سیم پیچ اولیه با تعداد دور زیاد و قطر سیم کم، وسیم پیچ ثانویه با تعداد دور کم و قطر سیم ضخیمتر را شامل می شود. ترانسفورماتو رها تنها قادر به تأمین جریان متناوب با آمپر بالا برای جوشکاری هستند.

ریکتیفایر:

- از رکتیفایرها برای تأمین جریان مستقیم و نیز جریان متناوب در جوشکاری استفاده می شود. این دستگاه شامل دو بخش است: ترانسفورماتور کاهنده ولتاژ و یکسوساز جریان.
- یکسوسازها دیود هایی هستند که اجازه حرکت الکترو نها در یک جهت را میدهند و مانع عبور الکترون ها در جهت دیگر (سیکل منفی) می شوند.
- **قطبیت جریان مستقیم :**
- **قطبیت مثبت:** در صورتیکه الکترود به قطب مثبت و قطعه کار به قطب منفی متصل شود، آن را قطب مثبت (قطب معکوس) گویند و به صورت DCEP نشان میدهند. در این حالت از کل گرمای تولید شده ۲/۳ به الکترود و ۱/۳ به قطعه کار می رسد.
- **قطبیت منفی:** در صورتیکه الکترود به قطب منفی و قطعه کار به قطب مثبت دستگاه جوشکاری متصل شود، آنرا جوشکاری با قطب منفی (قطب مستقیم) گویند و با DCEN نشان می دهند. در این حالت از کل گرمای تولید شده ۲/۳ به قطعه کار و ۱/۳ به الکترود می رسد.
- شکل زیر میزان عمق نفوذ جوش در قطعه کار بر اساس نوع جریان را نشان می دهد

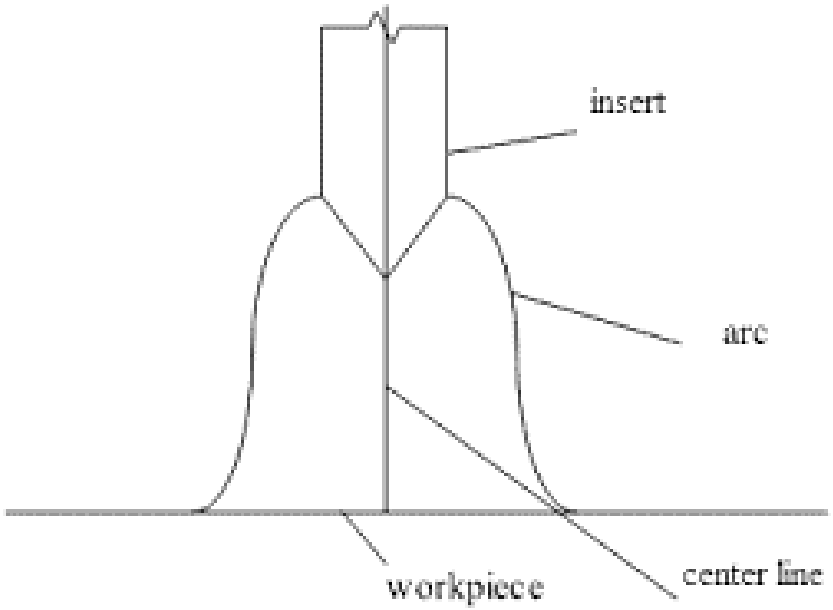


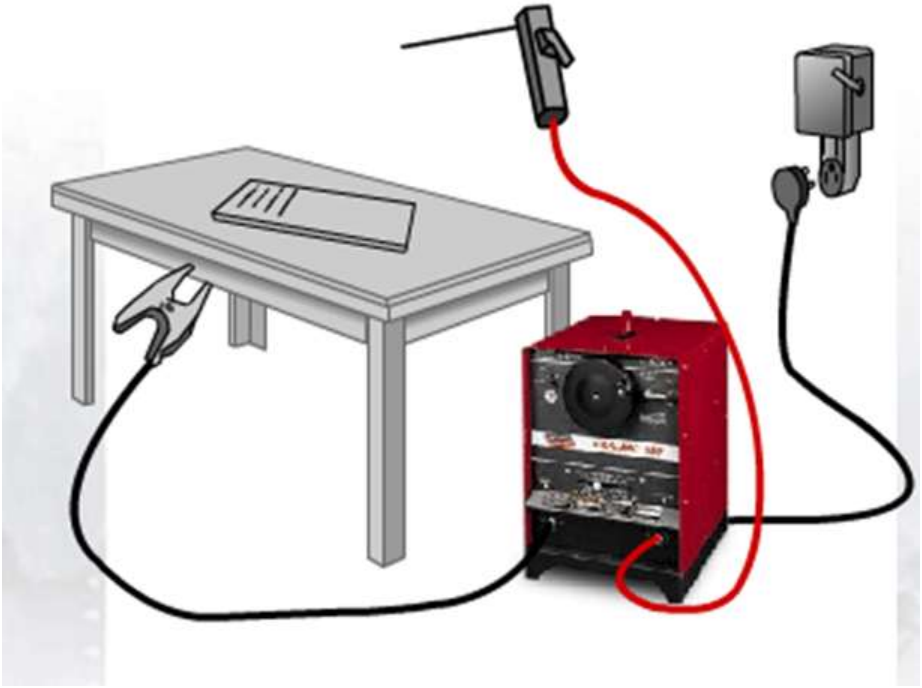
مزایا و معایب جریان AC و DC:

	مزایا	معایب
جریان متناوب (AC)	ـ راه‌اندازی آسان است. ـ هزینه تعمیرات و نگهداری و استهلاک کم‌تر است. ـ وزش قوس وجود ندارد. ـ توزیع حرارت در الکترود و قطعه کار یکنواخت است.	ـ شروع قوس مشکل‌تر نسبت به DC است. ـ امکان تغییر قطب‌ها وجود ندارد. ـ برخی از الکترودها را نمی‌توان با آن جوشکاری کرد. ـ برخی از فلزات را نمی‌توان با آن جوشکاری کرد. ـ پاشش مذاب زیاد است.
(DC)	ـ خطر شوک الکتریکی کم‌تر است. ـ تشکیل قوس راحت‌تر و پایدارتر و آرام‌تر است. ـ پاشش ذرات کم‌تر است. ـ استفاده از انواع الکترود امکان پذیر است. ـ قابلیت تغییر قطب وجود دارد. ـ در هنگام کار سروصدا کم‌تر است.	ـ امکان انحراف قوس وجود دارد. ـ هزینه دستگاه بالاست. ـ هزینه تعمیرات و نگه‌داری بالاست.

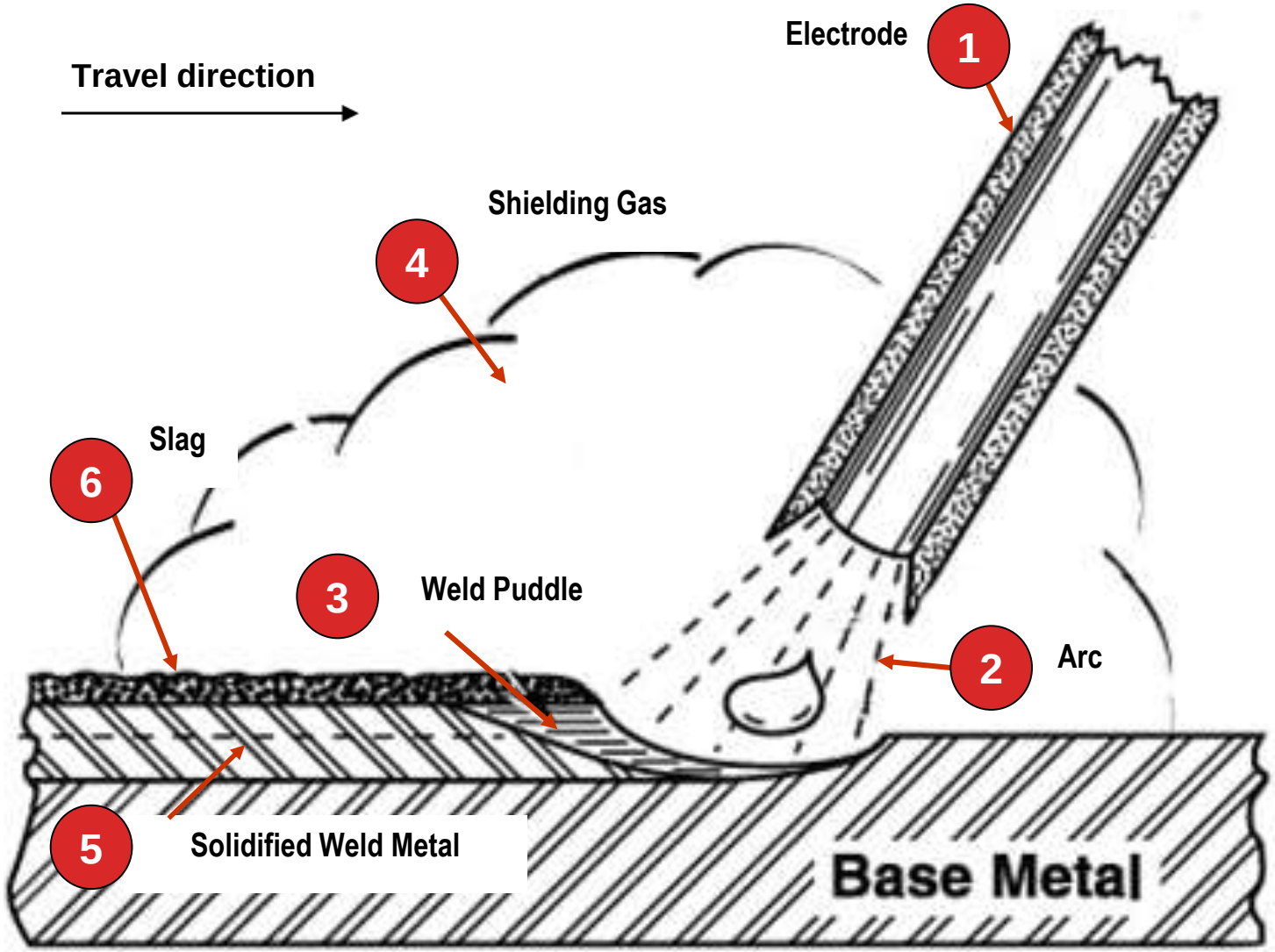
اساس منبع حرارت جوشکاری الکترود دستی :

- گرمای لازم برای اتصال قطعات به یکدیگر از طریق قوس الکتریکی تامین می شود. قوس الکتریکی بین دو قطب منبع جریان یعنی الکترود و قطعه فلزی ایجاد می شود. در واقع عمل جوشکاری بر اثر قوس الکتریکی بین الکترود روکش دار و قطعه کار انجام می گیرد و جریان الکتریکی لازم توسط دستگاه جوشکاری تامین می شود.
- قوس الکتریکی بر اثر تخلیه ناگهانی بین اختلاف ولتاژ دو قطب مثبت و منفی ایجاد می شود. قوس الکتریکی بر اثر حرکت الکترون ها در فاصله بین نوک الکترود و قطعه کار تشکیل می شود. دمای قوس الکتریکی در نقاط مختلف قوس در حد ۶۰۰۰ درجه سانتیگراد است.
- این دمای بالا باعث تشکیل حوضچه مذاب جوش شده و با دور کردن الکترود از قطعه کار و در نتیجه قطع قوس الکتریکی جوشکاری تکمیل خواهد شد.

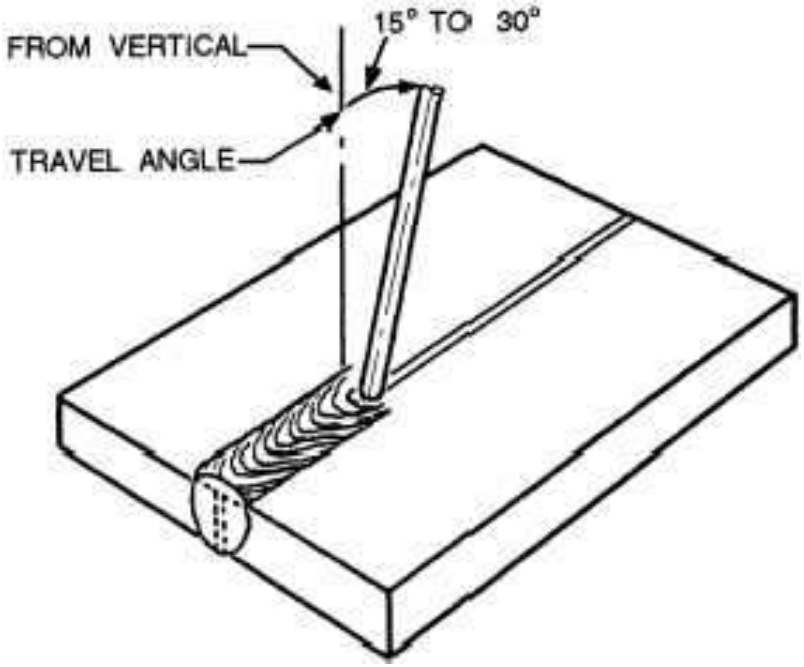




اساس جوشکاری الکترود دستی :



اساس جوشکاری الکترود دستی :



نمای نزدیک حوضچه جوش

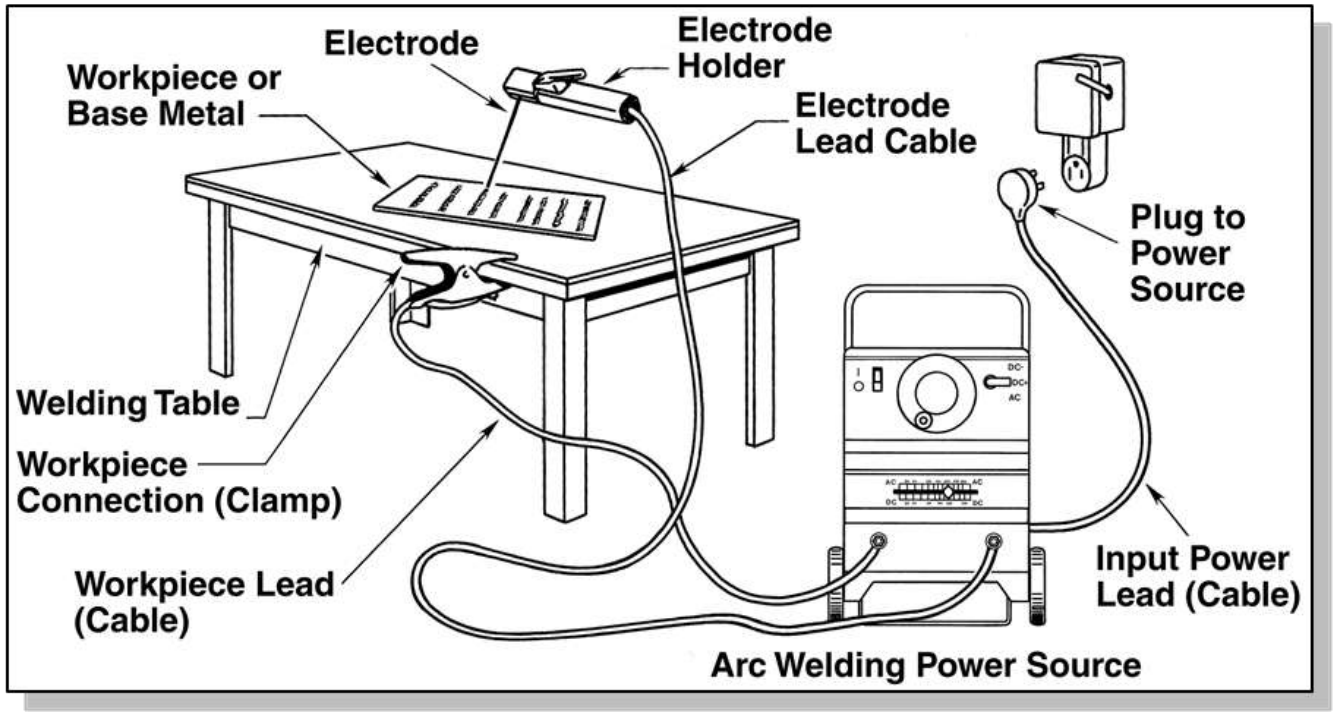
نمای خط جوش پس از انجماد بر روی قطعه کار فلزی

اساس جوشکاری الکترود دستی :

- گاز محافظ در این روش با ذوب و تبخیر پوشش الکترود و سوختن برخی عناصر داخل روکش الکترود ایجاد می شود.
- این گاز محافظ حوضچه مذاب و قطرات مذاب انتقال شده به سمت حوضچه مذاب از نوک الکترود را در مقابل اتمسفر و اکسید شدن محافظت می کند. زیرا این قطرات مذاب و حوضچه مذاب در حالت مذاب با دمای بالا هستند و مستعد اکسید شدن در مجاورت هوای اتمسفر هستند.
- سرباره (گل جوش) ایجاد شده بر روی حوضچه مذاب که ناشی از روکش الکترود و ناخالصی های داخلی فلز پایه است.
- سرباره سریعتر از فلز جوش منجمد می شود و نقش محافظ بر روی حوضچه مذاب ایفا می کند.
- سرباره نرخ سرد شدن حوضچه مذاب را کنترل می کند تا از تشکیل فازهای نامناسب مثل مارتنزیت در فولادها را کنترل کند.
- سرباره بعد از سرد شدن و انجماد نهایی حوضچه مذاب به راحتی جدا می شود.

مراحل تنظیمات اولیه جوشکاری :

1. Turn power supply on
2. Connect work clamp
3. Select electrode
   a. *Type*
   b. *Diameter*
4. Adjust output
   a. *Polarity* **AC, DC+, DC-**
   b. *Amperage*
6. Insert electrode into electrode holder



متغییرهای جوشکاری الکترود دستی
(کنترل کننده حرارت ورودی جوشکاری است)

Heat Input

- شدت جریان و نوع جریان
- میزان ولتاژ
- سرعت حرکت جوشکاری

$$HI = \frac{V * I * \eta}{v} = \frac{Voltage * Current * Thermal\ Efficiency}{Travel\ Speed}$$

V in Volts

I in Ampéres

Thermal Efficiency is a constant coefficient based upon the welding process used

- 1 for Submerged Arc welding
- 0.8 for MMA, MIG/MAG, Flux Cored Arc Welding
- 0.6 for TIG

Travel speed has to be in millimeters per second in order for heat input to be in KJ/mm

عوامل موثر روی شرایط جوشکاری

- مقدار و نوع جریان
- ولتاژ قوس
- فاصله الکترود تا قطعه کار (طول قوس)
- سرعت جوشکاری
- نوع و اندازه الکترود

SMAW welding parameters

جریان جوشکاری :

- ✓ تقریباً در ازای هر میلیمتر از قطر الکترود ۳۵ آمپر انتخاب می شود (35 A/mm).
- ✓ انتخاب دقیق آمپراژ جوشکاری تابع ضخامت قطعه، نوع اتصال و حالت یا وضعیت جوشکاری است

Poor Starting

High viscosity of molten metal

Low welding speed

Lack of fusion/penetration

Spatter

Excess penetration

Undercut

Burn-through

SMAW welding parameters

Arc length = Arc Voltage

Too low	Arc Voltage	Too high
Arc can be extinguished		Spatter Porosity Excess penetration Undercut Burn-through

SMAW welding parameters

Travel Speed

Wide weld bead contour

Excess penetration

Bourn-through

Lack of root fusion

Lack of penetration

Under cut

نکات تکنیکی جوشکاری

To begin the SMAW Process, you must first strike an arc. This can be done using one of the following techniques:

- Scratch start – scratch the electrode on the base metal like a match
- Tap Start – tap the rod against the base metal

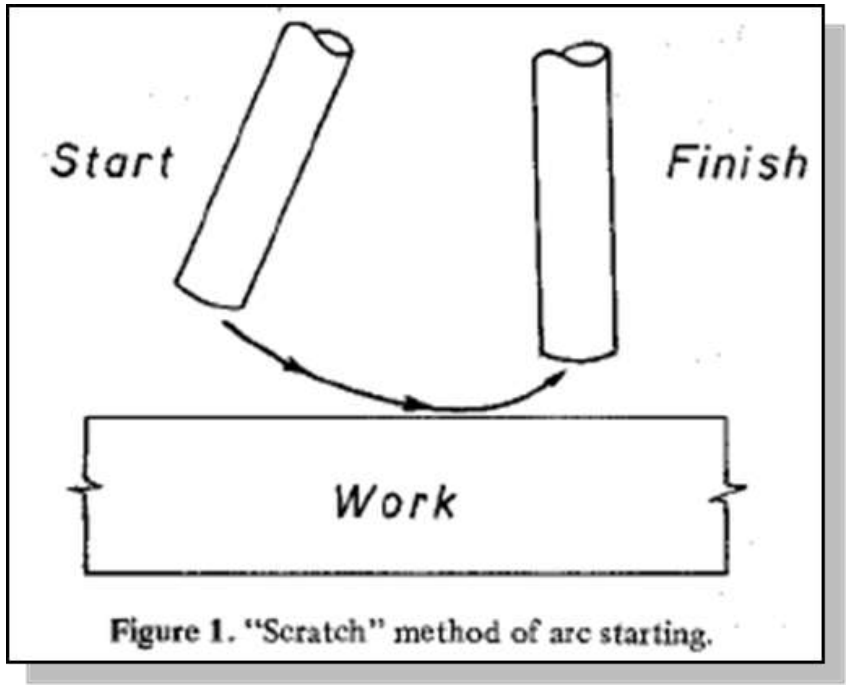


Figure 1. "Scratch" method of arc starting.

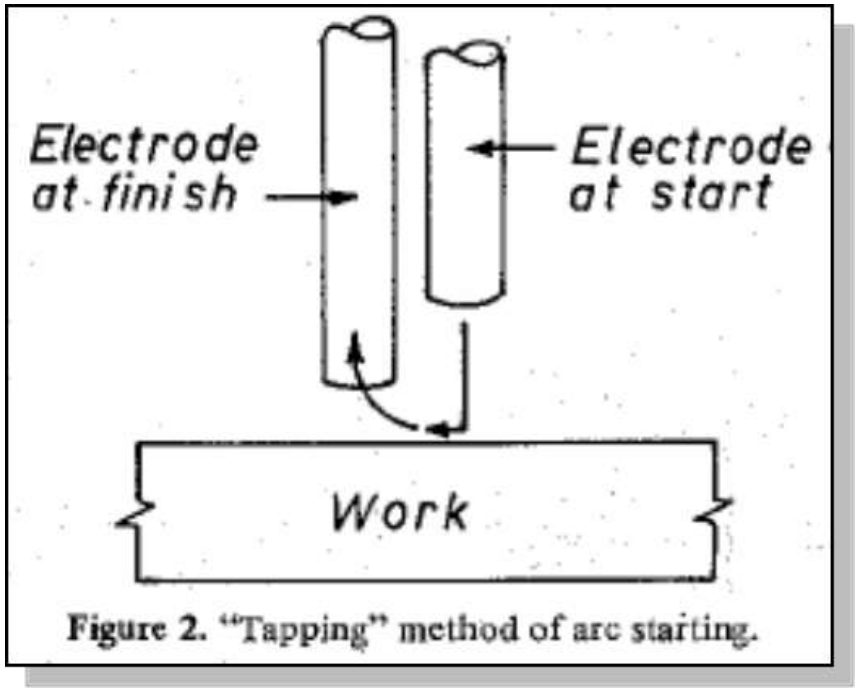
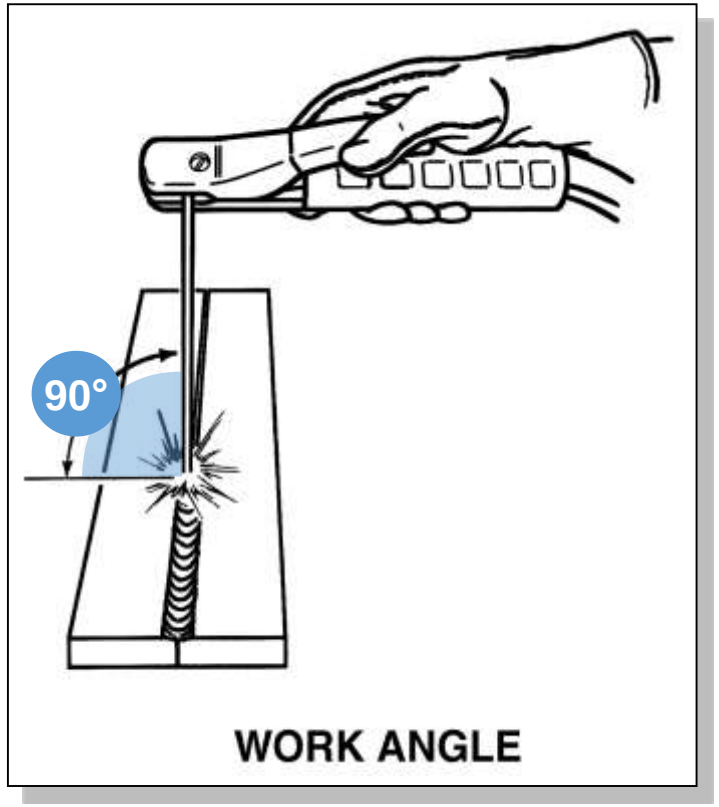


Figure 2. "Tapping" method of arc starting.

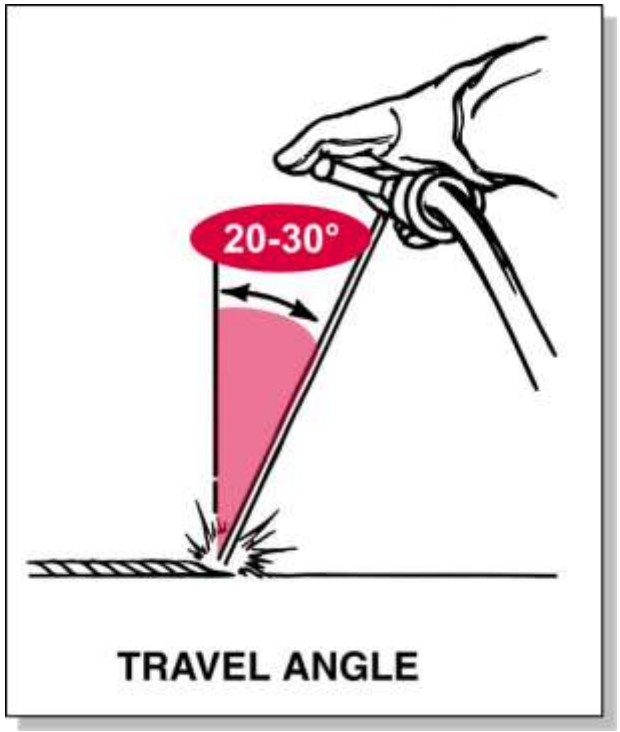
Work Angle:

- The work angle is the angle between the electrode and the work as depicted on below
- Work angles can vary depending on the position the weld is being made in



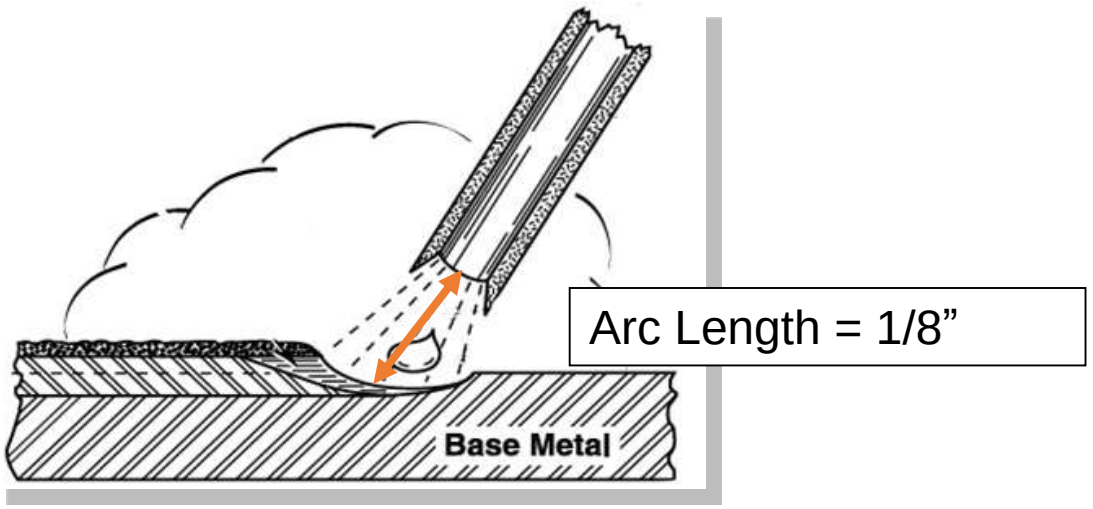
Travel Angle:
Also commonly called Lead Angle

- The travel (lead) angle is the angle between the electrode and the plane perpendicular to the weld axis



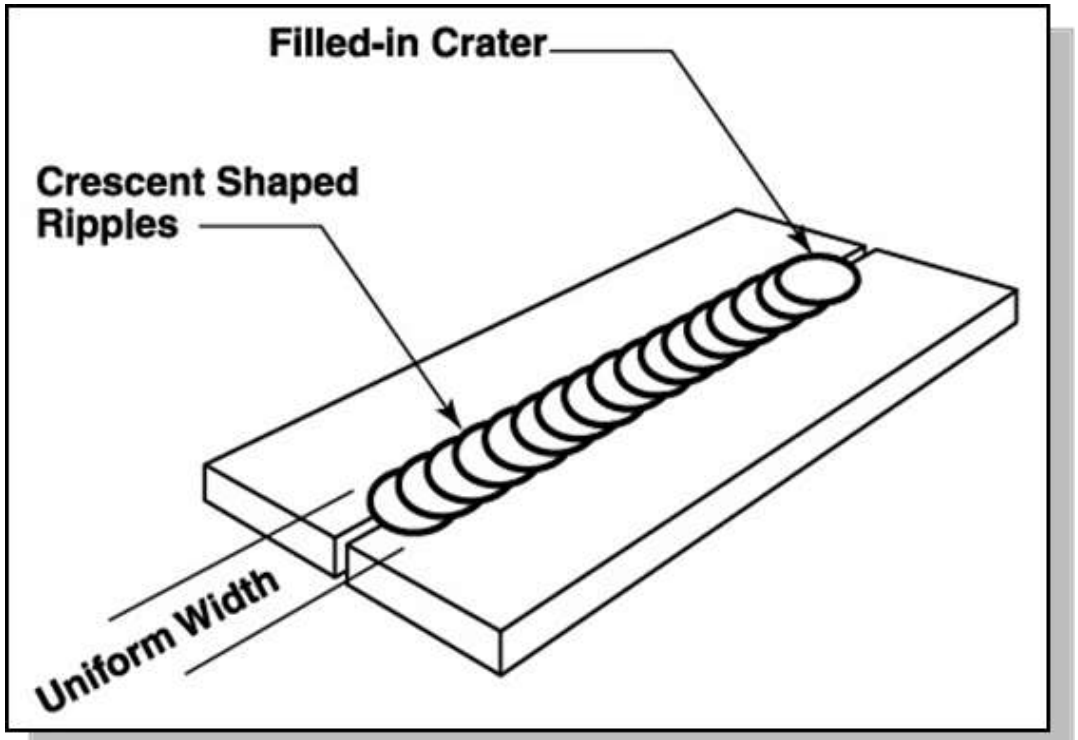
Arc Length:

- After striking the arc, maintain a 1/8” distance between the electrode and the workpiece
- If the arc length becomes too short, the electrode will get stuck to the workpiece or ‘short out’
- If the arc length becomes too long; spatter, undercut, and porosity can occur



Travel Speed:

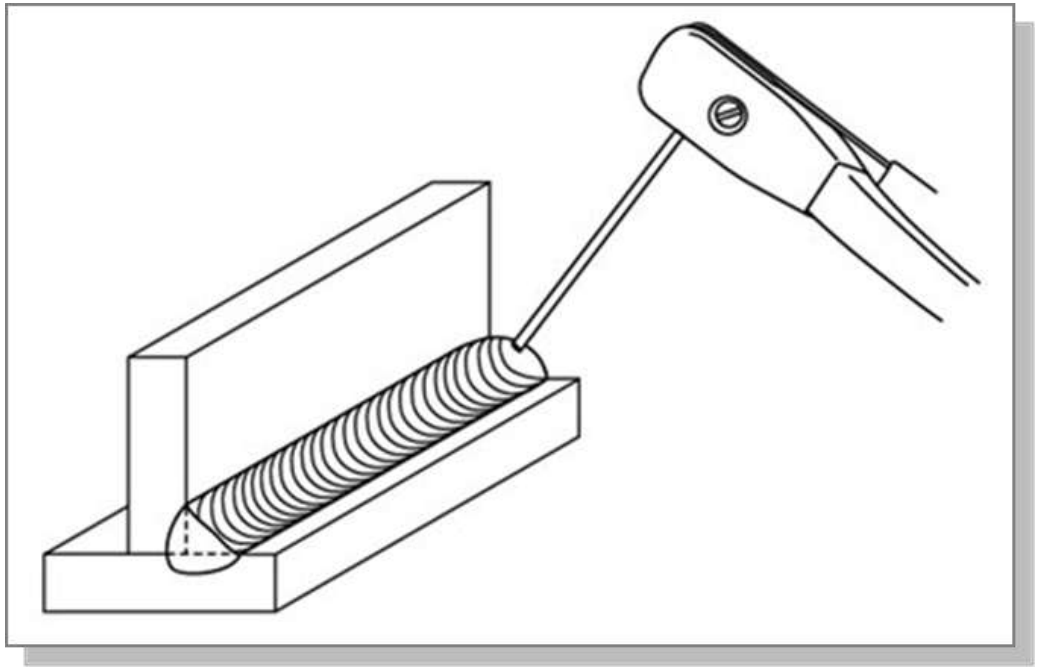
- The travel speed is the speed at which the electrode moves along the base material while welding
- Too fast of a travel speed results in a ropey or convex weld
- Too slow of a travel speed results in a wide weld with an excessive metal deposit



The travel speed impacts the shape of the bead

Filling the Crater:

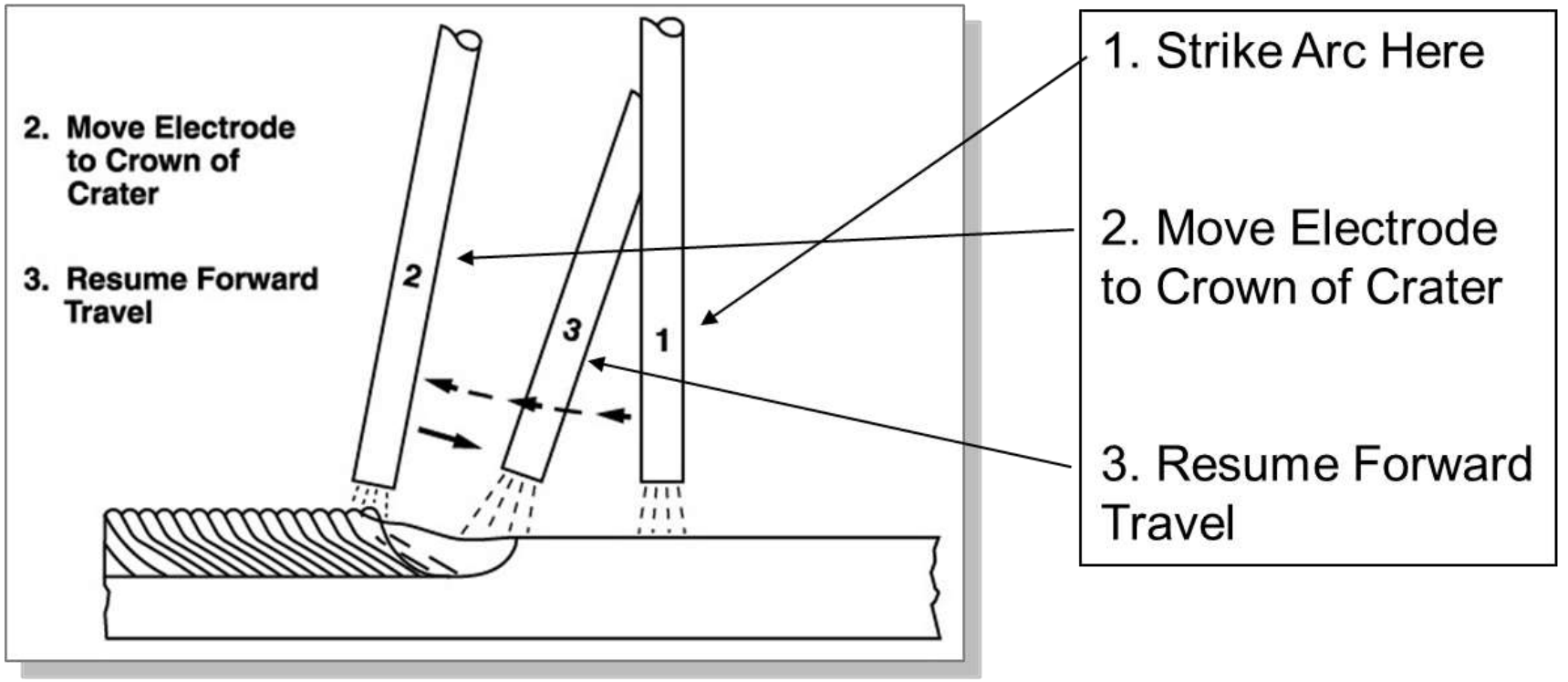
- At the end of the weld, the operator breaks the arc which creates a ‘crater’
- Use a short pause or slight back step at the end of the weld to fill the crater
- Large craters can cause weld cracking



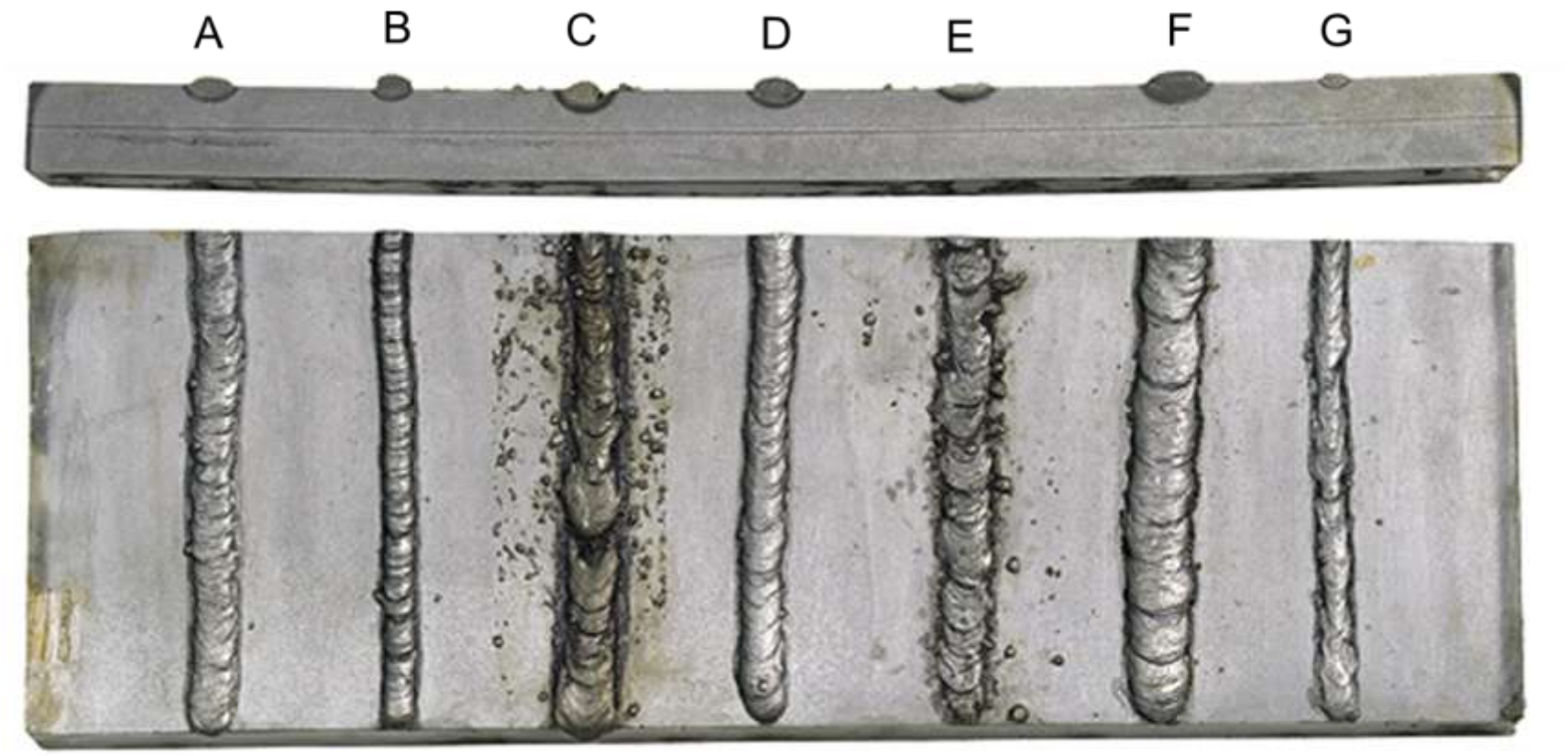
Back stepping is a short move in the opposite direction of weld travel

Restarting a Bead:

- Here is the proper technique for restarting a weld



Troubleshooting Welds:

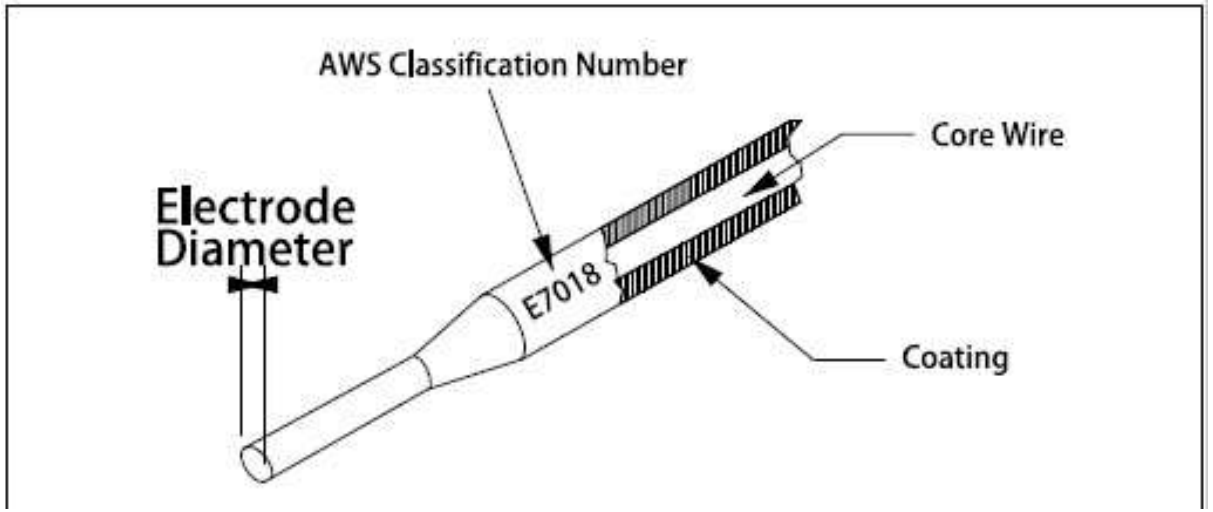


Troubleshooting Welds:

- A – Good Weld: Proper Current, Travel Speed and Arc Length
- B – Current too low: Ropey, convex bead appearance
- C – Current too High: Excess spatter and possible burn-through of base materials
- D – Arc Length too short: Poor wet-in at toes, electrode can ‘short’ to base material
- E – Arc Length too Long: Excess spatter, undercut and porosity
- F – Travel Speed too slow: Wide weld with excess metal deposit
- G – Travel Speed too high: Ropey and convex bead

الکترود جوشکاری

الکترود جوشکاری دستی از دو بخش هسته و پوشش یا روکش تشکیل می شود. هسته الکترود معمولا به صورت گرد و با قطر بین ۶-۱/۵ میلیمتر است. طول آن از ۶۰-۲۰ سانتیمتر است. هسته الکترود معمولا از جنس آهنی یا غیر آهنی است. ۶۰ الی ۸۰ درصد الکترودها هسته آهنی دارند. در پوشش الکترود مواد و عناصر مختلفی استفاده می شود که وظایف مختلفی دارد و در ادامه بحث خواهد شد.



الکترود جوشکاری

سه نوع پوشش الکترود بطور متداول وجود دارد:

- سلولزی (Cellulosic)
  - قدرت ذوب و نفوذ بالا
  - بسته بندی در قوطی های فلزی قلع اندود شده
- روتیلی (Rutile)
  - دارای کاربردهای عمومی بعلت استفاده آسان و جوشکاری راحت تر
  - بسته بندی در بسته های مقوایی عایق بندی شده توسط فویل های پلاستیکی
- قلیایی (Basic)
  - کم هیدروژن
  - بسته بندی در جعبه یا قوطی های عاری از هوا

Cellulosic electrode

- پوشش این الکترودها تا بیش از ۴۰٪ حاوی ترکیبات آلی سلولزی ($C_xH_yO_2$) است.
- گاز زیادی بدلیل سوختن سلولز تولید می شود که دارای هیدروژن و اکسیدکربن است.
- نفوذ و ذوب عمیقی راحتی در سرعت های جوشکاری بالا، بدلیل انرژی فزاینده حرارتی علاوه بر انرژی یونیزاسیون، تولید می کنند.
- بخارات زیادی داشته که احتمال خطر ترک های سرد و هیدروژنی را بالا می برد.

(برای جوشکاری فولادهای استحکام بالا و قطعات با ضخامت های بالا مناسب نیست)

- ضخامت سرباره بسیار کم و ظاهر جوش خشن است.
- نیاز به پخت یا خشک کردن ندارند (حرارت بالا می تواند به پوشش آسیب برساند).
- دارای میزان هیدروژن ۸۰ تا ۹۰ میلی لیتر در هر ۱۰۰ گرم فلز جوش است.
- قطبیت مناسب DCEP
- یکی از کاربردی ترین الکترودهای این خانواده : E 6010

Cellulosic electrode

معایب

- دارای میزان هیدروژن بالا
- تمایل بالا به ترک سرد
- ظاهر جوش خشن
- پاشش جوش زیاد

مزایا

- قدرت نفوذ و ذوب بالا
- مناسب برای جوشکاری در همه حالات
- سرعت جوشکاری بالا
- حجم بالای گاز تولیدی

Rutile electrode

- پوشش این الکترودها حاوی ترکیبات سرباره ساز و پایدار کننده قوس اکسید تیتانیم (TiO2) است.
- شروع قوس آسان، پاشش کم، برای جوشکاری در همه حالات عالی است.
- جوشکاری آسانتر با هر دو جریان AC و DC.
- ظاهر مناسب جوش و امکان زدودن آسانتر سرباره.
- امکان پخت ندارد ولی می توان برای کاهش هیدروژن

الکترودها را خشک کرد (۱۲۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد).

- کاربردی ترین الکترود این خانواده: E 6013 مناسب برای

جوشکاری فولادهای ساده کربنی

- در بعضی الکترودها مانند E 7024 با افزودن پودر آهن به پوشش، امکان افزایش راندمان یا سرعت جوشکاری فراهم می شود.

Rutile electrode

معایب

- دارای میزان هیدروژن بالا (در مقایسه با قلیایی)
- تمایل بالا به ترک سرد
- پاشش جوش زیاد (نسبت به قلیایی)
- نرخ رسوب پایین (در مقایسه با سلولزی)

مزایا

- استفاده آسان
- هزینه پایین
- ظاهر جوش مناسب
- پاک کردن آسان سرباره
- در صورت افزودن پودر آهن می توان نرخ رسوب جوش را افزایش داد.

Basic electrode

- پوشش این الکترودها شامل کربنات کلسیم، فلوراید، آهک و فلورسپار است
- دارای ظاهر محدب و سرباره زدایی سخت
- دارای میزان هیدروژن بسیار پایینی است (کمتر از ۵ میلی لیتر در هر ۱۰۰ گرم از فلز جوش).
- بدلیل کاهش احتمال ترک های سرد و گرم، مناسب برای جوشکاری قطعات تحت فشار، قطعات ضخیم و فولادهای استحکام بالا هستند.
- قبل از استفاده باید بمدت ۲ ساعت در دمای حدوداً ۳۵۰°C پخت شوند تا میزان هیدروژن آنها کاهش یابد.
- حین استفاده باید در محدوده دمایی ۱۲۰ تا ۱۵۰°C نگهداری شوند.
- جوشکارهای با مهارت بالا نیاز دارد.
- کاربردی ترین الکترود این خانواده: E 7018

Basic electrode

معایب

- هزینه بالا
- شرایط کنترل سخت تر
- نیاز به مهارت بالای جوشکار
- ظاهر جوش محدب
- خواص پایین در محل پایان/آغاز جوش

مزایا

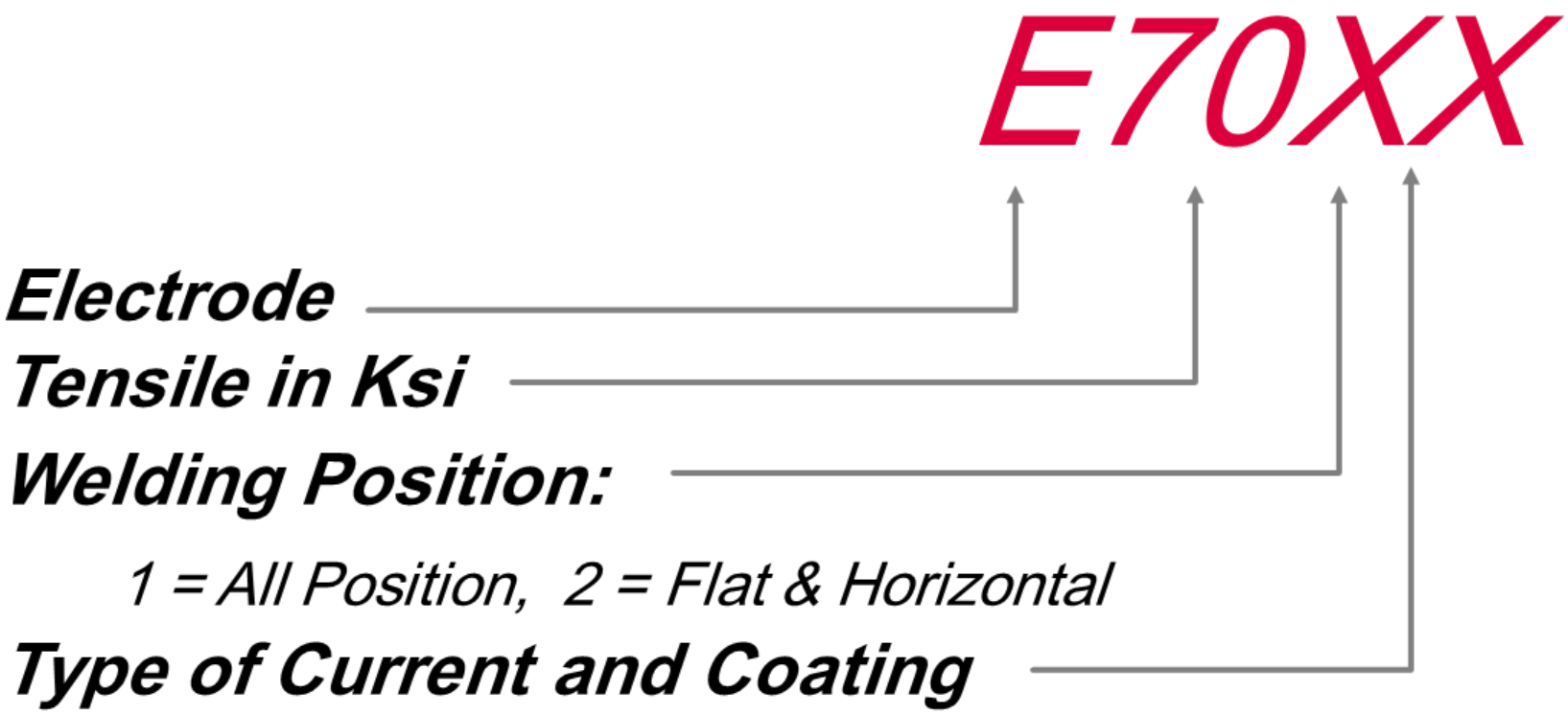
- تافنس بالای فلز جوش
- میزان هیدروژن پایین
- تمایل پایین به ترک

روکش های حاوی پودر آهن

افزودن از ۵ تا ۵۰ درصدی پودر آهن به پوشش الکترودها اثرات زیر را در بر خواهد داشت :

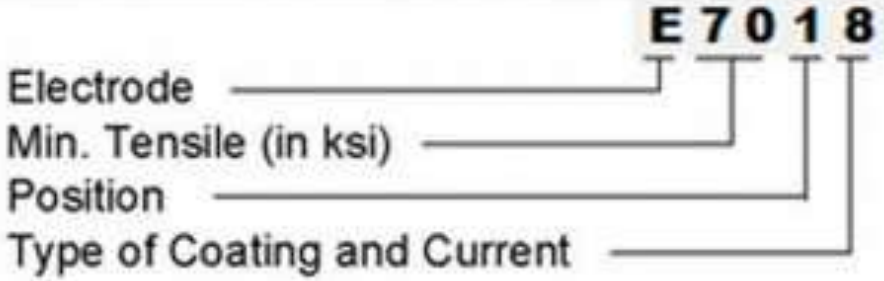
a) افزایش نرخ رسوب
b) افزایش پایداری قوس
c) افزایش بازدهی
d) افزایش انعطاف پذیری
e) کاهش پاشش و جوقه های جوشکاری
f) ظاهر صاف تر گرده جوش
g) احتمال کمتر بریدگی کناره

AWS Classification of SMAW Electrodes



AWS Classification of SMAW Electrodes

AWS A5.1 Carbon Steel Electrodes for SMAW



Key to Type of SMAW Coating and Current		
Digit	Type of Coating	Current
0	High Cellulose Sodium	DC+
1	High Cellulose Potassium	AC, DC±
2	High Titania Sodium	AC, DC-
3	High Titania Potassium	AC, DC±
4	Iron Power, Titania	AC, DC±
5	Low Hydrogen Sodium	DC+
6	Low Hydrogen Potassium	AC, DC+
7	High Iron Oxide, Iron Powder	AC, DC±
8	Low Hydrogen Potassium, Iron Powder	AC, DC±

AWS Classification of SMAW Electrodes

رقم	نوع روپوش	نوع برق
۰	سلولز ، سدیم – اکسید آهن	DCEP,EN - AC
۱	سلولز - پتاسیم	DCEP,EN - AC
۲	تیتان - سدیم	DCEP,EN - AC
۳	تیتان - پتاسیم	DCEP,EN - AC
۴	پودر آهن - تیتان	DCEP,EN - AC
۵	کم هیدروژن – سدیم	DCEP,EN - AC
۶	کم هیدروژن - پتاسیم	DCEP,EN - AC
۷	پودر آهن – اکسید آهن	DCEP,EN - AC
۸	پودر آهن – کم هیدروژن	DCEP,EN - AC

Example AWS electrode flux types

- **Cellulosic:** flux ends in 0-1

  Examples: E 6010, E 6011, E 7010 , E 8011

- **Rutile:** flux ends in 2 – 3 – 4

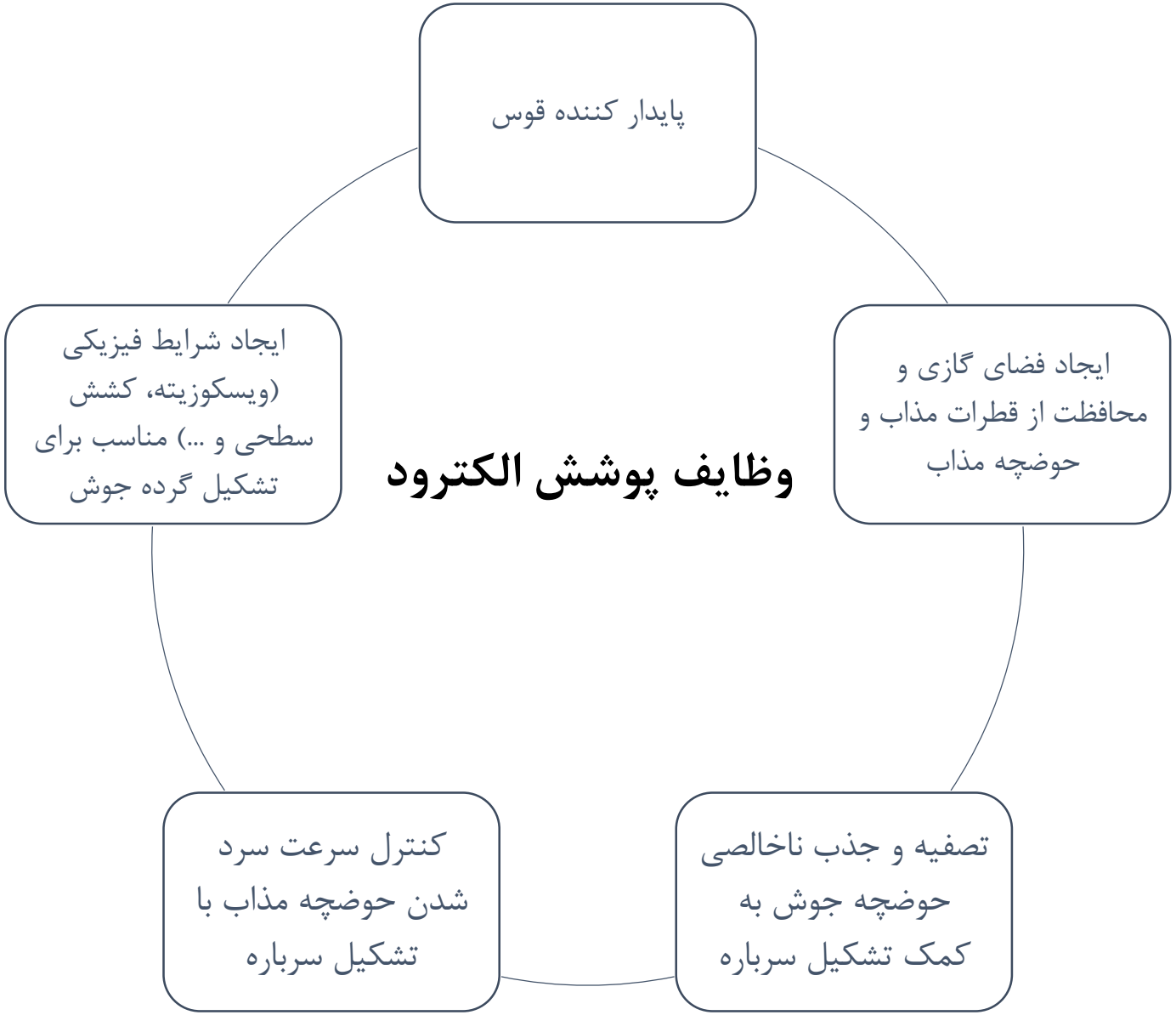
  Examples: E 5012, E 6012, E 6013, E 6014

- **Basic:** flux ends in 5 – 6 – 7 – 8

  Examples: E 6016, E 7017, E 8018, E 9018

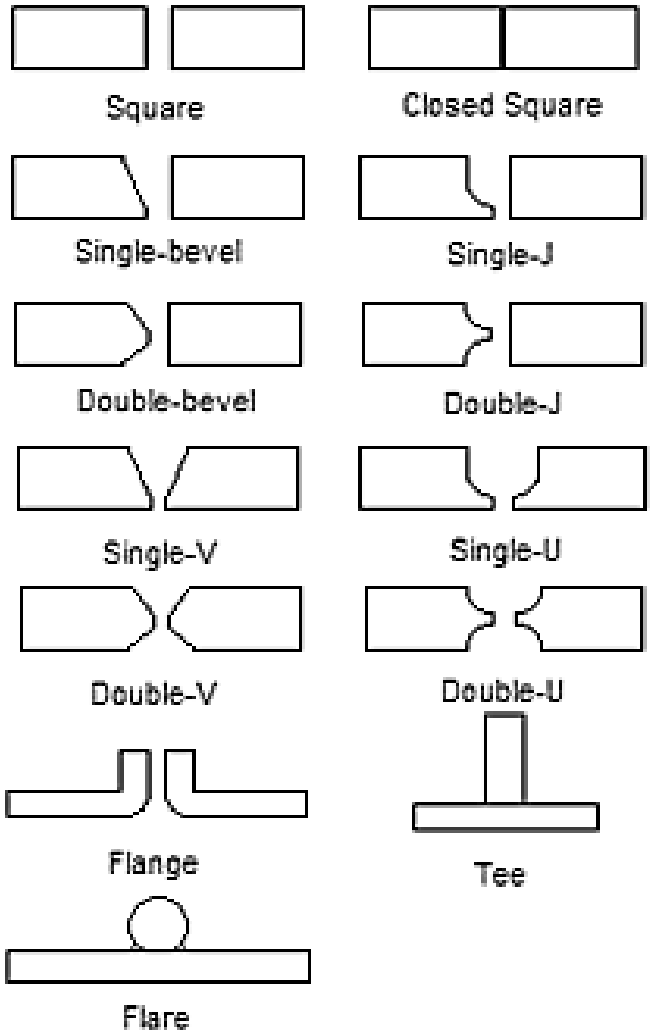
AWS Classification of SMAW Electrodes

الکترود (ASME)	نوع الکترود	ویژگی‌ها و موارد کاربرد
E6010 E6011	سلولزی	جوشکاری پاس اول ریشه، با نفوذ ریشه‌ها
E6013	روتایلی	جوشکاری فولادهای ساختمانی و ورق‌ها در تمام حالت‌ها
E7016	قلیایی	جوشکاری فولادهای پرکربن و روکش مقاوم
E7018	قلیایی	جوشکاری مخازن تحت فشار و فولاد پرکربن
E7020	اکسیدی	گرده‌جوش‌های مناسب در جوشکاری‌های تخت و افقی درز گوشه و لب به لب
E6027	اکسیدی	حاوی ۵۰٪ پودر آهن با نرخ رسوب بالا- جهت جوشکاری درز لب به لب

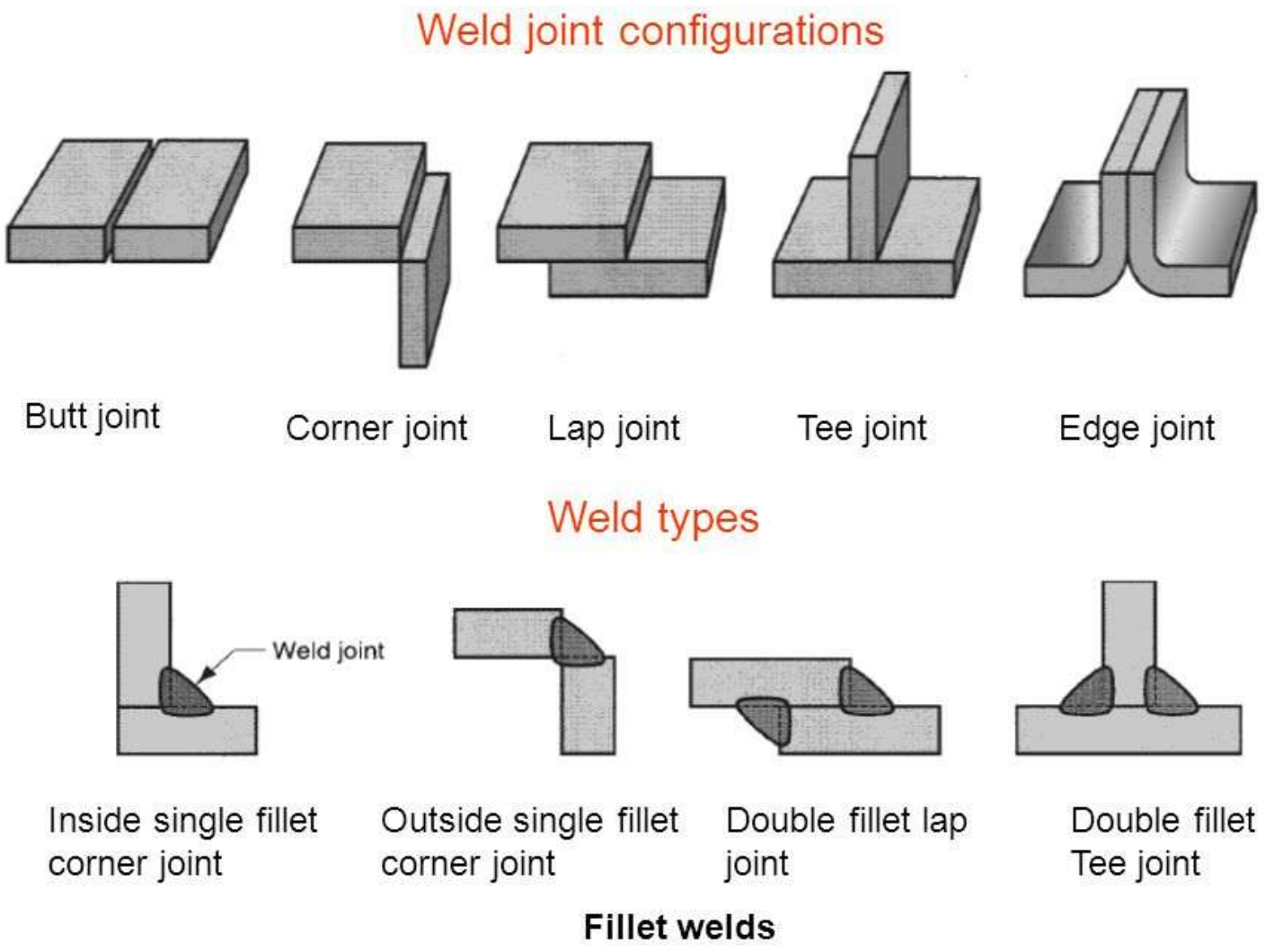

وظایف پوشش الکترود
پایدار کننده قوس
ایجاد فضای گازی و محافظت از قطرات مذاب و حوضچه مذاب
تصفیه و جذب ناخالصی حوضچه جوش به کمک تشکیل سرباره
کنترل سرعت سرد شدن حوضچه مذاب با تشکیل سرباره
ایجاد شرایط فیزیکی (ویسکوزیته، کشش سطحی و ...) مناسب برای تشکیل گرده جوش

طرح اتصال جوشکاری و نوع جوشکاری

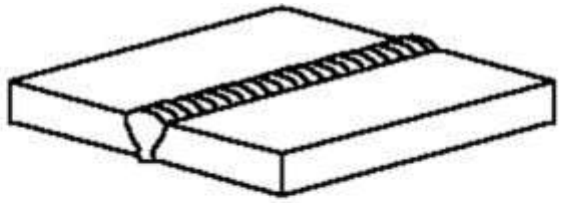
با توجه به شرایط اتصال دو قطعه و ضخامت قطعه چندین نوع طرح اتصال قابل اجراست و نمونه های جوشکاری باید آماده شوند. برای ورق های ضخیم برای رسیدن به ریشه جوش و نفوذ کامل و همچنین جلوگیری از اعوجاج پخ مناسب آن ایجاد خواهد شد.



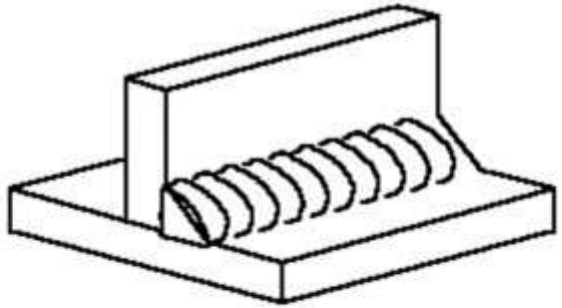
طرح اتصال جوشکاری و نوع جوشکاری



طرح اتصال جوشکاری و نوع جوشکاری



The butt weld



The fillet weld

Figure 1 The two basic types of weld

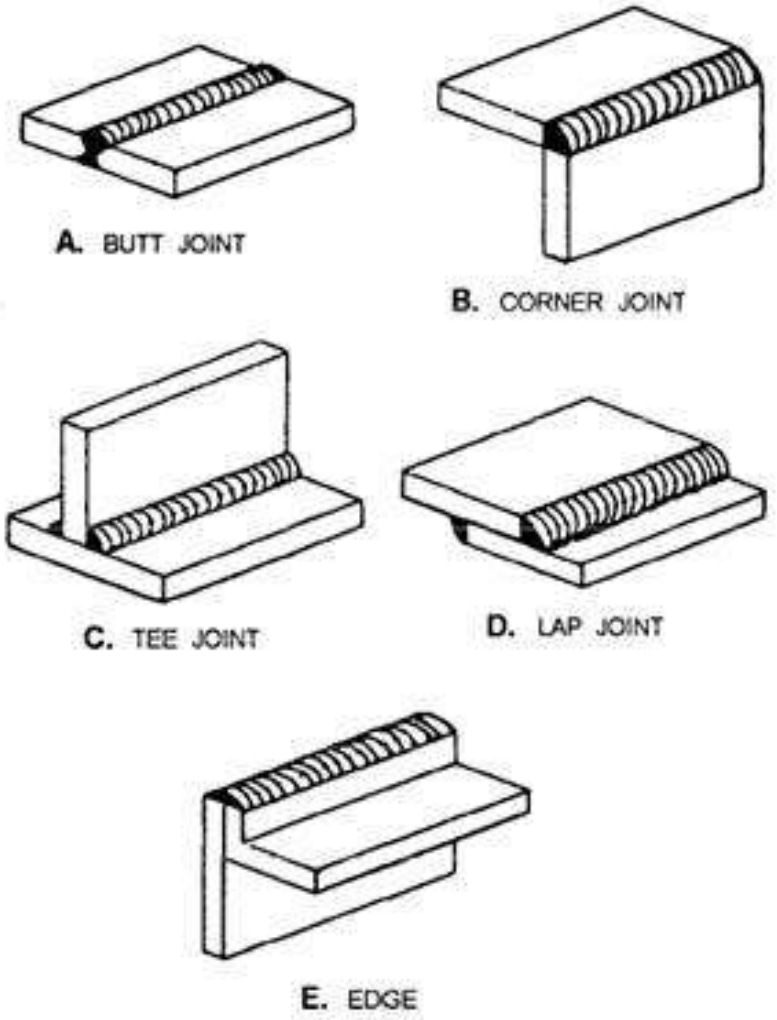


Figure 3-6.—Basic weld joints.

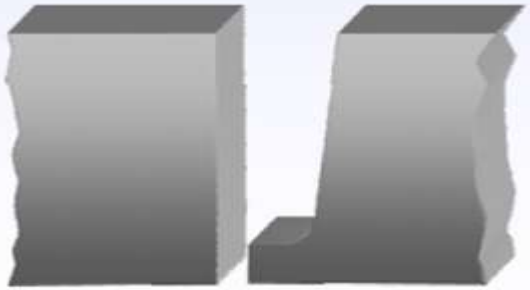
طرح اتصال جوشکاری و نوع جوشکاری

Single sided Butt Preparations

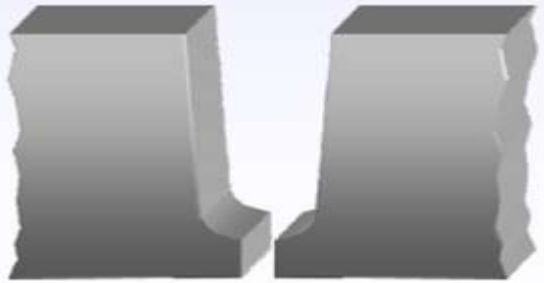
Single sided preparations are normally made on thinner materials, or when access form both sides is restricted

Single Bevel

Single Vee

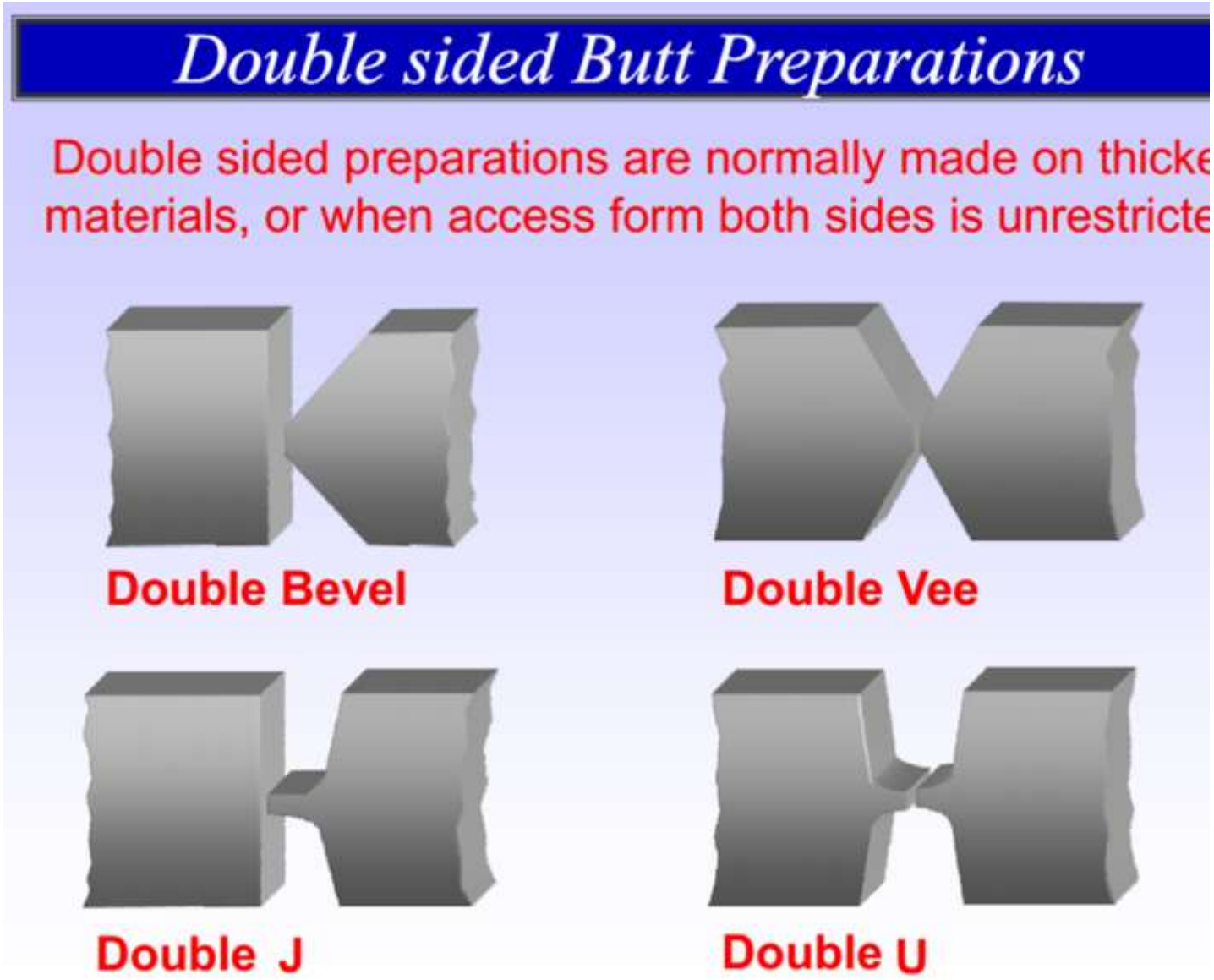


Single J

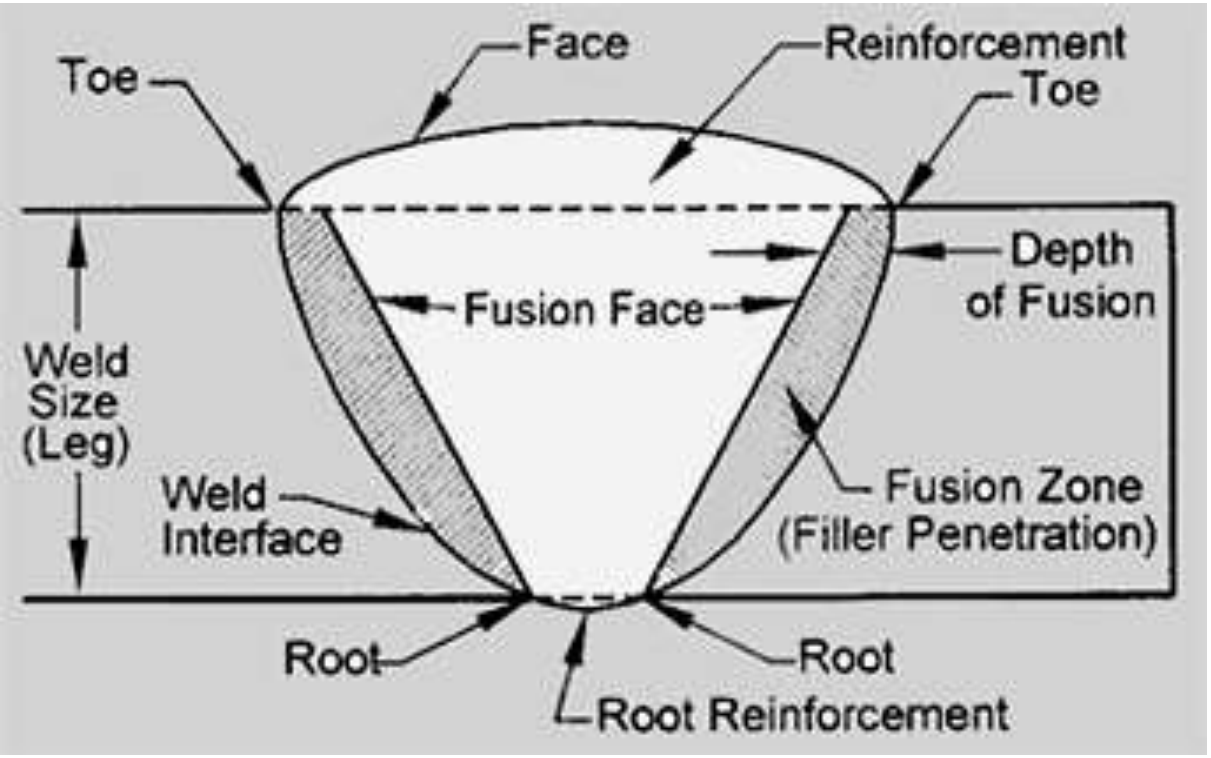


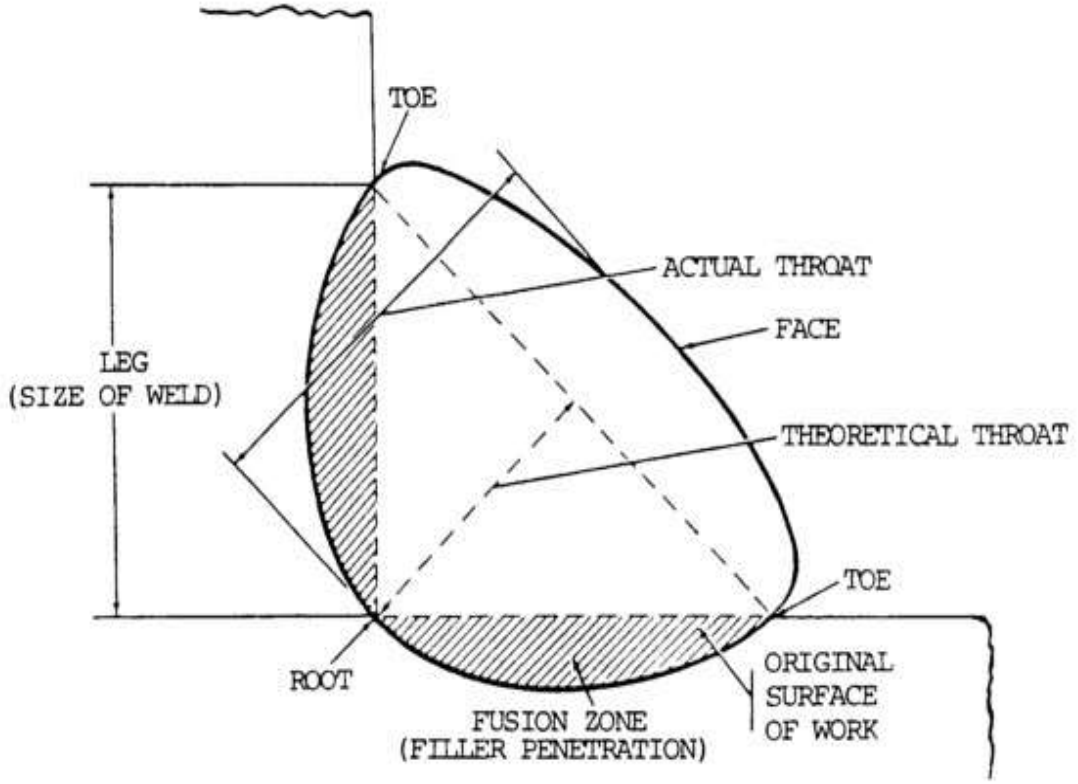
Single U

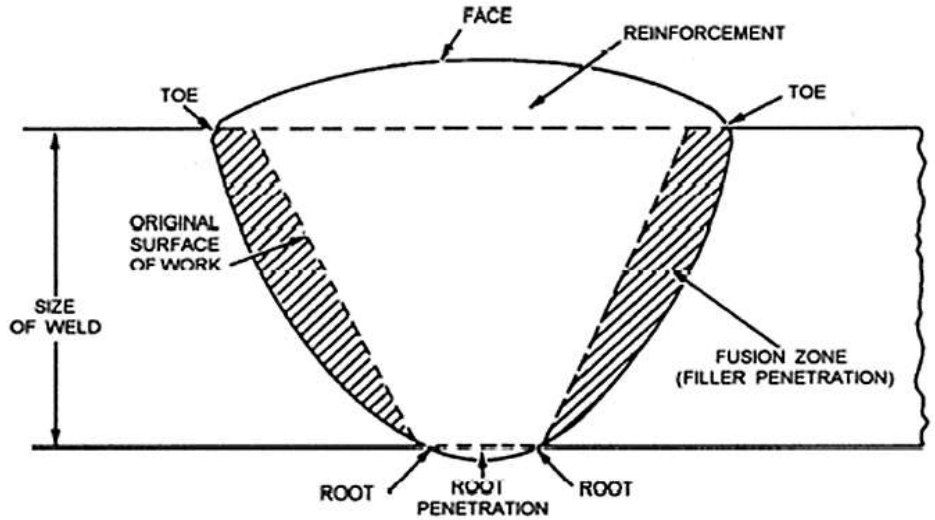
طرح اتصال جوشکاری و نوع جوشکاری



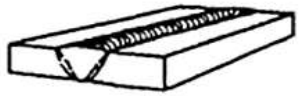
طرح اتصال جوشکاری و نوع جوشکاری

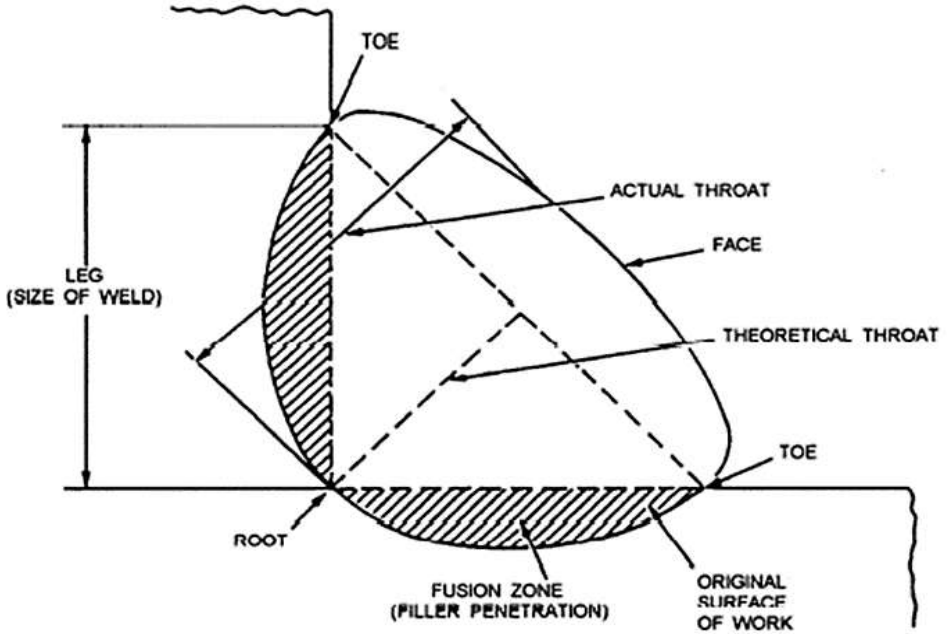






A. GROOVE WELD

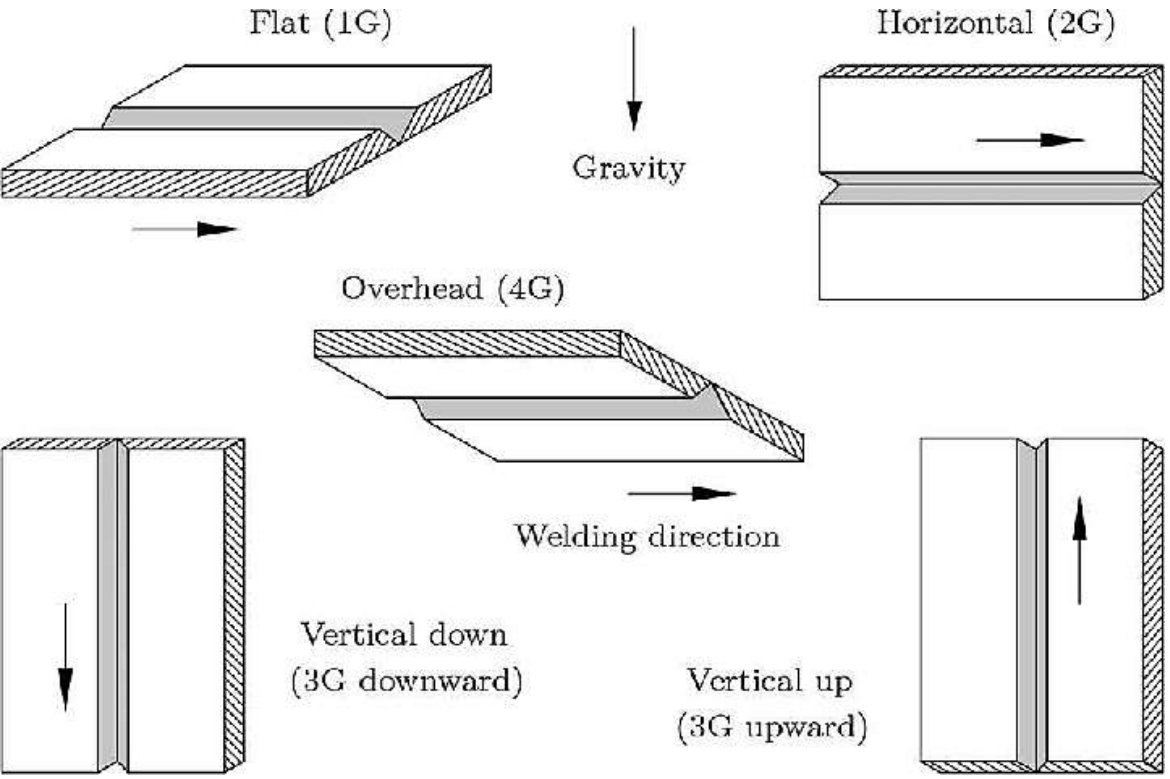




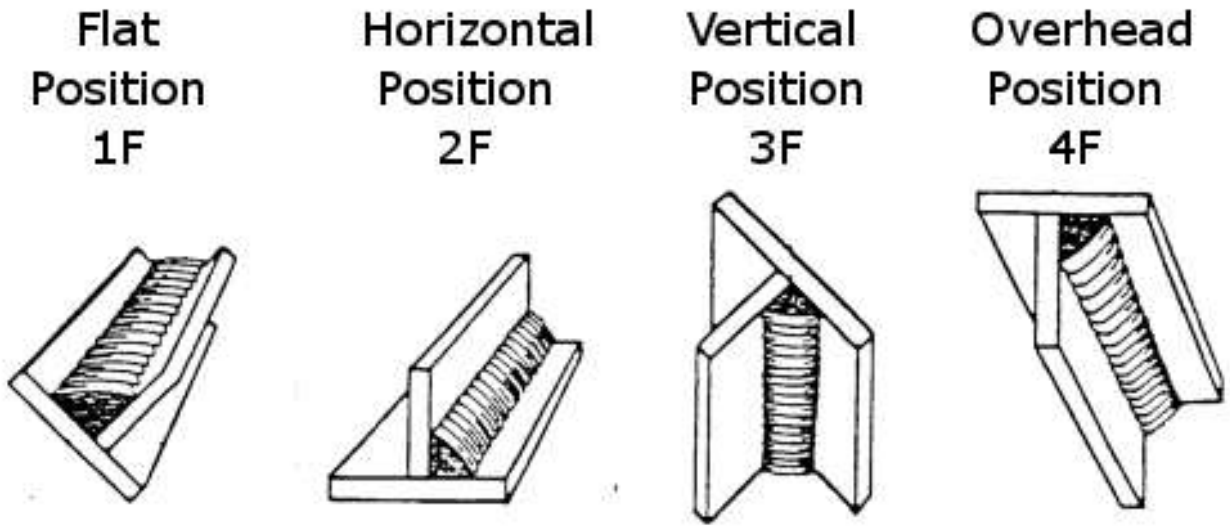
B. FILLET WELD

حالت های جوشکاری

Butt Welds



Fillet Welds



مناطق مختلف جوش بعد از متالوگرافی

Butt Welds

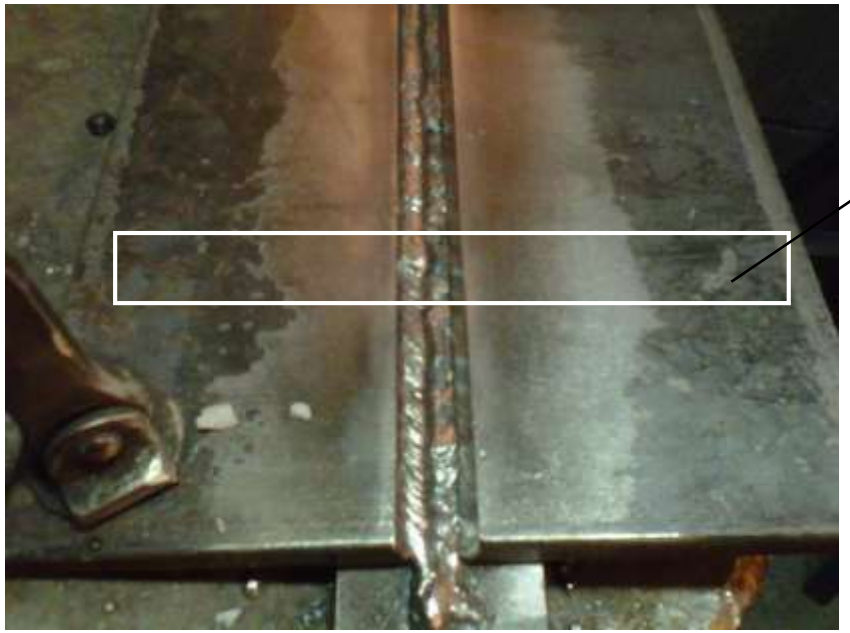
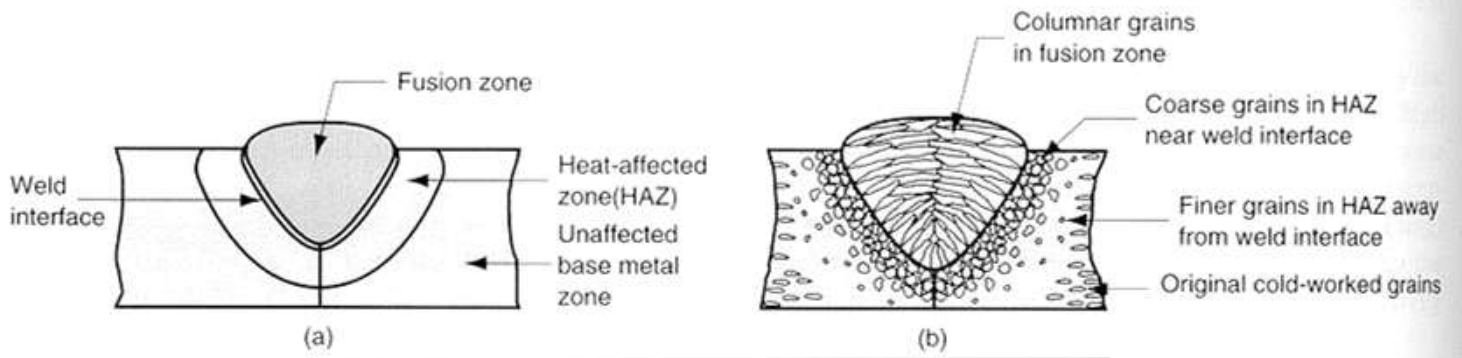
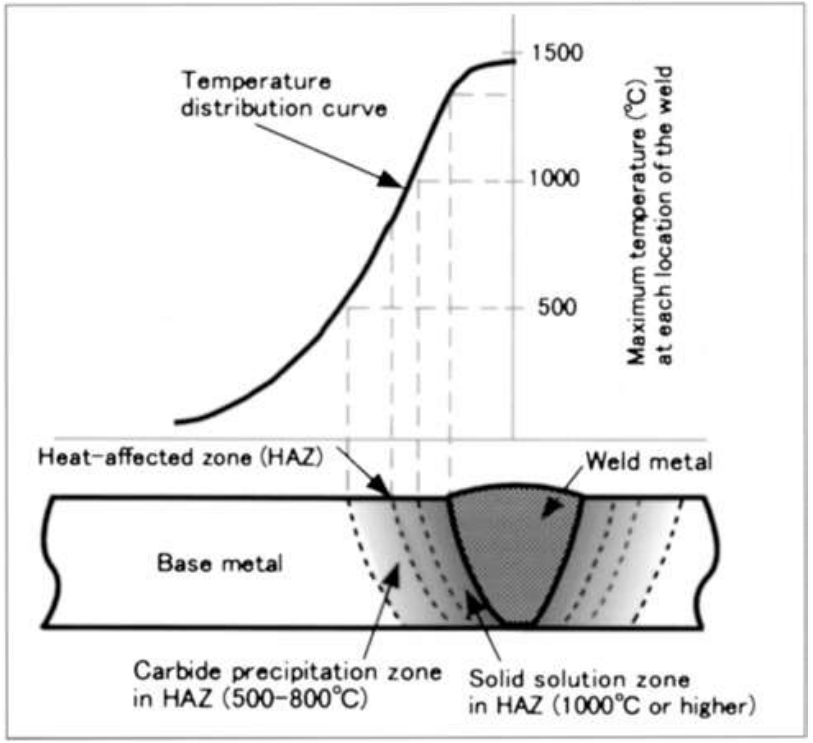
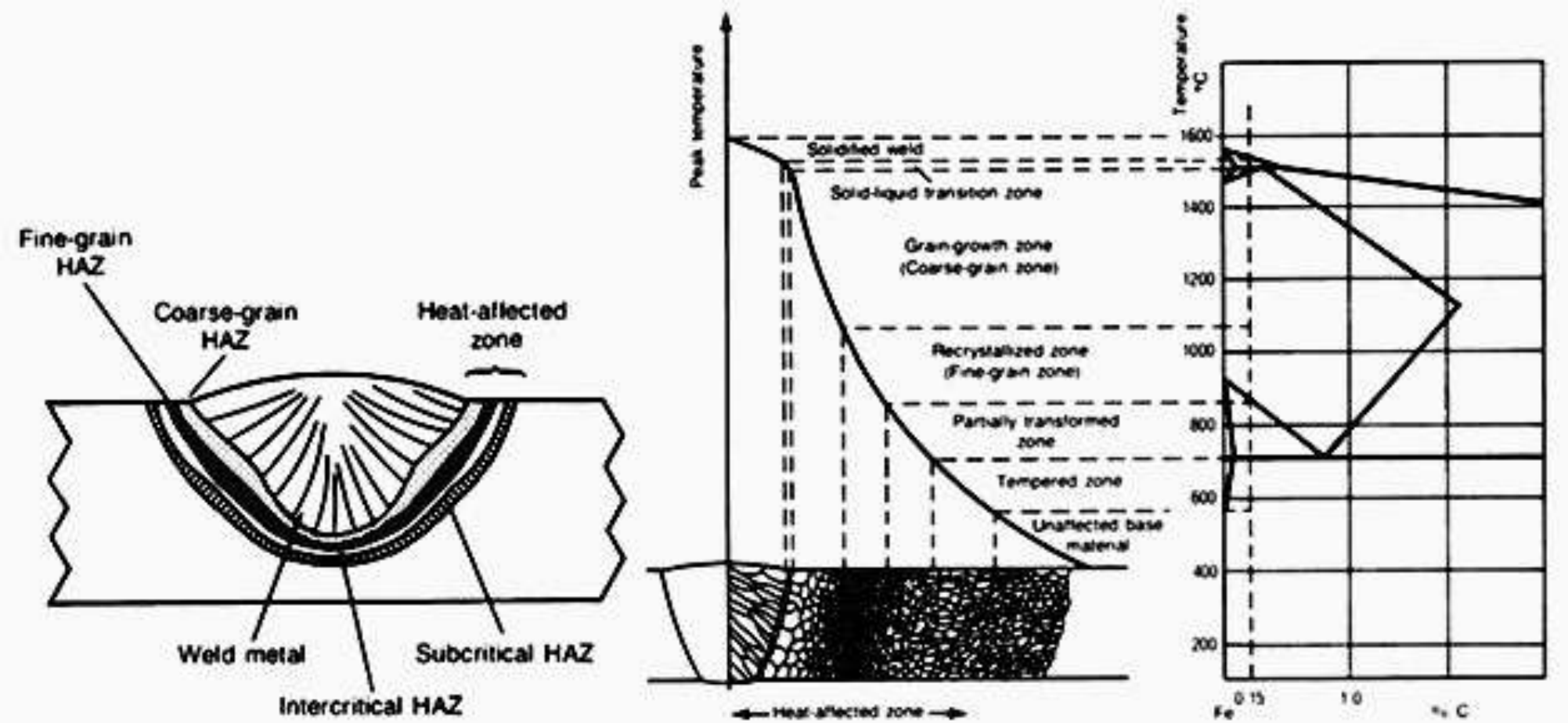


FIGURE 28.8 Cross section of a typical fusion welded joint: (a) principal zones in the joint and (b) typical grain structure.





مناطق مختلف جوش بعد از متالوگرافی



Solidified weld structure and different HAZ regions of a single pass weld in steel with 0.15 % C

ایمنی در کارگاه جوشکاری

ابزار جوشکاری و ایمنی در کارگاه جوشکاری

ابزار جوشکاری مطابق شکل زیر می باشد.

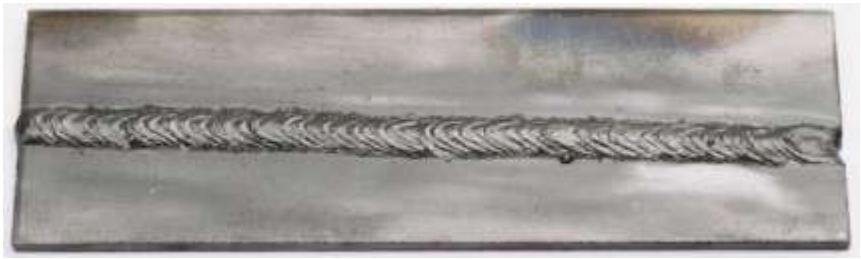
- حتما موقع جوشکاری از سلامت کابلهای جوشکاری و سیم اتصال به قطعه کار اطمینان حاصل فرمایید.
- موقع جوشکاری حتما از ماسک جوشکاری اسفاده کنید.
- قطعه جوش داده شده را حتما با انبر جابجا کنید. حتی با دستکش هم اینکار را نکنید. فراموش نکنید که دمای قطعه کار تا ۶۰۰۰ درجه سانتیگراد رسیده است.
- حتما موقع جدا کردن گل جوش از عینک محافظ استفاده کنید.
- حتما به همراه خود روپوش کارگاه داشته باشید. کفش مناسب کارگاه استفاده کنید.

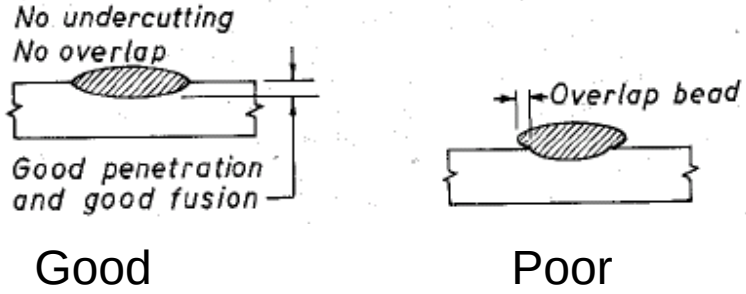
مراحل عملی در کارگاه جوشکاری

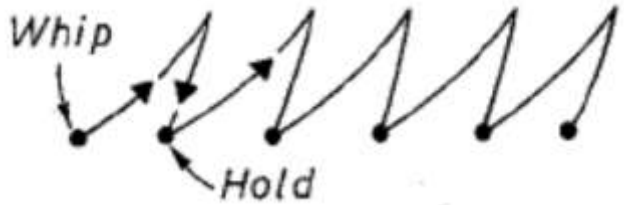
جلسه تمرین خط جوش با جوشکاری SMAW

اهداف این جلسه :

- ۱- ایجاد قوس به روش های گفته شده (روش خراشی یا کبریتی و روش ضربه ای)
- ۲- ایجاد یک خط جوش صاف و ایده آل و کنترل طول قوس بر روی ورق فولادی با سرعت دست مناسب و حرکت آهسته
- ۳- ایجاد یک خط جوش صاف و ایده آل و کنترل طول قوس بر روی ورق فولادی با سرعت دست مناسب و حرکت نوسانی یا زیگزاگی
- ۴- تمرین خط جوش های بیشتر بر روی ورق فولادی
- ۵- در نهایت ۲ خط جوش تمیز و ایده آل بر روی ورق فولادی برای نمره این جلسه اجرا خواهد شد.
- حتما به همراه خود روپوش کارگاه داشته باشید. کفش مناسب کارگاه استفاده کنید.







جلسه تمرین اتصال سر به سر دو ورق فولادی با جوشکاری SMAW

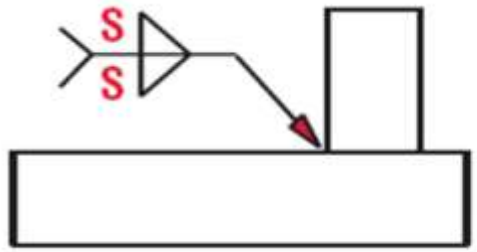
اهداف این جلسه :

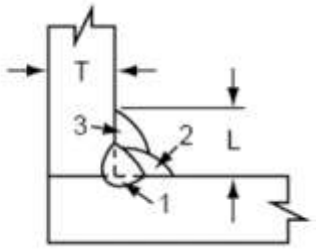
- ارائه مهارت یادگرفته شده درجلسه قبل برای کنترل طول قوس و کنترل سرعت دست
- اتصال دو ورق فولادی
- ابتدا دو سر ورق ها را به کمک خال جوش فیکس می کنیم.
- سپس با یک پاس درز اتصال را پر میکنیم. سرباره جوش را تمیز می کنیم. پس از آن با پاس دوم قسمتی از فلز پایه و پاس اول را جوش می دهیم.
- دوباره سرباره پاس دوم را تمیز میکنیم. در نهایت با پاس سوم به صورت هم پوشانی پاس دوم و فلز پایه دیگر را جوش می دهیم.
- همه مراحل قبل را در درز اتصال پشت ورق تکرار خواهیم کرد.

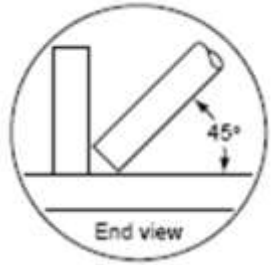
جلسه تمرین اتصال سپری دو ورق فولادی با جوشکاری SMAW

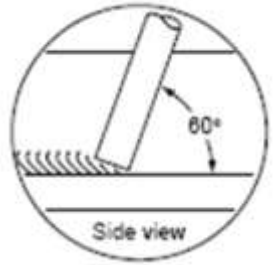
اهداف این جلسه :

- ارائه مهارت یادگرفته شده درجلسه قبل برای کنترل طول قوس و کنترل سرعت دست
- اتصال دو ورق فولادی
- ابتدا دو سر ورق ها را به کمک خال جوش فیکس می کنیم.
- سپس با یک پاس درز اتصال را پر میکنیم. سرباره جوش را تمیز می کنیم.
- پس از آن با پاس دوم قسمتی از فلز پایه و پاس اول را جوش می دهیم.
- دوباره سرباره پاس دوم را تمیز میکنیم. در نهایت با پاس سوم به صورت هم پوشانی پاس دوم و فلز پایه دیگر را جوش می دهیم.
- همه مراحل قبل را در درز اتصال سمت دیگر را تکرار خواهیم کرد.







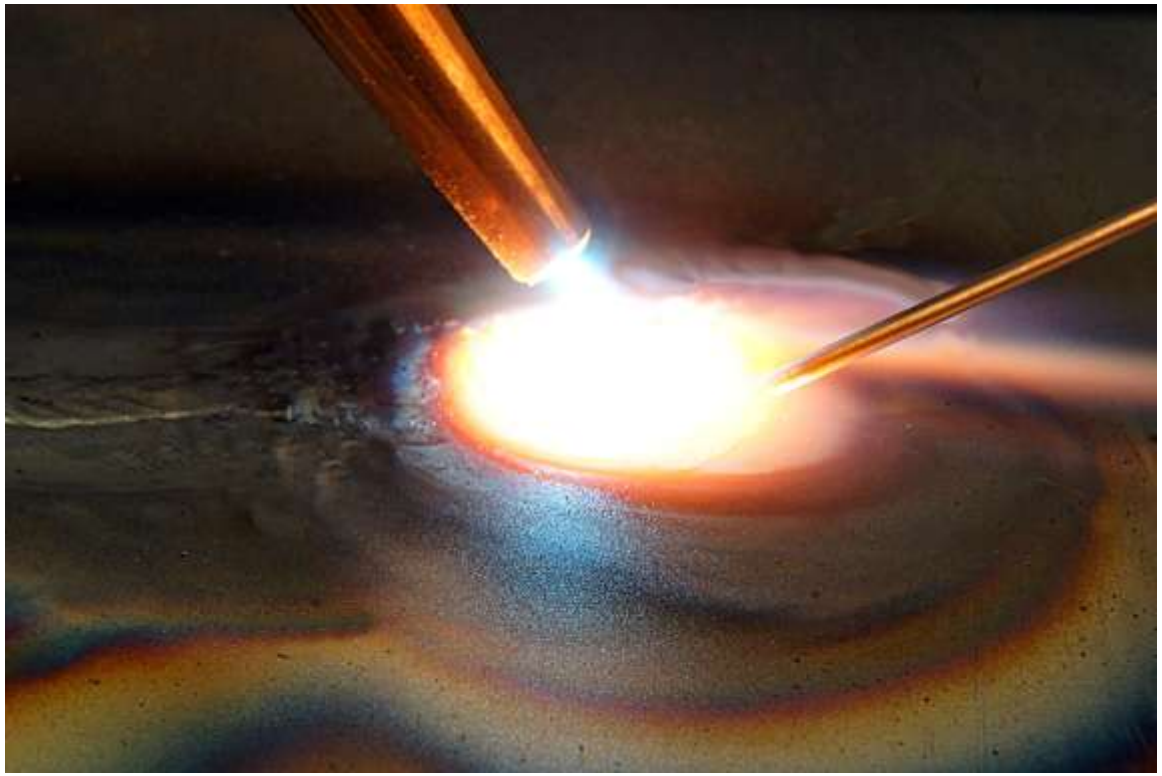


جوشکاری اکسی استیلن
(جوشکاری شعله)

Oxyfuel Welding (OFW)

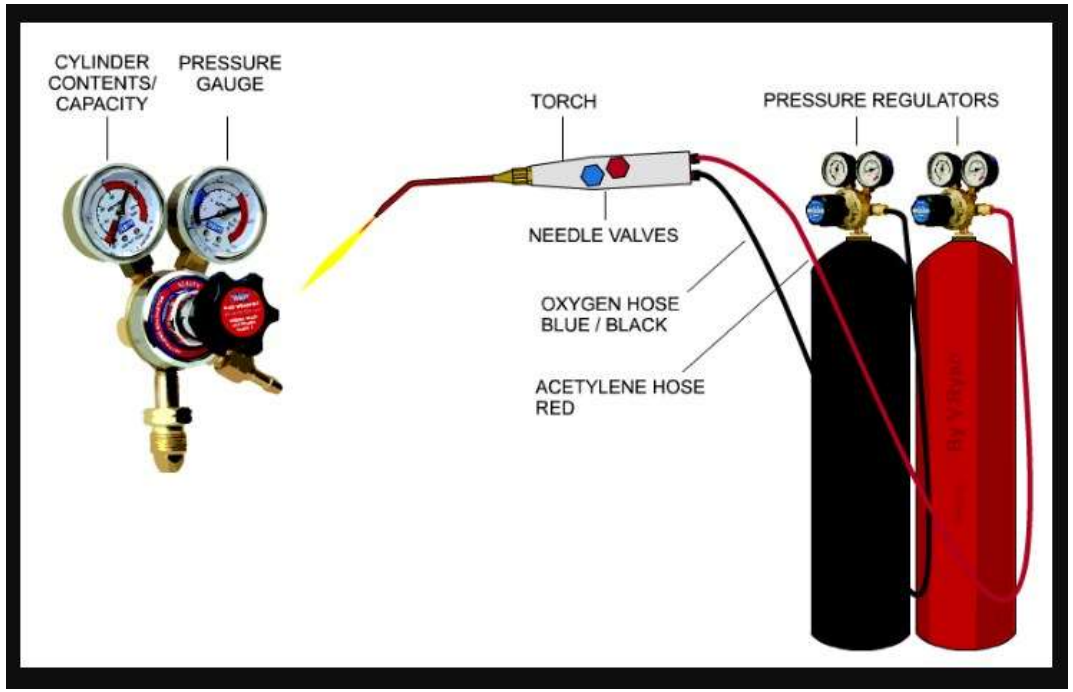
جوشکاری شعله:

- این فرایند جوشکاری جزو خانواده جوشکاری ذوبی با منبع شیمیای است. نام دیگر این روش **جوشکاری اکسی استیلن** است. این روش در صنعت با **جوشکاری گاز** شناخته می شود.



اصول اولیه:

- **ابزار مورد نیاز** :
- برای این جوشکاری به یک سری ابزاراصلی نیاز است که در ادامه لیست می شود.
- ۱- منبع تولید انرژی (کپسول اکسی استیلن)، ۲- کپسول اکسیژن، ۳- شیلنگ انتقال گاز، ۳- تورچ جوشکاری، ۴- رگولاتورهای کاهنده فشار، ۵- فندک مخصوص، ۵- فلز پرککنده (فیلر)
- ابزار فرعی : ۱- میز کار، ۲- عینک جوشکاری، ۳- انبر قطعه گیر، ۴- دستکش و پیشبند چرمی نسوز



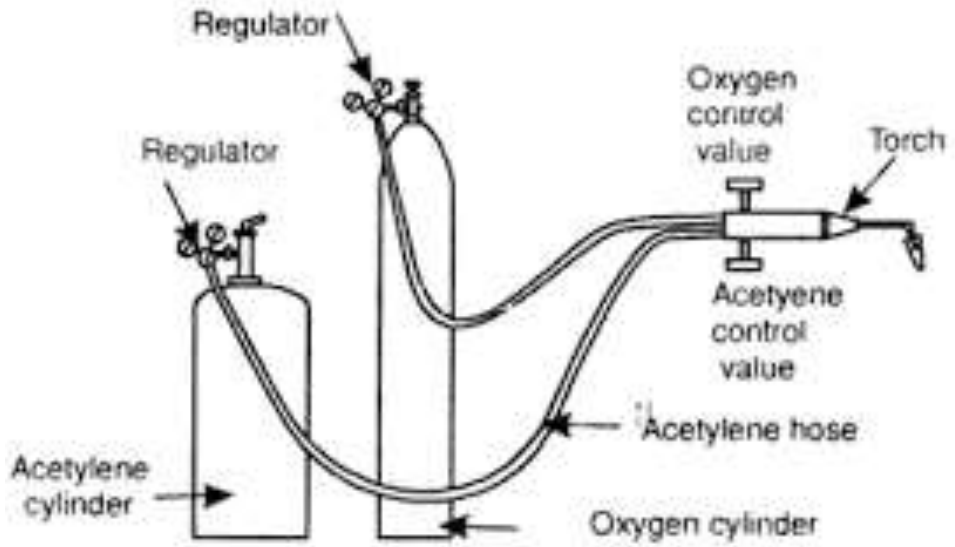


Fig. 7.3. Oxy-acetylene welding equipment.

اصول اولیه:

گاز استیلن

گاز استیلن به علت داشتن شرایط بالا به طور نسبی، برای جوشکاری گاز مورد استفاده قرار می گیرد .گاز استیلن گازی بدون رنگ، بدون طعم و بد بو است. بوی بد گاز استیلن به علت وجود ناخالصی هایی همچون سولفور است. برای ذخیره کردن گاز استیلن، آن را با مایع استون حل و به صورت فشرده در کپسول ذخیره سازی می کنند. حرارت ناشی از سوختن این گاز در حدود ۲۳۰۰ درجه سانتی گراد است.

تهیه گاز استیلن

گاز استیلن بر اثر واکنش شیمیایی آب با کاربید کلسیم تولید می شود. سنگ کاربید نسبت به آب و رطوبت واکنش نشان می دهد و تولید گاز استیلن می کند و آهک مرده بر جای می گذارد. در شکل زیر دستگاه تهیه گاز استیلن را مشاهده می کنید.

از آن جا که سنگ کاربید تجاری با ناخالصی هایی همراه است، لذا ضریب بهره آن نسبت به گاز استیلن خالص کمتر بوده و چیزی در حدود % ۷۰ است. تولید گاز استیلن از سنگ کاربید و آب، یک واکنش شیمیایی گرماز است

- ✓ نکته : در مولد استیلن برای هر کیلو سنگ کاربید حدود ۱۰ لیتر آب لازم است .این مقدار آب علاوه بر تولید گاز استیلن، برای خنک کردن سیستم نیز به کار می رود.

اصول اولیه:

مولد یا ژنراتور استیلن

مولد استیلن دستگاهی است برای ذخیره سازی گاز تولید شده از واکنش آب با سنگ کاربید مولدها بر اساس نوع رساندن آب به سنگ کاربید به سه دسته سقوطی، ریزشی و تماسی دسته بندی می شوند .گاز استیلن در فشار بیش از bar ۲ قابلیت انفجار دارد، بنابراین یک مولد استیلن باید حتماً دارای سوپاپ اطمینان باشد (شکل مقابل) تا فشار اضافه را به موقع از مخزن مولد تخلیه کند.

اصول اولیه:

۱- رگولاتورهای کاهنده فشار

۲- مشعل جوشکاری

۳- سر مشعل ها

اصول اولیه:

۴- شیلنگ ها و سرشیلنگ ها

۵- فندک

اساس منبع حرارت جوشکاری شعله:

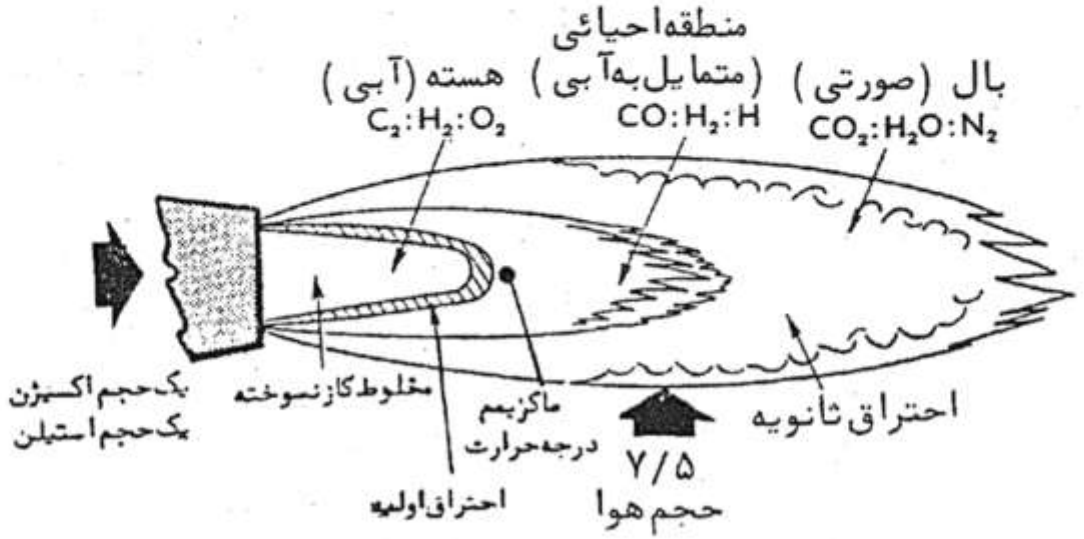
- گرمای لازم برای اتصال قطعات به یکدیگر از طریق واکنش اکسی استیلن و اکسیژن تامین می شود.
- . دمای شعله اکسی استیلن حد ۳۲۰۰ درجه سانتیگراد است.
- این دمای بالا باعث تشکیل حوضچه مذاب جوش شده و با دور کردن تورچ از قطعه کار و در نتیجه قطع منبع حرارت جوشکاری تکمیل خواهد شد

نوع گاز	ارزش حرارتی kJ/m^3	دمای سوختن با اکسیژن خالص
استیلن (C_2H_2)	۵۶۹۰۰	۳۲۰۰° C - ۳۱۰۰
پروپان (C_3H_8)	۹۲۹۹۰	۲۵۳۰° C
بوتان	۱۲۲۸۰۰	۱۹۰۰° C
گاز طبیعی	۱۸۰۰۰	۲۵۴۰° C

$$2C_2H_2+5O_2 \rightarrow 4CO_2+2H_2O$$

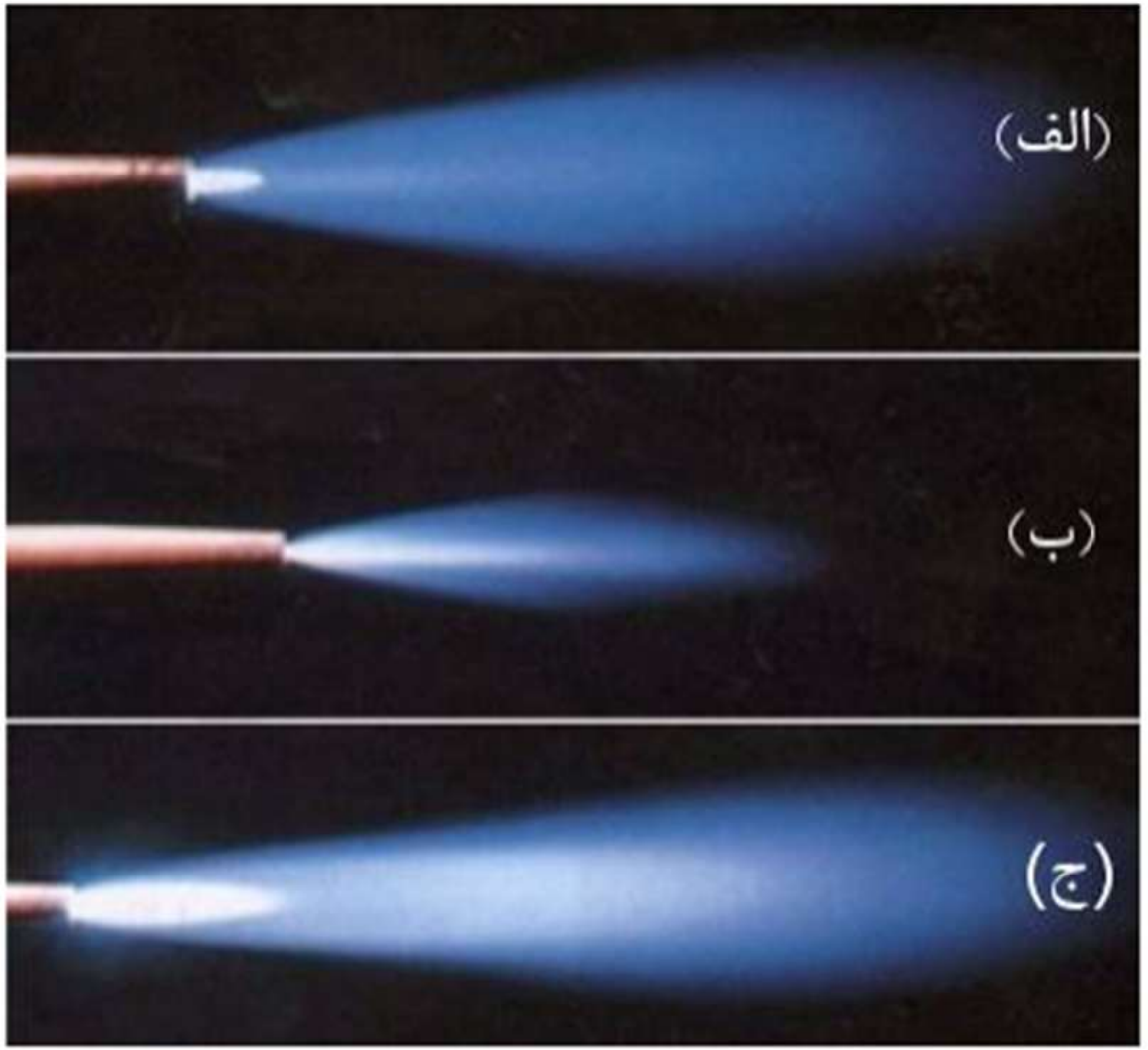
واکنش فوق در دو مرحله انجام می گیرد. در مرحله اول حجم مساوی اکسیژن و استیلن در ریشه شعله مطابق با واکنش زیر می سوزد:

$$2C_2H_2+2O_2 \rightarrow 4CO+2H_2$$



شکل ۵-۶- مناطق احتراق در شعله

انواع شعله جوشکاری گاز:



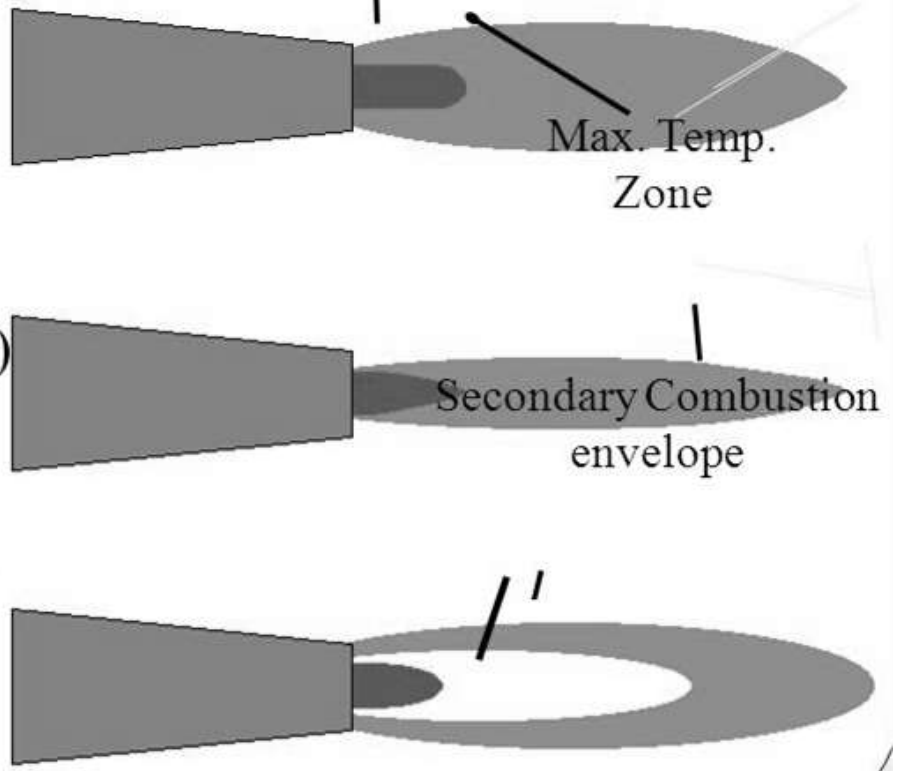
شکل۵. تصویر شعله‌های مختلف اکسی استیلن. (الف) شعله خنثی، (ب) شعله اکسیدی و (ج) شعله احیایی.

The Oxy-acetylene welding Flame

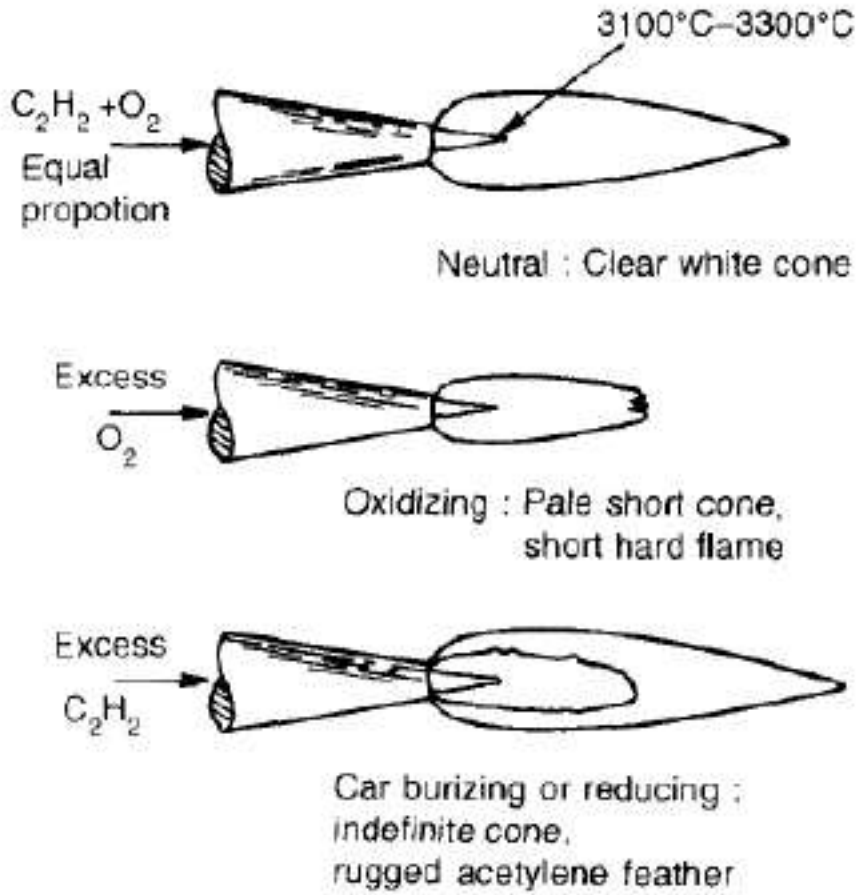
Reducing or Carburizing
Excess acetylene (0.9:1)
(Alloy steels and
aluminium alloys)

Oxidizing
Excess oxygen (1.5:1)
(Brasses, Bronzes, copper)

Neutral
Equal acetylene & oxygen
(low carbon steel, mild
steels).



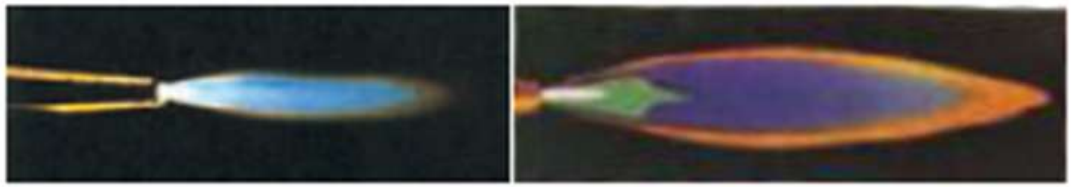
Flame Atmosphere: O_2/C_2H_2 Ratio



انواع شعله جوشکاری گاز:

شعله احیاکننده

با روشن کردن مشعل توسط گاز استیلن، شیر گاز اکسیژن را به تدریج باز می کنیم تا شعله ایجاد گردد. درصورتی که میزان گاز استیلن نسبت به گاز اکسیژن بیشتر باشد، شعله احیاکننده است. در این حالت شعله از سه قسمت کاملاً جداگانه تشکیل شده است. این سه قسمت شامل مخروط داخلی، مخروط میانی و مخروط بیرونی است.



شعله احیا کننده دارای استیلن اضافی بوده و جوشکاری با آن باعث افزایش کربن در فلز جوش خواهد شد. به علت سوختن ناقص شعله احیا کننده، بازدهی حرارتی آن کم بوده و برای جوشکاری فولادهای معمولی مناسب نیست. از موارد کاربرد این شعله می توان به جوشکاری چدن، فلزات زودگداز، لحیم سخت یا (نقره جوش) و همچنین گرم کردن قطعات اشاره کرد.

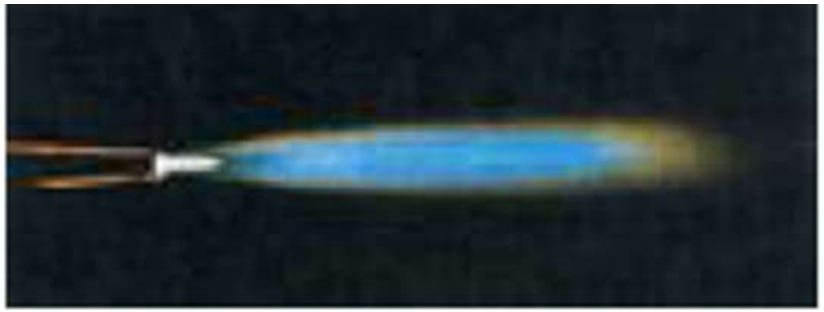
شعله خنثی

شعله خنثی از سوختن کامل گاز استیلن ایجاد می شود. برای تشکیل شعله خنثی، شعله ای که در حالت احیا تشکیل شده است را با کم کردن مقدار گاز استیلن یا با افزودن گاز اکسیژن، به وجود می آوریم. در این حالت مخروط میانی و مخروط داخلی بر یکدیگر منطبق شده و شعله دو قسمتی (دومخروطی) خواهد بود. شعله خنثی بالا ترین درجه حرارت را برای ذوب شدن فلز ایجاد می کند.

میزان اکسیژن و استیلن خروجی از مشعل برابر بوده و مابقی اکسیژن لازم برای سوختن گاز از هوا تأمین می شود. نسبت گاز استیلن به گاز اکسیژن برای سوخت کامل ۱ به ۲/۵ است.

گازهای حاصل از سوختن کامل استیلن با اکسیژن، شامل دی اکسیدکربن و بخار آب می شود که هیچ گونه میل ترکیبی با اکسیژن هوا ندارند. به همین دلیل این شعله را خنثی گویند. مهم ترین مزیت چنین شعله ای این است که هیچ گونه تغییراتی در بافت فلزات پایه ایجاد نمی کند، یعنی نه موادی به آن می افزاید و نه موادی از آن می کاهد. همین ویژگی، است که آن را به پر مصر ف ترین نوع شعله تبدیل کرده است.

انواع شعله جوشکاری گاز:



شعله اکسید کننده

درصورتی که میزان اکسیژن خروجی بیشتر از گاز استیلن باشد، شعله اکسیدکننده به وجود می آید. در این حالت با بازکردن شیر گاز اکسیژن، مخروط داخلی کوتاه تر و باریک تر می شود و شعله به رنگ ارغوانی درمی آید. مخروط بیرونی نیز با صدا بوده و به طور ناهمگون می سوزد.

جوشکاری با این شعله با پاشش جرقه همراه بوده و باعث اکسیده شدن اتصال و سطح کار شده و جوش شکننده ای را به وجود می آورد. در هنگام ذوب فلزات با این شعله، کف سفید رنگی برروی سطح فلز ایجاد شده که پس از سرد شدن، سطح آن براق می شود .از این شعله هیچ گاه برای جوش دادن فلزاتی مانند آلومینیم و آلیاژهای آن که نسبت به اکسیژن حساسیت دارند، استفاده نمی شود.

نکات جوشکاری گاز:

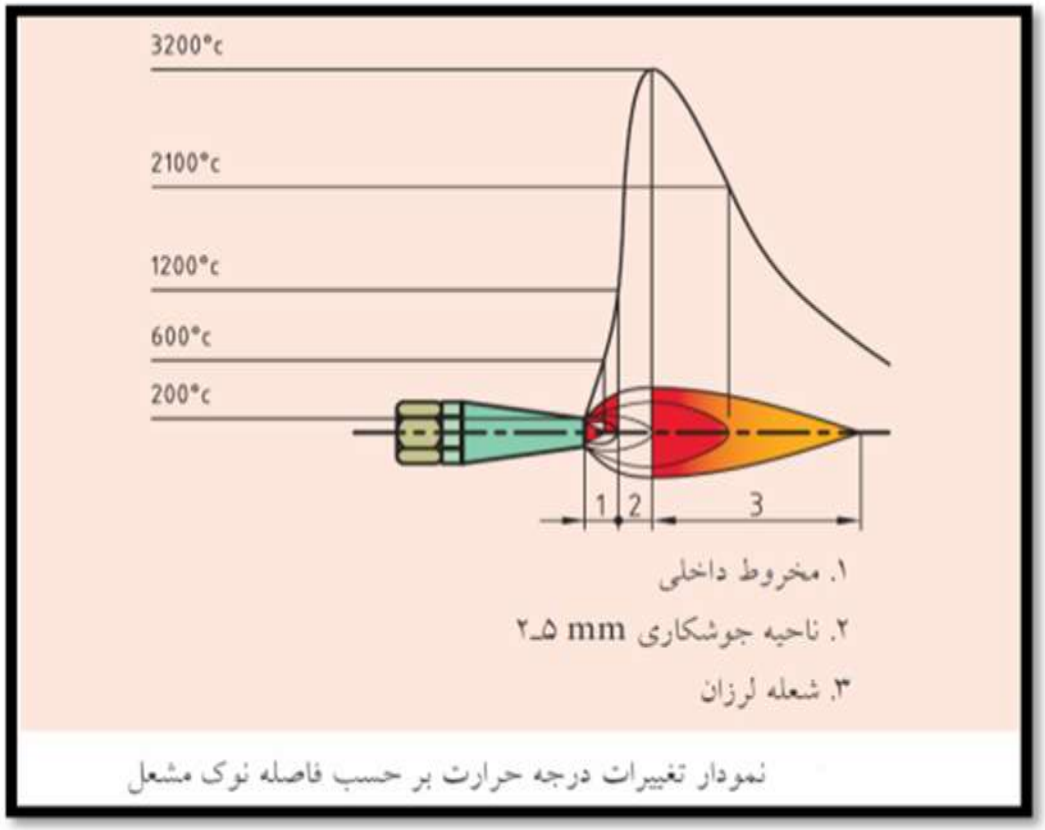
- برای روشن کردن شعله ابتدا گاز اکسی استیلن را باز میکنند و سپس با کم کم باز کردن شیر اکسیژن شعله را تنظیم میکنیم.

برای خاموش کردن شعله ابتدا بایستی شیر سوزنی مربوط به گاز استیلن بسته شود و سپس شیر سوزنی گاز اکسیژن را ببندیم.

این عمل به دلیل جلوگیری سوخته شدن استیلن و تولید دوده است. سپس شیر فلکه کپسول اکسیژن و استیلن را بسته و شیرهای سوزنی مشعل را باز می کنیم تا فشار گاز موجود در شیلنگ ها تخلیه شود. در پایان شیرهای سوزنی مجدداً بسته می شوند.

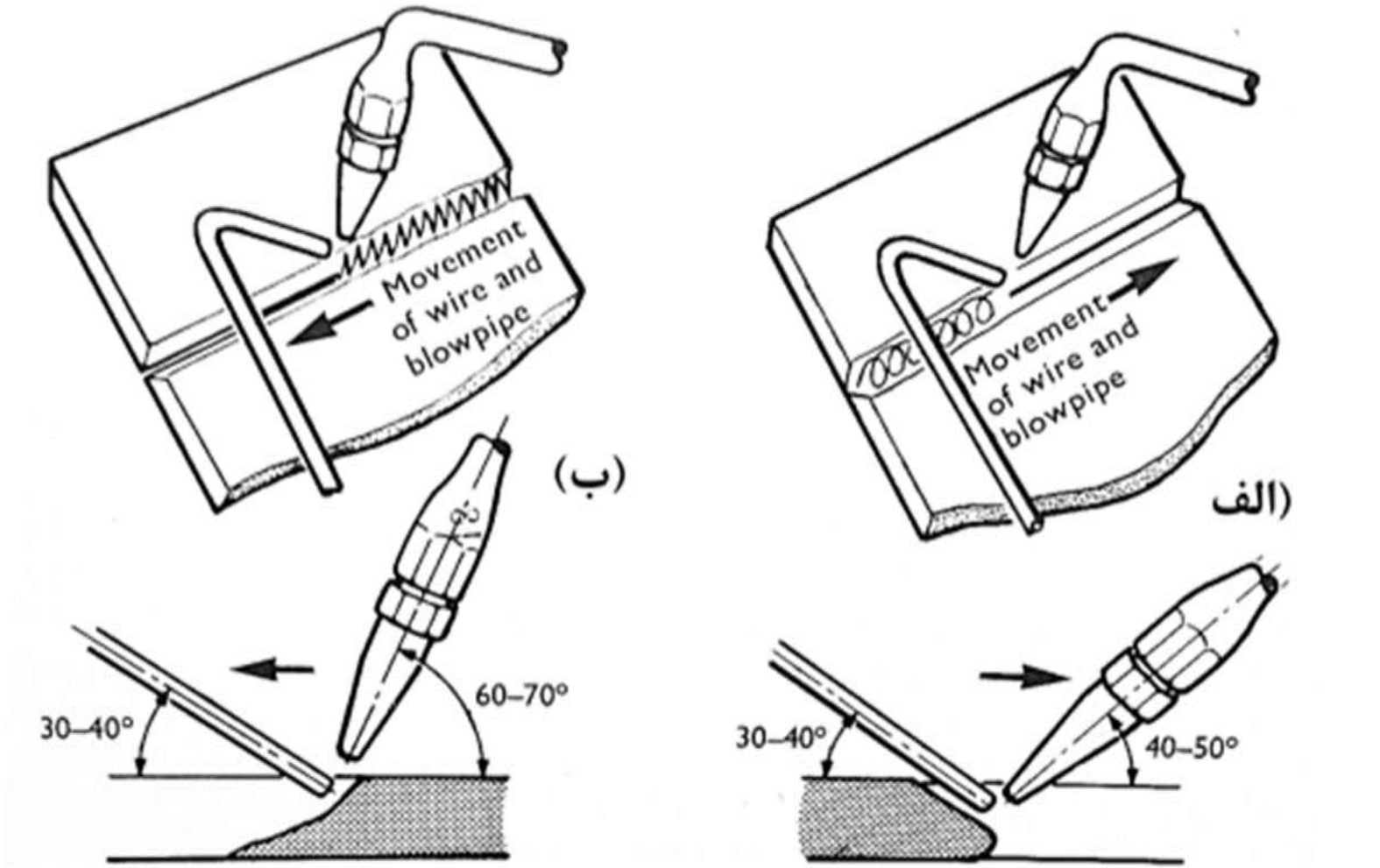
تشکیل حوضچه مذاب به کمک شعله خنثی

تشکیل حوضچه مذاب و هدایت صحیح آن از اصول اولیه جوشکاری گاز است. برای دست یابی به حوضچه مذاب مطلوب بایستی شعله تنظیم بوده و چگونگی حرکت دست جوشکار به صورت درست انجام گیرد. چون بیشترین درجه حرارت تولید شده در شعله خنثی تشکیل می شود، بهترین موقعیت برای جوشکاری و تشکیل حوضچه مذاب در فاصله ۲ تا ۵ میلیمتری نوک مخروط داخلی است، زیرا نقاط دورتر یا نزدیک تر شعله دارای حرارت کم تری بوده و جوشکاری با چنین حرارتی بر حوضچه مذاب و خط جوش تأثیر منفی می گذارد.



نمودار تغییرات درجه حرارت بر حسب فاصله نوک مشعل

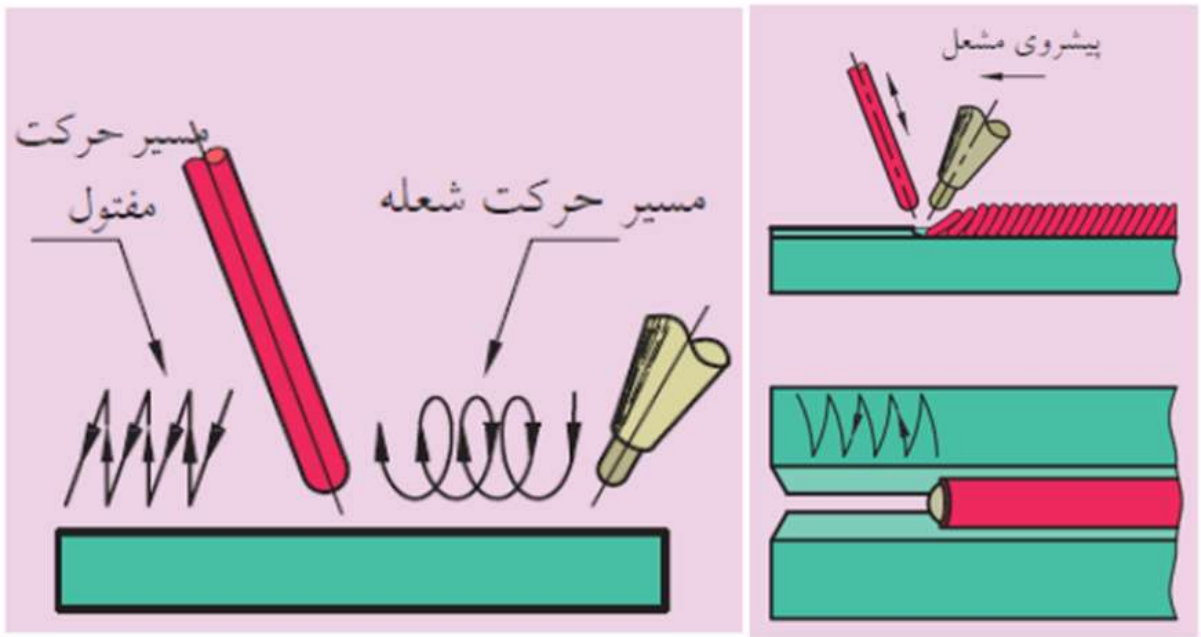
تکنیک های جوشکاری گاز:



شکل۷. تصویر شماتیکی از تکنیک های جوشکاری با گاز. (الف) تکنیک پس‌دستی و (ب) تکنیک پیش‌دستی[۴].

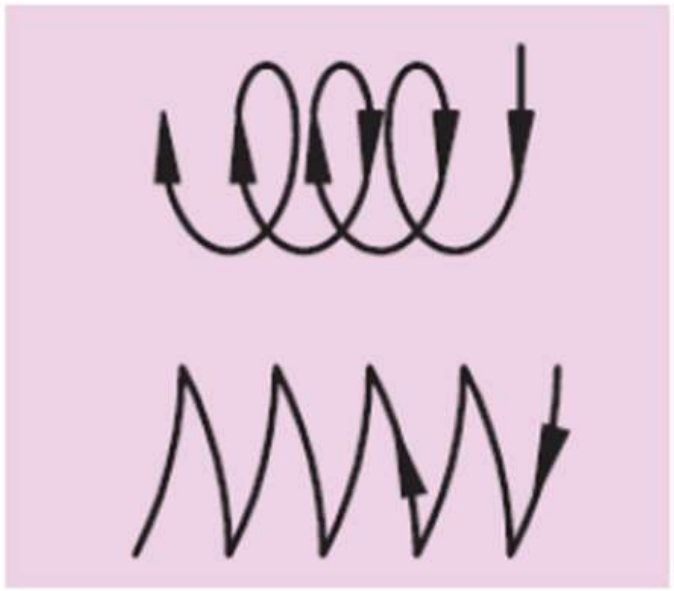
هدایت مشعل و مفتول

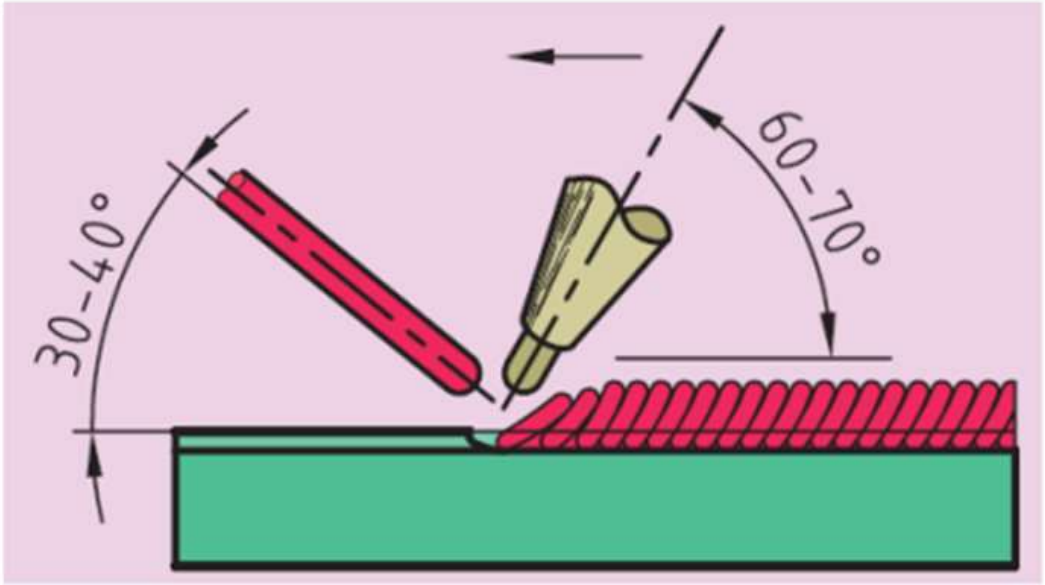
در این روش جوشکاری، با یک دست مشعل را گرفته و آن را کنترل می کنند. و به کمک دست دیگر، مفتول به محل درز جوش هدایت و جوش را تغذیه می کنند. کیفیت جوش و اتصال درزجوش به میزان زیادی به هدایت صحیح مشعل و مفتول وابسته است. پس از تشکیل حوضچه مذاب، مفتول را به طور متناوب به حوضچه نزدیک و دور کرده تا با جلو رفتن خط جوش، فلز پرکننده به آن افزوده شود .توجه داشته باشیدکه همواره مفتول درون حوضچه مذاب فرو برده شود و از گرم کردن حوضچه و مفتول با هم خودداری گردد، چون در این حالت شعله پیش از این که حوضچه مذاب را در فلز پایه به وجود آورد، باعث ذوب شدن یا تبخیر مفتول باریک می شود. درصورتی که به ایجاد گرده جوش پهن تر نیاز باشد، مشعل را در راستای خطی و جانبی حرکت می دهند.



۱- هدایت مشعل به روش پیش دستی

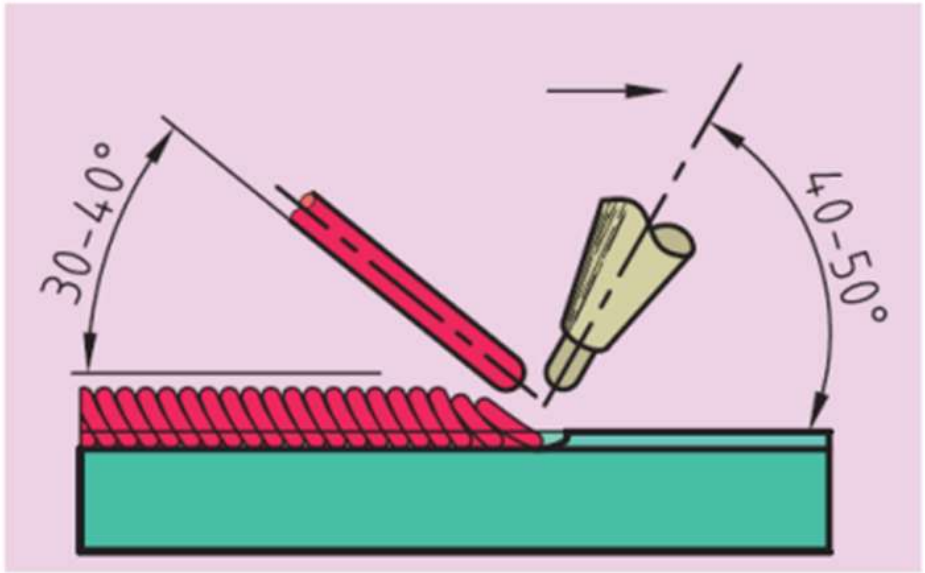
در روش پیش دستی یا هدایت مشعل به سمت چپ (چپ جوش) نوک مشعل باید متوجه امتداد ایجاد خط جوش باشد. با این روش می توان فلز پایه را پیش گرم کنیم تا در هنگام پیشروی خط جوش، حوضچه مذاب به آسانی تشکیل شود. معمولاً قطعات تا ضخامت ۳ میلیمتر را با این روش جوشکاری می کنند .برای ضخامت های کم تر از ۱/۵ میلیمتر حرکت مشعل به صورت خطی بوده و برای ضخامت های ۱/۵ تا ۳ میلیمتر مشعل دارای حرکات نوسانی نیز هست.





۲- هدایت مشعل به روش پس دستی

در این روش هدایت مشعل از سمت چپ به راست صورت گرفته و جهت نوک مشعل به طرف درز تازه جوشکاری شده است .در این حالت از نفوذ اکسیژن هوا به منطقه جوش جلوگیری می شود و به دلیل آهسته و یکنواخت سرد شدن و عدم نفوذ اکسیژن، درزجوش از استحکام خوبی برخوردار است و شکننده نخواهد شد. در این روش فلز پایه پیش گرم نمی شود، که این موضوع یکی از معایب روش پس دستی محسوب می گردد. این روش برای جوشکاری ورق هایی با ضخامت ۳ میلیمتر استفاده می شود و به دلیل مشاهده حوضچه مذاب می توان آن را به طور یکنواخت گرم کرد .در این نوع جوشکاری تمام ضخامت قطعه کار در اتصال شرکت دارد و جوش از استحکام کافی برخوردار است .برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد حوضچه مذاب، مفتول را به اندازه ۳ /۱ ضخامت قطعه کار پایین تر آورده و در سطح حوضچه مذاب به آن حرکت دورانی توأم با پیشروی می دهیم.



به تأخیر افتادن شعله

این حالت زمانی اتفاق می افتد که صدایی شبیه انفجار در حوضچه مذاب اتفاق می افتد که همراه با پاشش مذاب است. دلیل به تأخیر افتادن شعله عبارتند از:

۱- نگه داشتن بیش از اندازه مشعل در یک نقطه از کار و افزایش گرمای
۲- حوضچه مذاب
۳- تماس سربک با قطعه کار است.
۴- گرم شدن بیش از اندازه سربک
۵- وجود آلودگی و مسدود شدن سوراخ سربک
۶- جوشکاری با سربک نامناسب
۷- کاهش فشار یکی از گازها در مشعل

پس زدن شعله

اگر شعله روشن وارد مشعل جوشکاری شود، این حالت را پس زدن شعله گویند.در این شرایط شعله با صدای زیر و هیس مانندی می سوزد که باید فوراً شعله را خاموش و مجدداً تنظیم کرد. دلایل پس زدن شعله عبارت اند از :

۱- خراب بودن شیرهای سوزنی
۲- مسدود شدن سربک
۳- نامتناسب بودن فشار گازهای اکسیژن و استیلن

درصورتیکه فشار یکی از گازها بیش از حد باشد، شعله با صدا توأم می شود. عیوب جوشکاری با این شعله عبارت اند از:

۱- ترشح فلز مذاب در کناره های حوضچه
۲- کیفیت پایین سطح جوش و گرده جوش
۳- نفوذ ناقص جوش
۴- غیر یکنواختی موج های گرده جوش

نکات ایمنی جوشکاری گاز:

✓ **نکات ایمنی در جوشکاری با گاز**

۱- هیچگاه با دست آغشته به روغن به کپسول ها دست نزنید.

✓ تذکر: در هنگام بستن رگلاتور اکسیژن به کپسول اکسیژن، هیچگاه محل واشر و رزوه های رگلاتور را چرب نکنید، که باعث انفجار می شود.

۲- هرگز برای تشخیص نشتی از شعله استفاده نکنید.

۳- کپسول های استیلن را در مقابل ضربه، یخ زدن، حرارت دیدن محافظت کنید.

۴- برای برداشتن قطعه جوشکاری شده و یا سیم جوش از دستکش یا انبر استفاده کنید.

۵- از گرفتن شعله روی کپسول ها جدا خودداری کنید.

۶- برای روشن کردن مشعل از فندک و یا چراغ جوشکاری استفاده کنید، برای این منظور هرگز از کبریت استفاده نکنید.

۷- هرگز بدون عینک مخصوص جوشکاری نکنید.

۸- در موقع جوشکاری حتما از لباس کار یقه بسته استفاده نموده و حتی الامکان از پیش بند چرمی، کلاه، محافظ و دستکش چرمی استفاده کنید.

۹- در صورت مشاهده نشتی گاز از مشعل یا شیلنگ ها، ابتدا شیر اصلی کپسول ها را بسته و سپس موضوع را به مربی اطلاع دهید.

۱۰- کاغذ، پارچه، چوب، و به طور کلی مواد قابل اشتعال دیگر را از محل جوشکاری دور کنید.

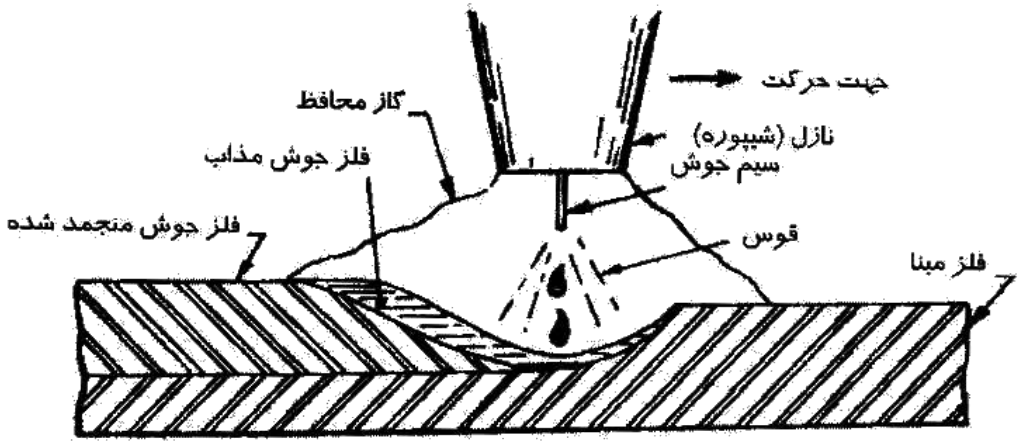
۱۱- کپسول ها باید حداقل سه متر از محل جوش کاری دور باشند.

۱۲- اگر احیاناً شیلنگ استیلن آتش گرفت فورا شیر اصلی را بسته و سپس اقدام به خاموش کردن آتش کنید.

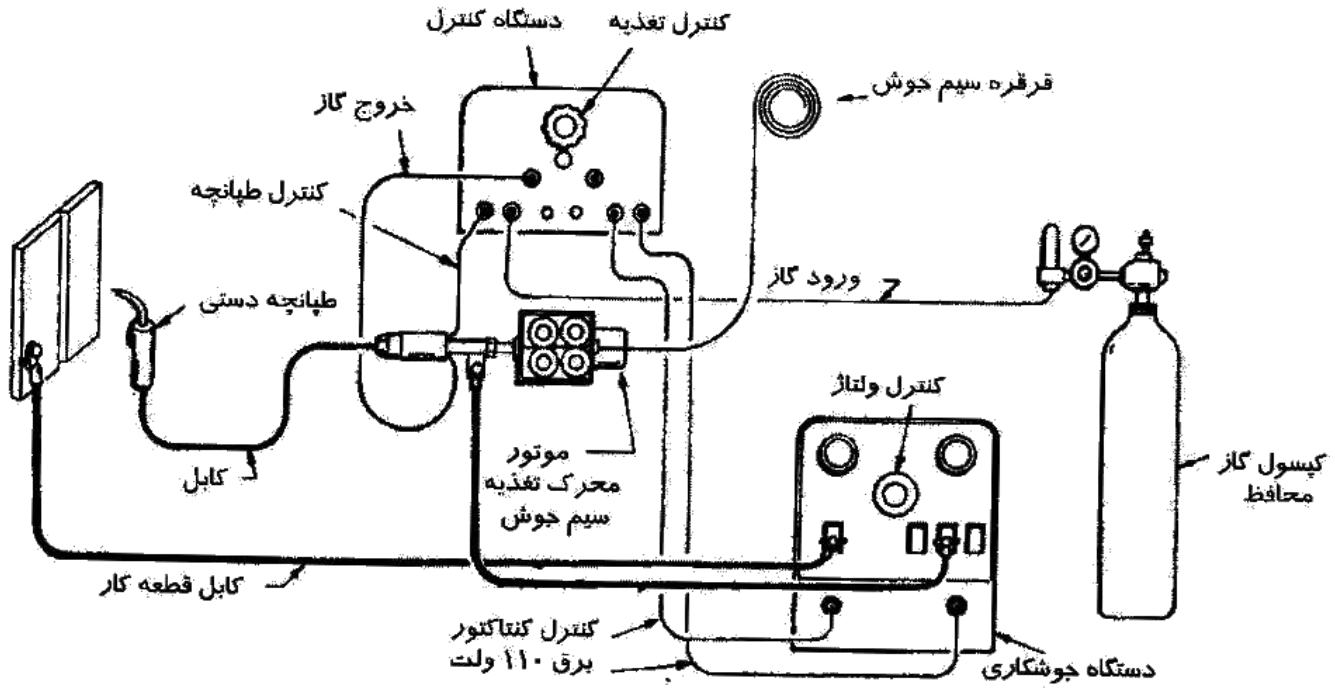
جوشکاری قوس فلزی تحت پوشش گاز محافظ

Gas Metal Arc Welding (GMAW)

- اولین بار در سال ۱۹۲۰ به دنیای صنعتی معرفی شد اما در سال ۱۹۴۸ بصورت تجاری به بازار جوشکاری عرضه شد.
- در ابتدا برای جوشکاری قطعات آلومینیمی تحت پوشش گازهای خنثی هلیم و آرگون با نام MIG بکار گرفته شد و در ادامه با استفاده از گازهای فعال بخصوص دی اکسیدکربن در جوشکاری فولادها با نام MAG معرفی شد.
- نهایتاً توسط انجمن جوشکاری امریکا AWS با نام GMAW معرفی شد.
- در صنعت به جوشکاری CO2 نیز شناخته می شود.
- الکترود این روش به صورت کلافی از مفتول (سیم جوش) است و به صورت مصرفی می باشد.

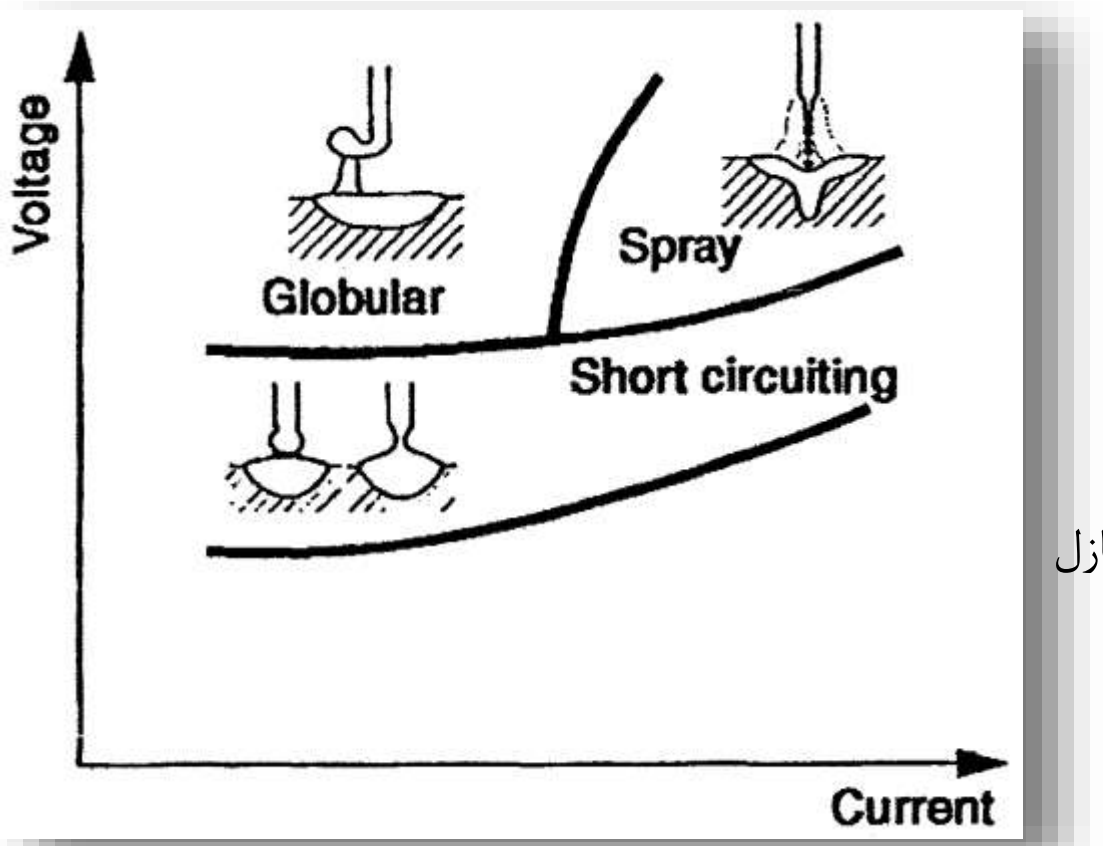


دیاگرام فرایند *(GMAW)*



نمودار *GMAW*

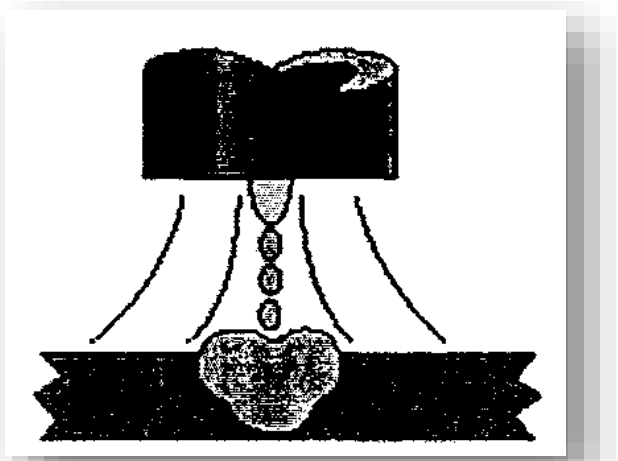
Metal transfer



- عوامل موثر بر نحوه انتقال:
- اندازه و نوع جریان الکتریکی
- قطر سیم جوش
- ترکیب شیمیایی سیم جوش
- مقدار پیش آمدگی سیم جوش از نازل
- نوع گاز محافظ

Metal transfer

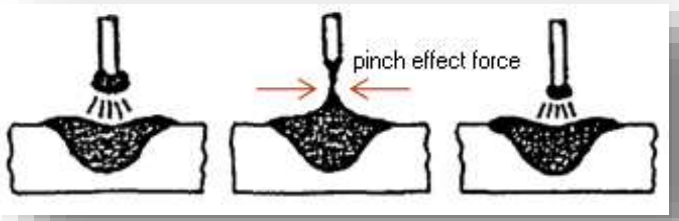
Spray transfer, Free transfer, Spray arc welding

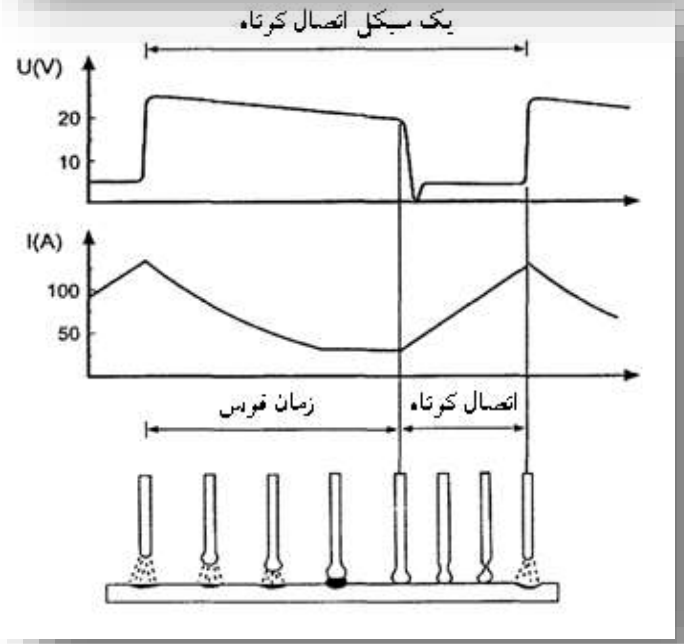


- در صورتیکه آمپراژ و ولتاژ بالا انتخاب شود (حرارت ورودی بالا)؛
- قطرات مذاب با ابعادی کمتر یا مساوی قطر الکترود سمت حوضچه اسپری می شوند؛
- بدلیل انرژی بالا دارای قدرت نفوذ و ذوب بالایی است؛
- نرخ رسوب بالایی دارد؛
- برای جوشکاری قطعات ضخیم مناسب است؛
- فقط برای حالت جوشکاری تخت یا افقی مناسب است؛
- فقط در صورت استفاده از گاز آرگون بدست می آید؛
- پاشش کم و سطح جوش نسبتاً صاف و صیقلی؛
- برای جوشکاری ورق های نازک مناسب نیست.

Metal transfer

Dip transfer, Short circuiting transfer, Short arc welding



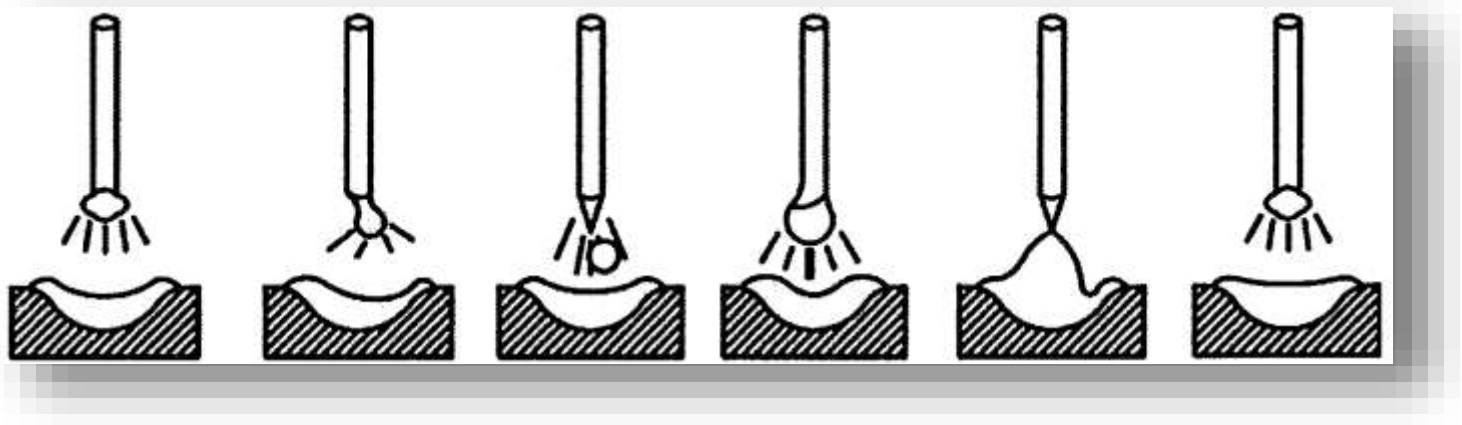


- در جریان و ولتاژهای نسبتاً پایین بوجود می آید.
- انرژی قوس در حدی است که باعث ذوب شدن نوک الکترود و تشکیل قطره ای بزرگتر از قطر الکترود می شود.
- اتصال کوتاه باعث افزایش سریع آمپراژ می شود.
- پاشش و جرقه های نسبتاً زیاد دارد.
- حرارت ورودی پایین به قطعه کار و قدرت نفوذ و ذوب کم دارد.
- قابل اجرا در همه حالات جوشکاری
- مناسب برای جوشکاری ورق های نازک بعلت ایجاد حوضچه جوش کوچک
- بدلیل وقوع اتصال کوتاه، دارای قوس نسبتاً ناپایداری است.
- خاموش و روشن شدن قوس میتواند ۲۰ تا ۲۰۰ بار در ثانیه باشد.
- امکان ایجاد انتقال اتصال کوتاه تقریبا در تمامی گازها امکان پذیر است.

Metal transfer

Globular transfer, Long arc welding

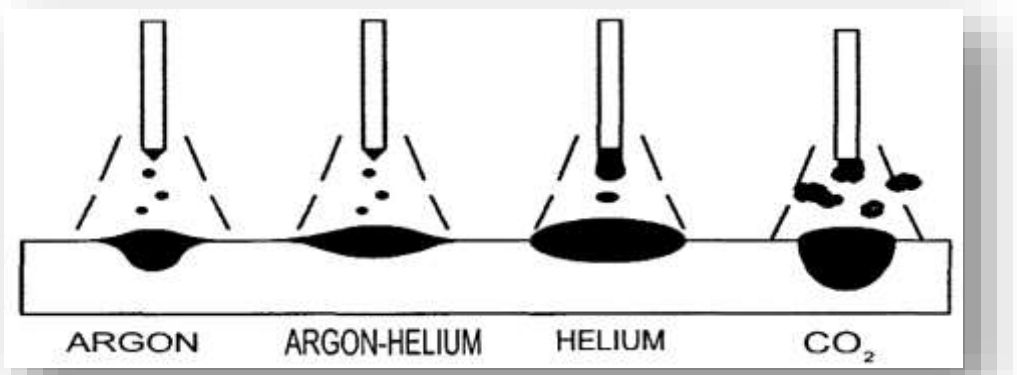
- در آمپراژهای کمتر از انتقال اسپری قطرات و ولتاژهای بیشتر از اتصال کوتاه بدست می آید.
- قطرات مذاب بزرگتر از قطر الکترود و با شکل نامنظم
- سیالیت حوضچه بالا و انتقال ۱۰۰ قطره در ثانیه به آن افزایش جرقه ها را دارد.
- هنگام استفاده از گاز CO_2، اثر پینچ باعث انحراف قطرات مذاب و عدم حرکت آنها در یک محور می شود.
- بدلیل اثرات نفوذ و ذوب نامناسب، استفاده از این روش توصیه نمی شود.



گازهای محافظ

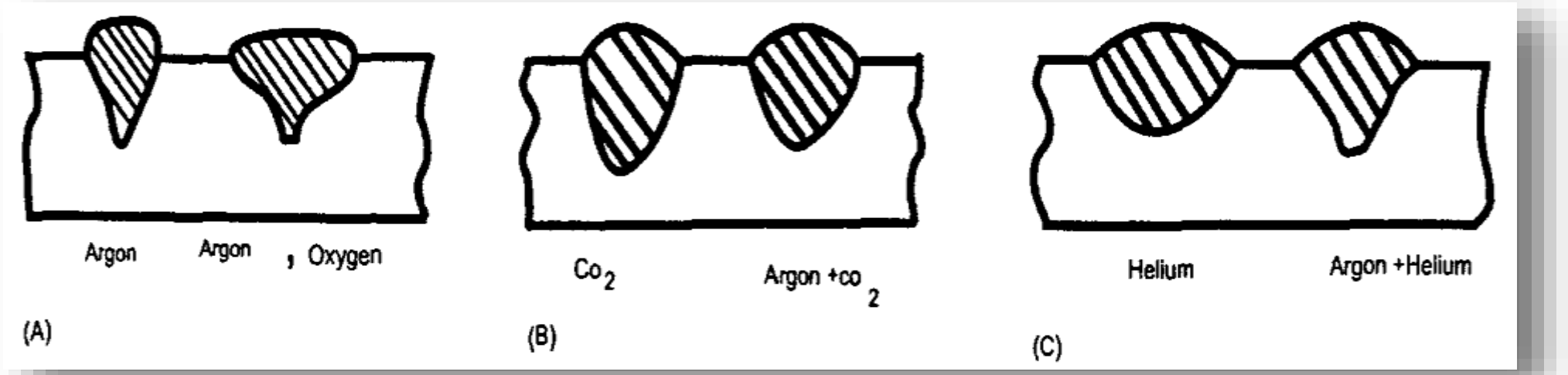
- **گازهای خنثی:** در واکنشهای شیمیایی قوس و حوضچه مذاب جوش شرکت نمی کنند (Ar, He).
- **گازهای فعال:** در واکنشهای شیمیایی قوس و حوضچه مذاب جوش شرکت می کنند (CO_2).

- **آرگون خالص:** در جوشکاری فلزات غیرآهنی مثل Al, Ni, Cu و ... و فلزات فعالی مثل Ti استفاده می شود. قوس پایدار، نفوذ بالا، انرژی یونیزاسیون پایین، شروع قوس آسانتر، انتقال مذاب در حالت اسپری و شکل هندسی مناسب از مزایای استفاده از این گاز است.
- **دی اکسیدکربن:** گازی فعال که به آسانی در دسترس و ارزان است. مناسب برای جوشکاری فولادهای کربنی و کم آلیاژ است. انتقال مذاب بصورت اتصال کوتاه و قطره ای انجام داده و لذا در مقایسه با Ar راندمان رسوب کمتر و پاشش بیشتری دارد. بدلیل انرژی یونیزاسیون بالاتر نفوذ بیشتری می دهد.
- **هلیم:** بدلیل هدایت حرارتی بالا، عملیات ترکنندگی، عمق ذوب و سرعت جوشکاری بالاتری دارد. مناسب برای جوشکاری فلزاتی مثل Al و Cu است.



گازهای محافظ

- **آرگون – اکسیژن:** افزودن مقادیری اکسیژن از ۱ تا ۸٪ باعث بهبود پایداری قوس و سرعت بالای حرکت مذاب بدلیل افزایش سیالیت می شود.
- **آرگون – دی اکسیدکربن:** اثرات مشابه افزودن اکسیژن دارد. مناسب برای جوشکاری فولادهای کربنی، در مقادیر بیشتر از ۲۰٪ انتقال از حالت اسپری خارج می شود.
- **آرگون – هلیم:** مناسب برای جوشکاری مواد غیرآهنی با ضخامتهای بالای ۵۰ میلیمتر، افزودن هلیم باعث افزایش حرارت ورودی، ولتاژ قوس و جرقه های جوشکاری، نسبت عرض به عمق جوش و سرعت جوشکاری می شود.



GMAW

Advantages

- امکان ایجاد جوش های پیوسته بدون نقاط شروع و توقف
- سرعت جوشکاری بالا
- نرخ رسوب بالا
- پایین بودن هزینه ها بخاطر کمتر بودن اتلاف سیم جوش، عدم لزوم سرباره پاک کنی، نداشتن اتلاف وقت جوشکار بخاطر تعویض الکترود در مقایسه جوشکاری با الکترود دستی
- حداقل دود و دم
- نسبت به فرآیند جوشکاری با الکترود دستی، نفوذ عمیق تر بدست می آید.
- برای جوشکاری تمام فولادهای مورد استفاده در ساختمان کاربرد دارد.

Disadvantages

- هزینه ماشین آلات ،گاز محافظ و تعمیر و نگهداری بالاست.
- بخاطر اندازه طپانچه ممکن است دسترسی به اتصال برای جوشکاری محدود شود.
- گاز محافظ به وزش باد حساس است.
- طول قوس محدودیت دارد.
- تجهیزات این فرآیند بخوبی تجهیزات جوشکاری با الکترود دستی سیار نیست.
- سریع سرد شدن جوش به علت عدم وجود سرباره

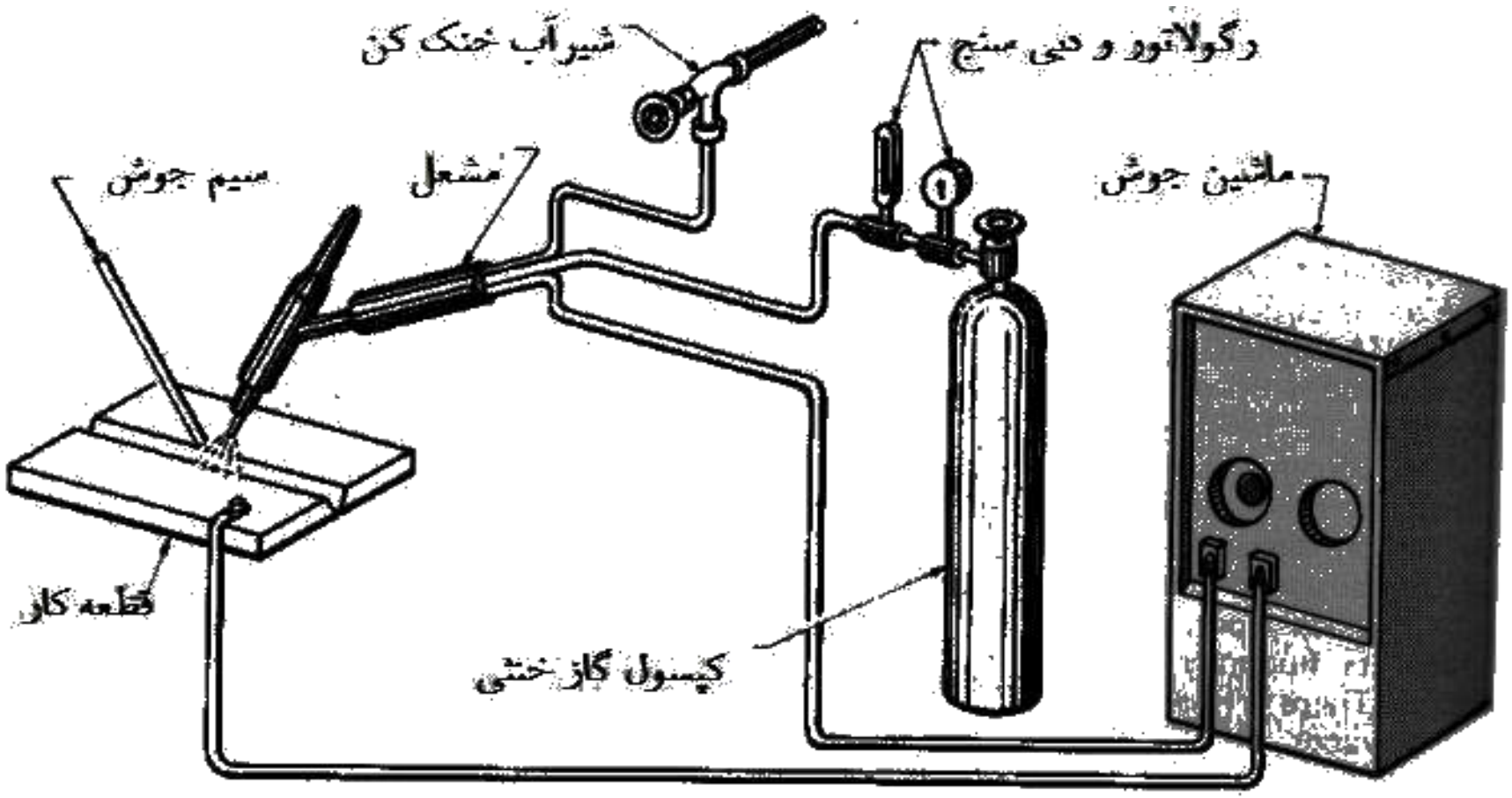
جوشکاري قوسي تنگستن تحت پوشش گاز محافظ

Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)

- **تاریخچه:**

بعد از جنگ جهانی دوم و با توجه به نیاز صنایع هواپیماسازی به جوشکاری Al و Mg، با کاربرد الکترودهای تنگستنی و قطبیت DCEN و در دسترس بودن گاز هلیم این تکنیک با نام TIG و سپس GTAW معرفی شد. در صنعت به جوش آرگون نیز شناخته می شود.

TIG or GTAW

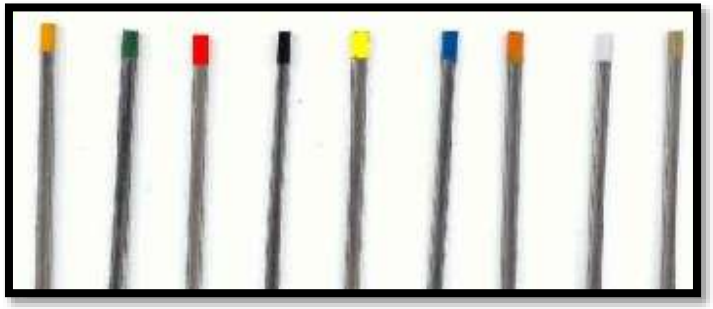

شیر آب خنک کن
رگولاتور و دبی سنج
سیم جوش
مشعل
ماشین جوش
قطعه کار
کپسول گاز خنثی

Electrodes

- الکترودهای مورد استفاده از نوع غیرمصرفی و با خصوصیات زیر می باشند:

A. دارای نقطه ذوب بالا
B. هدایت حرارتی مناسب
C. مقاومت الکتریکی پایین
D. مقاوم به حفظ ظاهر نوک الکترود

Electrodes



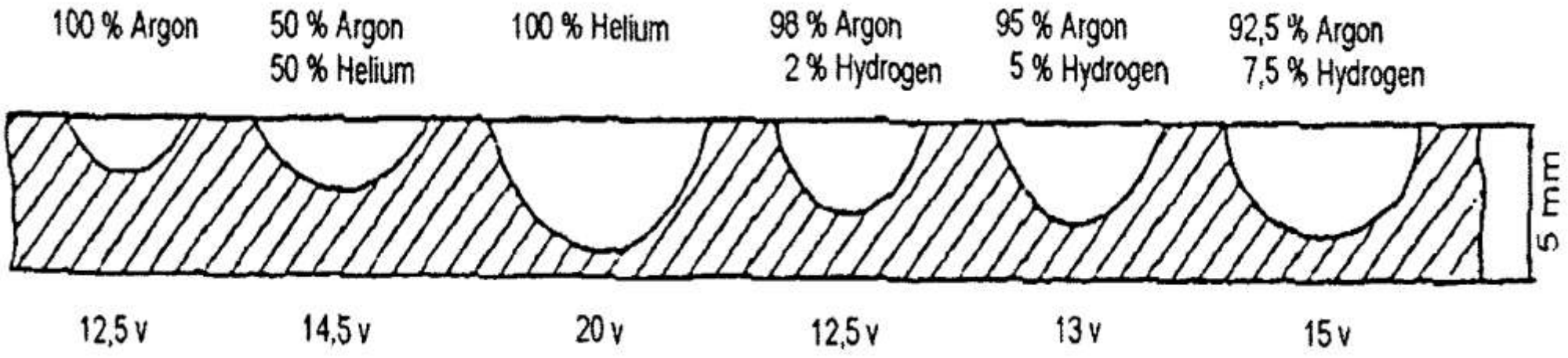
کدهای آلیاژی انواع الکترودهای تنگستنی				
طبقه بندی AWS	رنگ	اجزای آلیاژی	اکسید آلیاژی	وزن اسمی اکسید
EWP	سبز	–	–	–
EWCe-2	نارنجی	سریم	CeO_2	2
EWLa-1	مشکی	لانتانیم	La_2O_3	1
EWTh-1	زرد	توریم	ThO_2	1
EWTh-2	قرمز	توریم	ThO_2	2
EWZr-1	قهوه ای	زیرکونیم	ZrO_2	0/25
EWG	خاکستری	نامشخص	-	

Electrodes

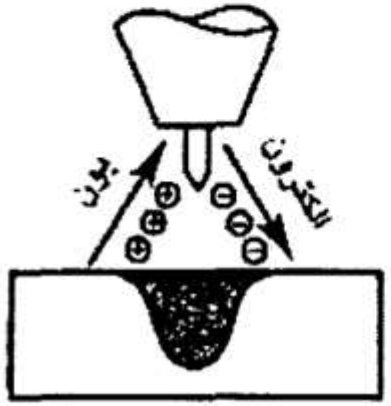
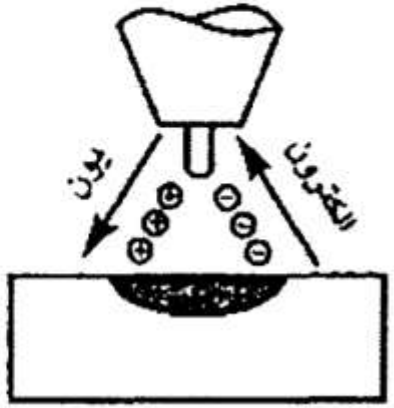
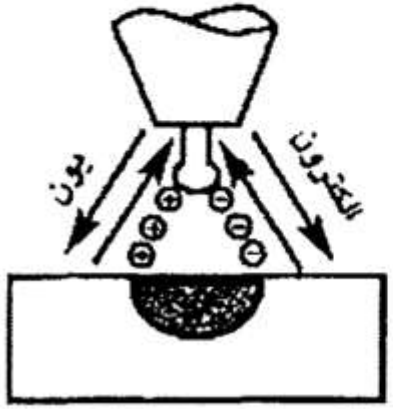
- **تنگستن خالص:** مناسب برای Al و Mg. کار با جریان AC. شروع و پایداری قوس کمتر از نوع آلیاژی شده.
- **توریم دار:** تابع کاری کمتر، ظرفیت انتقال جریان تا ۲۰٪ بیشتر، طول عمر بیشتر، شروع آسانتر قوس و بیشترین سطح پایداری برای قوس، مناسب برای قطبیت DCEN و جوشکاری اغلب فلزات
- ماهیت رادیواکتیو بودن عنصر توریم مهم ترین ویژگی منفی این نوع الکترود است.
- **سریم دار:** جایگزین مناسب برای توریم زیرا عنصر سریم رادیواکتیو نیست، مناسب برای جوشکاری اغلب فلزات با قطبیت های AC و DC، کمترین تابع کاری و بیشترین تابش الکترونها
- **لانتانیم دار:** خصوصیات شبیه سریم دارها
- **زیرکونیم دار:** دارای خصوصیت اجرایی بین تنگستن خالص و نوع توریم دار است. مناسب برای قطبیت AC.
- **EWG:** آلیاژی گوناگون با سفارش سازنده

Gases

- **آرگون:** قوس آرامتر و یکنواخت تر، استفاده از ولتاژ کمتر در یک طول قوس ثابت، هزینه کمتر، مقاومت بهتر در برابر هوای نامساعد، شروع آسانتر قوس، ۱/۷ برابر سنگین تر از هوا و ۱۰ برابر سنگین تر از هلیم
- **هلیم:** انرژی یونیزاسیون بیشتر، گران تر از آرگون، انتقال گرمای بیشتر به قطعه کار، مناسب برای جوشکاری فلزات با ضخامت های بالا، بدلیل سبکتر بودن از هوا با فشار ۲ تا ۳ برابری گاز آرگون بکار می رود در نتیجه میزان مصرف افزایش می یابد.



Polarity

نوع جریان	DCEN	DCEP	AC (بالانس شده)
قطبیت الکترود	منفی	مثبت	
جریان الکترون‌ها و یون‌ها			
خصوصیات نفوذ			
عملیات تمیز کنندگی اکسیدی	انجام نمی‌شود	انجام می‌شود	انجام می‌شود ـ یکبار در هر نیم سیکل
بالانس گرما در قوس (تقریبی)	۷۰٪ در انتهای کار ۳۰٪ در انتهای الکترود	۳۰٪ در انتهای کار ۷۰٪ در انتهای الکترود	۵۰٪ در انتهای کار ۵۰٪ در انتهای الکترود
نفوذ	عمیق، باریک	کم عمق، پهن	متوسط
ظرفیت الکترود	عالی $\frac{1}{8}$ اینچ (۳/۲ میلیمتر) ۴۰۰ آمپر	ضعیف $\frac{1}{4}$ اینچ (۶/۴ میلیمتر) ۱۲۰ آمپر	خوب $\frac{1}{8}$ اینچ (۳/۲ میلیمتر) ۲۲۵ آمپر

Polarity

مکانیزم تمیز کنندگی قوس :

تمایل زیاد برخی فلزات (آلومینوم،منیزیم و...) به خصوص آلومینیوم به اکسیده شدن یکی از مشکلات جوشکاری آلومینیم والیاژهایش را ایجاد می کند.لایه نازک اکسید الومینیم همیشه بروی سطح فلز وجود دارد و اگر از طرق مکانیکی یا شیمیایی برداشته شود مجددا در زمان کوتاه که سطح فلز در معرض تماس باهوا قرار گیرد این لایه تشکیل می گردد. این قشر پیوسته ومداوم می باشد و همزمان با بالا رفتن درجه حرارت ضخامت ان بیشتر می شود و یکی از **موانع اتصال** محسوب می شود .نقطه ذوب اکسید الومینیم ۲۰۵۰ درجه سانتی گراد بوده ودر الومینیم جامد و مایع حل نمی شود پوسته اکسیدی نسوز از امیخته شدن لبه ی جوش و فلز ذوب شده از مفتول یا الکترود جلوگیری نموده ودر نتیجه قطره مذاب به صورت گلوله بروی این لایه قرار می گیرد.در فرایند جوشکار باشعله یا گاز این اکسید توسط روان ساز یا تنه کارهای مخصوص برطرف میشود.در فرایند جوش قوس الکتریکی برای از بین بردن اکسید از جریان برق مستقیم والکترود + ویا جریان برق متناوب در هر نیم سیکلی که الکترود مثبت است استفاده می برند ودیگر نیازی به تنه کار نیست که به این روش arc cleaning (قدرت پاک کنندگی قوس) میگویند. در فرایند جوش مقاومتی پوسته های اکسیدی را با استفاده از محلول های خاص را از بین می برند و سطح را تمیز می کنند

این حالت از قوس زمانی که جریانAC با نیم سیکلی که الکترود آند باشد یا زمانی که جریان مستقیم با حالت DCEP (الکترود آند) باشد رخ می‌دهد. دو عامل موجب این دیده در فیزیک قوس می‌شوند : ۱) انتقال الکترون ها از سمت کاتد(قطعه‌کار) به سمت آند، که الکترون‌ها به دلیل شتاب بالا، موجب کندن لایه اکسیدی از سطح قطعه‌کار می شوند، ۲) یون‌های مثبت گاز یونیزاسیون شده که به سمت قطعه‌کار که دارای بار منفی است، حمله‌ور می‌شوند و با قرارگیری در سطح قطعه‌کار، موجب شکسته شدن پیوند بین اکسیژن و فلز می‌شوند

GTAW

Advantages

- قابلیت جوشکاری اغلب فلزات آهنی و غیرآهنی و با ضخامتهای پایین
- قابلیت جوشکاری آلیاژهای رسوب سخت شونده به دلیل تمرکز حرارتی بالا
- تمیز بودن سطح قطعه بدلیل نداشتن جرقه های جوشکاری
- امکان راحت تر کنترل قوس و میزان نفوذ با کنترل گازها یا قطبیت جوشکاری
- قابل اجرا در همه حالات جوشکاری
- کنترل راحت تر حوضچه مذاب و دستیابی به جوش با کیفیت بالا
- امکان جوشکاری بدون افزودن فلز پرکننده
- امکان تأمین نفوذ در ریشه اتصالات یک طرفه

Disadvantages

- تجهیزات نسبتاً پیچیده تر و گرانتر
- هزینه بیشتر
- سرعت جوشکاری و نرخ رسوب پایین
- نیاز به جوشکار با مهارت جوشکاری بالا
- حساسیت بالای قوس به حفاظت در مقابل وزش باد
- امکان ایجاد ناخالصی تنگستنی

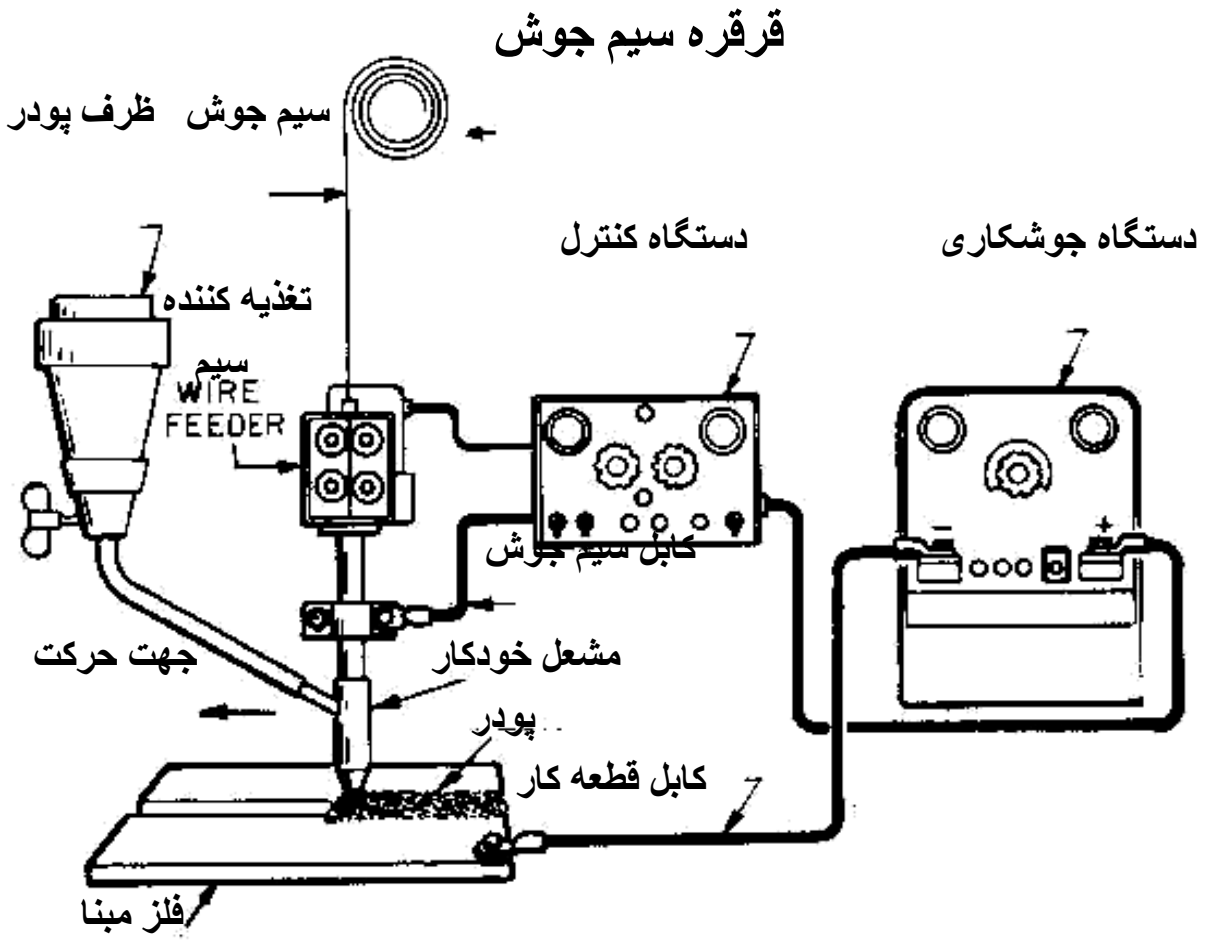
جوشکاری قوسی زیر پودری
Submerged Arc Welding (SAW)

تاریخچه:

- این فرایند جوشکاری برای اولین بار برای جوشکاری قطعات ضخیم طی جنگ جهانی دوم توسط کشور جماهیر متحد شوروی سابق استفاده شد.
- در این روش الکترود مورد استفاده مصرفی بوده و می تواند به صورت سیم یا تسمه باشد و هم چنین می توان از جریان های AC و DC با محدوده کاری آمپراژ ۱۰۰ تا بالای ۲۰۰۰ آمپر استفاده نمود.
- این روش معمولا به صورت مکانیزه شده استفاده می شود ولی امکان دستی و یا نیمه خودکار شدن آن وجود دارد.
- در این روش قوس الکتریکی و حوضچه مذاب روی قطعه کار در زیر لایه ای از پودر ذوب شدنی مخفی است.

جوشکاری قوسی زیر پودری

Submerged Arc Welding (SAW)



جوشکاری قوسی زیر پودری
Submerged Arc Welding (SAW)

وظایف پودر مصرفی

- پودر مورد استفاده نقش مهمی را در فرایند جوشکاری بر عهده دارد:

۱. پایداری قوس الکتریکی

۲. کنترل خواص مکانیکی و شیمیایی فلز جوش رسوب داده شده

۳. شکل گرده و کیفیت جوش

✓ لازم به ذکر است که فرایند جوشکاری زیرپودری می تواند با استفاده از دو الکترود انجام شود که باعث سریع تر پرشدن حوضچه مذاب و لذا افزایش سرعت جوشکاری می شود.

فاکتورهای اساسی در فرایند جوشکاری زیر پودری

عوامل زیر می توانند تاثیرات اساسی در خواص مکانیکی و کیفیت جوش داشته باشند:

- شدت جریان الکتریکی مورد استفاده
- نوع و اندازه ذرات تشکیل دهنده پودر
- ولتاژ قوس
- سرعت جوشکاری
- اندازه و نوع الکترود
- پهنا و عمق پودر مصرفی
- زاویه الکترود
- قطبیت مورد استفاده
- تعداد الکترودهای مورد استفاده

SAW

Advantages

- امکان ایجاد جوش های پیوسته با حداقل نقاط توقف و شروع
- امکان آلیاژسازی فلز جوش
- مخفی بودن قوس (از نظر زیست محیطی خوب است).
- بالا بودن شدت جریان، زیاد بودن نفوذ، نیاز کمتر به آماده سازی لبه.
- نرخ رسوب بالا و سرعت جوشکاری زیاد است.
- هزینه برای جوشکاری هر متر طول نسبتاً کم است.
- عملکرد پودر به عنوان اکسیژن زدا.
- کم هیدروژن بودن فرآیند.
- به وزش باد حساسیت ندارد.
- حداقل آموزش مورد نیاز برای اپراتور.

Disadvantages

- هزینه اولیه سیم رسان، دستگاه جوشکاری، دستگاه های کنترل و تجهیزات انتقال پودر زیاد است.
- برای نگهداری پودر روی اتصال قراردادن اتصال جوش در حالت تخت یا حالت افقی ضروری است.
- سرباره روی جوش بایستی قبل از جوشکاری پاسهای بعدی پاک شود.
- بدلیل ورودی حرارت بالا، جوشکاری قوسی زیرپودری برای جوشکاری فولادهای با ضخامت کمتر از ۵ میلیمتر مناسب نیست (منجر به سوراخ شدن قطعه می شود).
- حساس بودن پودر به آلودگی های محیطی

جوشکاری ترمیت

Thermit welding

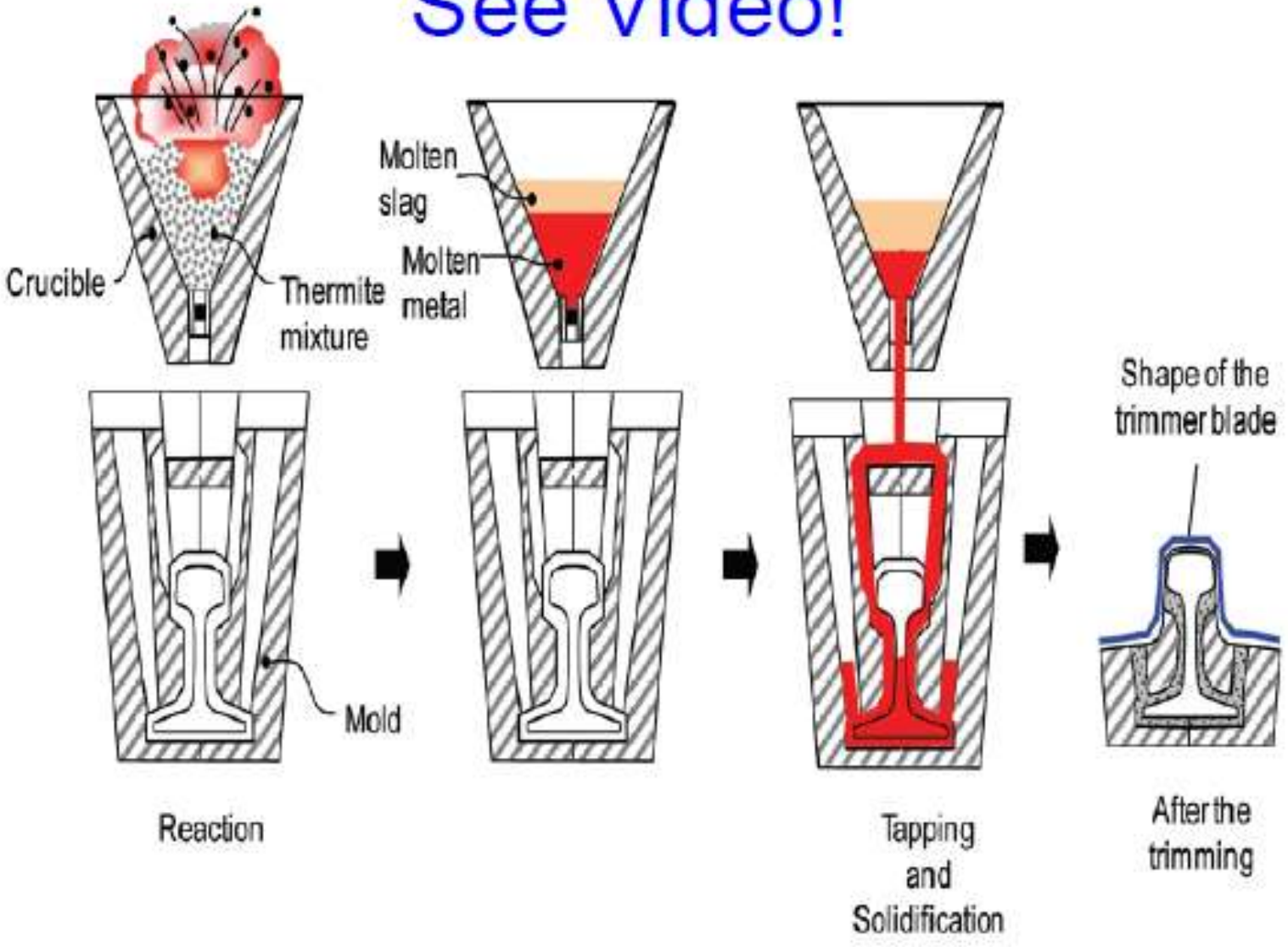
- Exothermic Chemical reaction

$Fe_2O_3+2Al=Al_2O_3+2\mathbf{Fe}+18500$ cal

Generated Temperature=Up to 2450 C

Thermit process for rail welding

See Video!



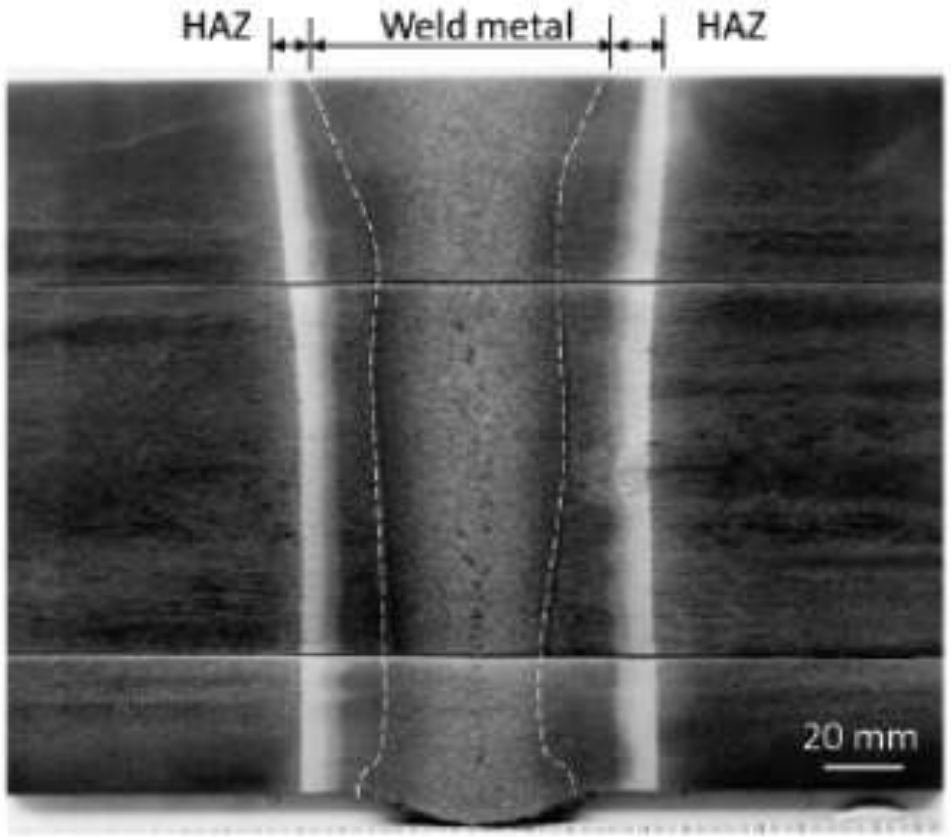
Thermit Process Characteristics

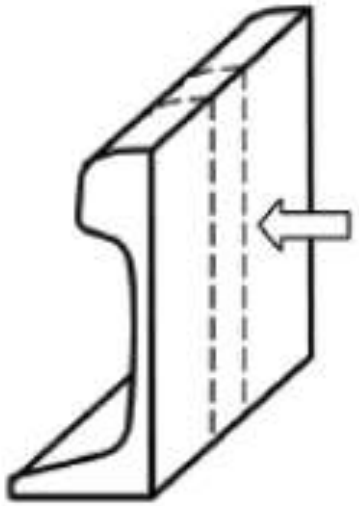
- The need for electricity is eliminated
- No thickness limitation
- Short time
- Low Heat Intensity
- High heat input rate
- Low cooling rate
- Coarse grain
- Low fracture toughness weld

Thermit Process Variables

(1) Chemical composition of thermit powder
   a) Al/Fe_2O_3 ratio
   b) Additive
(2) Pre-heat
(3) Post-heat

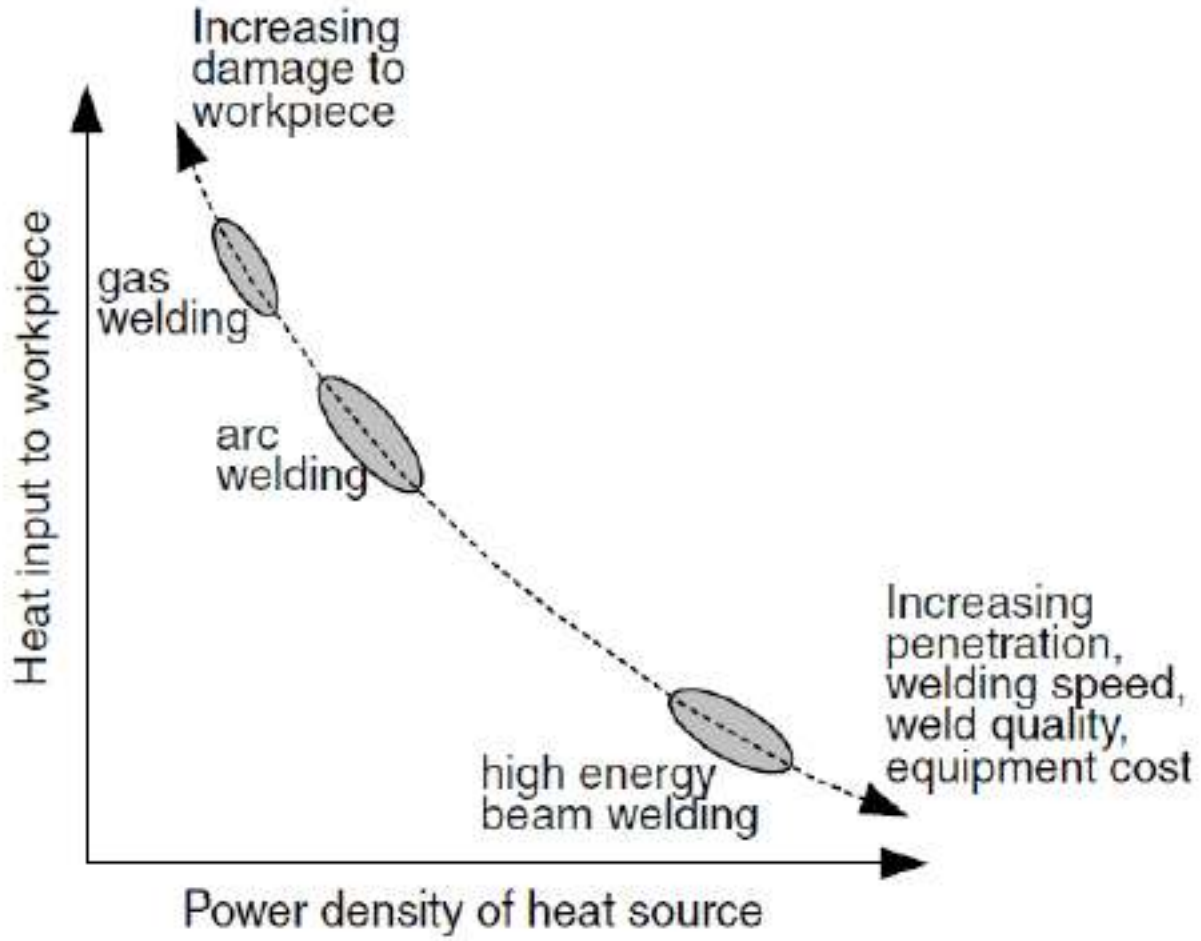
Thermit Weld Macrostructure





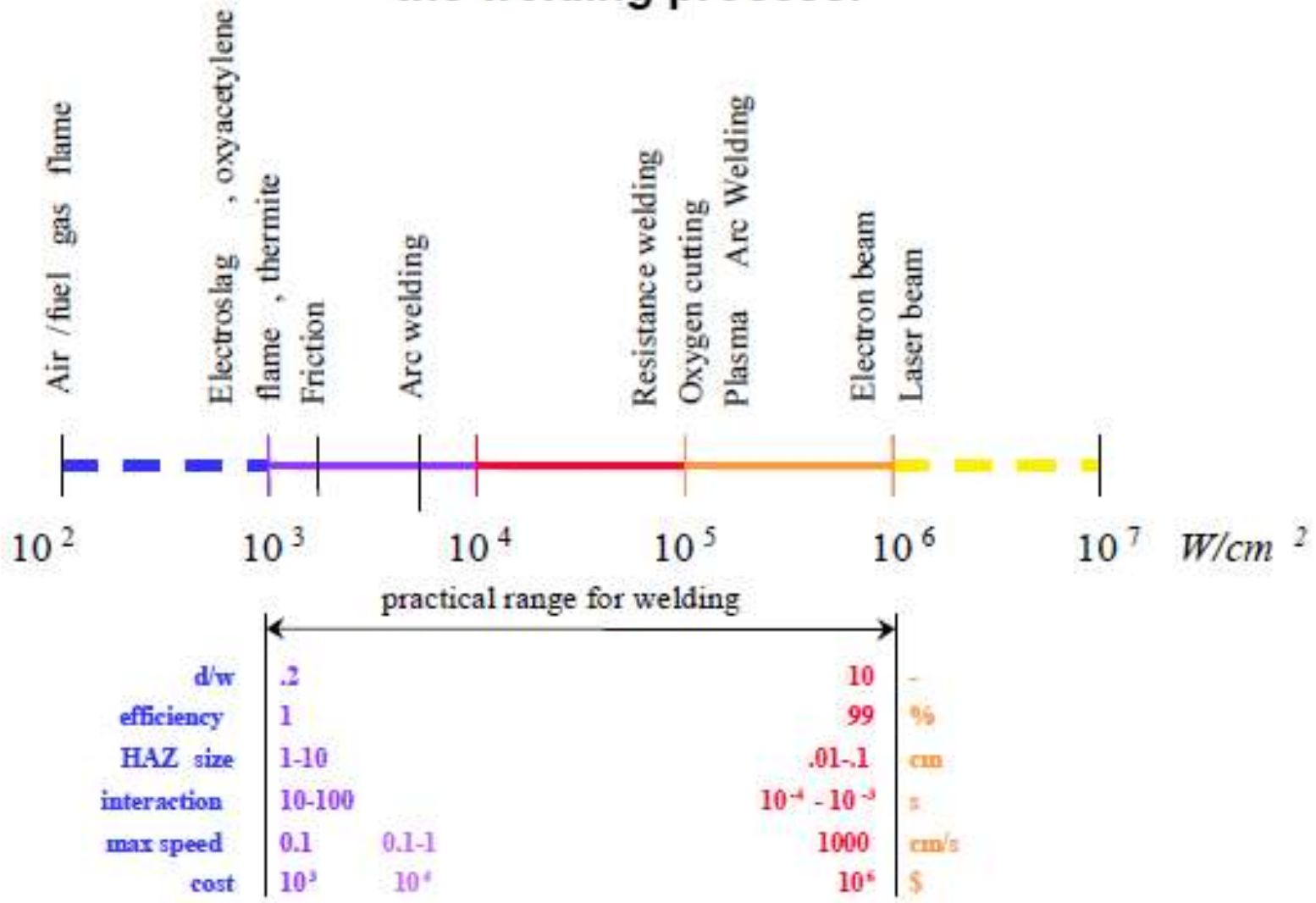
جوشکاری لیزر و پرتو الکترونی

The role of Power density



Ordering of welding processes

The intensity of the heat source determines most properties of the welding process.

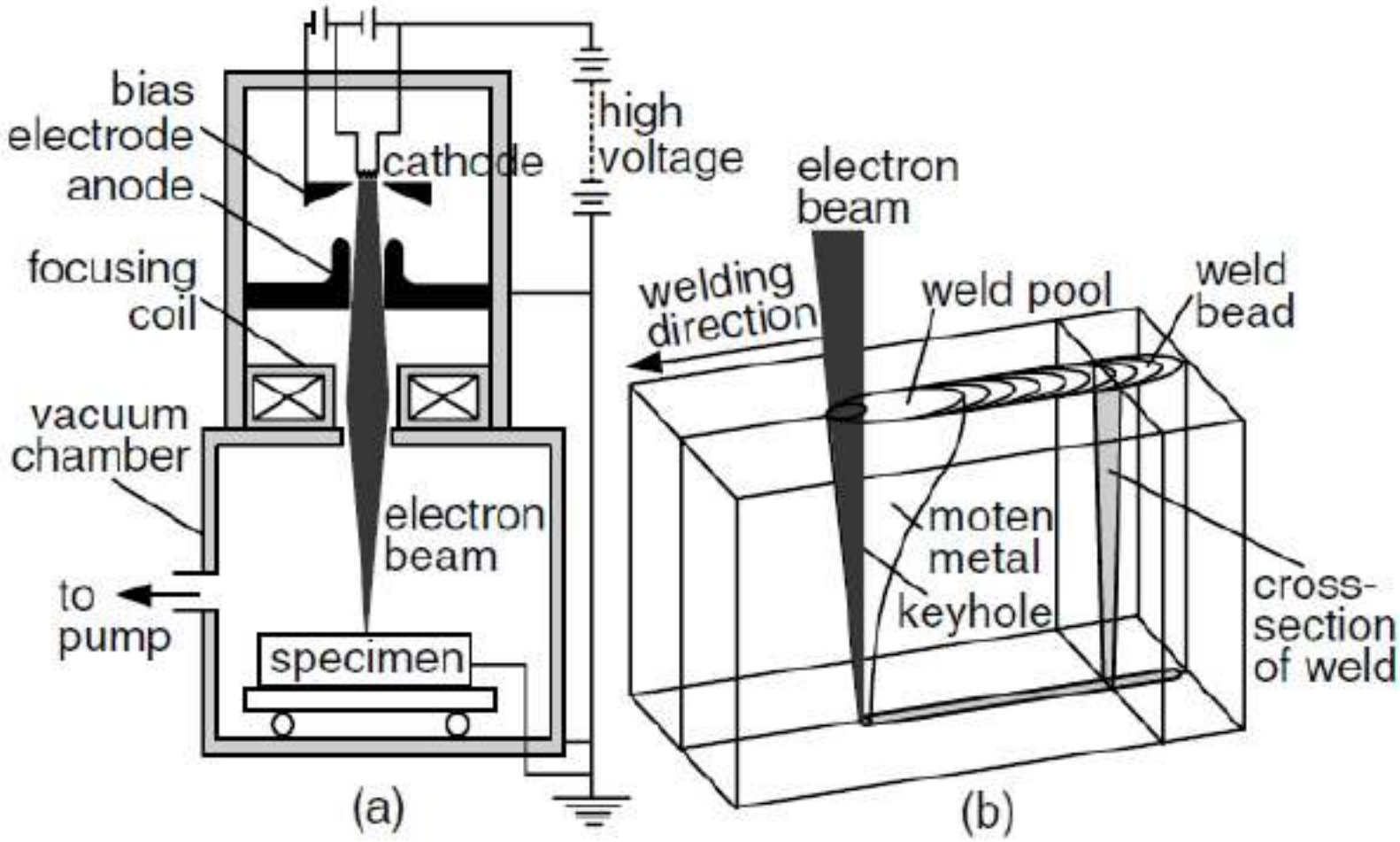


EBW

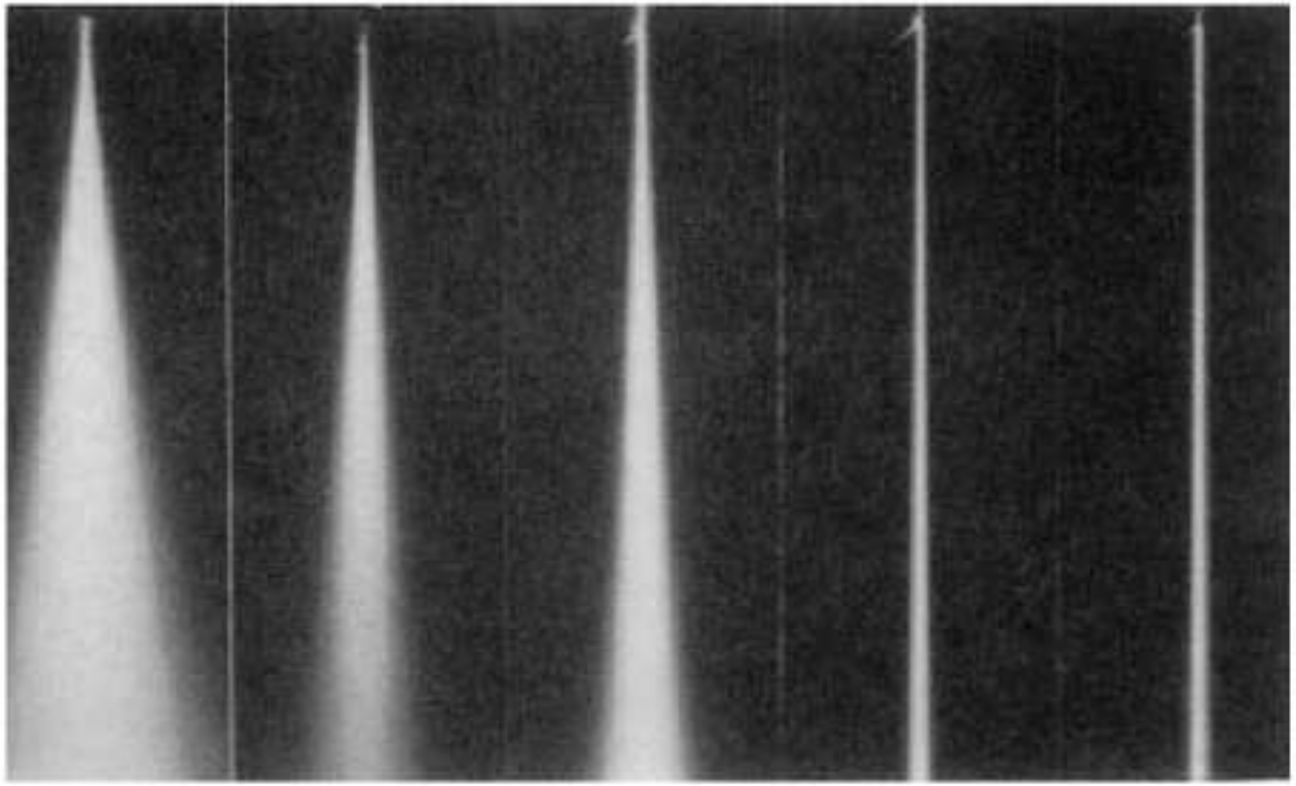
ELECTRON-BEAM WELDING (EBW) is a high-energy density fusion process that is accomplished by bombarding the joint to be welded with an intense (strongly focused) beam of electrons that have been accelerated up to velocities 0.3 to 0.7 times the speed of light at 25 to 200 kV, respectively. The instantaneous conversion of the kinetic energy of these electrons into thermal energy as they impact and penetrate into the workpiece on which they are impinging causes the weld-seam interface surfaces to melt and produces the weld-joint coalescence desired. Electron-beam welding is used to weld

The beam currents and the accelerating voltages employed for typical EBW vary over the ranges of 50–1000mA and 30–175kV, respectively.

EBW


bias
electrode
anode
focusing
coil
vacuum
chamber
to
pump
cathode
high
voltage
electron
beam
specimen
(a)
electron
beam
welding
direction
weld pool
weld
bead
moten
metal
keyhole
cross-
section
of weld
(b)

EBW: Need for Vacuum



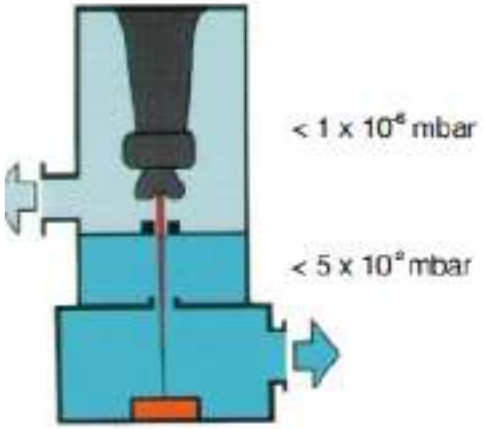
Electrons are scattered when they hit air molecules, and the lower the ambient pressure, the less they are scattered. This is the main reason for EBW in a vacuum chamber.

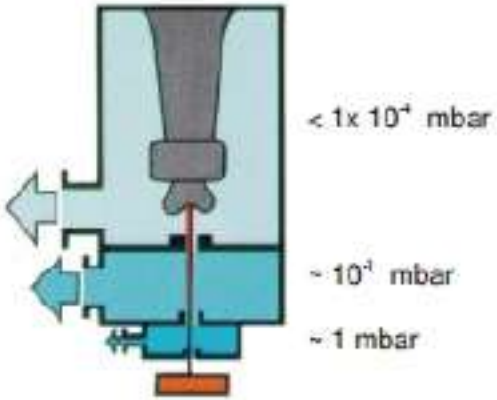
EBW: Need for Vacuum

- High-vacuum (EBW-HV), where the workpiece is in an ambient pressure ranging from 0.13 to 0.30 mPa (10^{-6} to 10^{-3} torr)
- Medium-vacuum (EBW-MV), where the workpiece may be in a "soft" or "partial" vacuum ranging from 0.13 to 3300 Pa (10^{-3} to 25 torr)
- Nonvacuum (EBW-NV), which is also referred to as atmospheric EBW, where the workpiece is at atmospheric pressure in air or protective gas

In all EBW applications, the electron-beam gun region is maintained at a pressure of 13 mPa (10^{-4} torr) or lower.

Vacuum in EBW





Note:

- Electron beam welding is not intended for incompletely degassed materials. Under high welding speeds gas bubbles that do not have enough time to leave deep weld pools result in weld porosity.

- Materials containing high-vapor-pressure constituents, such as Mg alloys and Pb containing alloys, are not recommended for EBW because evaporation of these elements tends to foul the pumps or contaminate the vacuum system.

EBM: High Energy Density

- The electron beam can be focused to diameters in the range of 0.3–0.8mm and the resulting power density can be as high as $10^{10}W/m^2$.

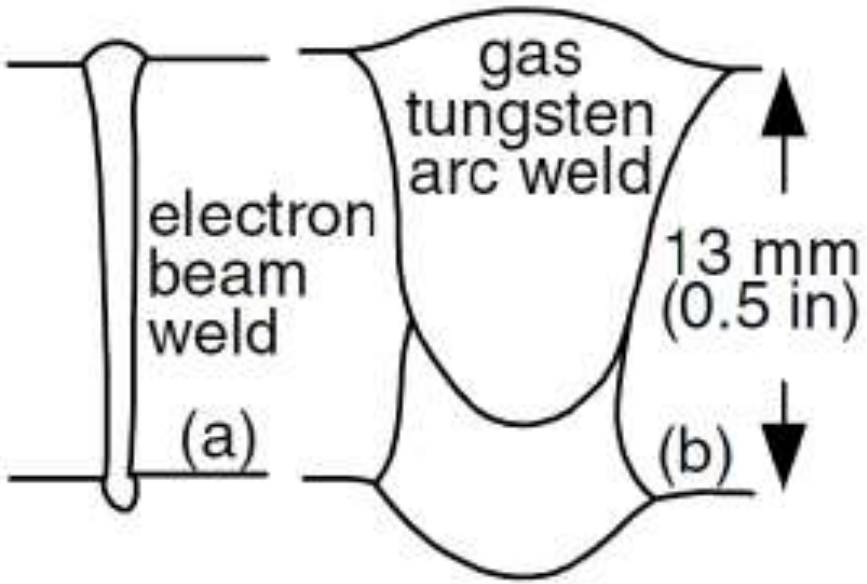


Figure shows a single-pass electron beam weld and a dual-pass gas–tungsten arc weld in a 13-mm-thick (0.5-in.) 2219 aluminum, the former being much narrower. The energy required per unit length of the weld is much lower in the electron beam weld (1.5 kJ/cm, or 3.8 kJ/in.) than in the gas–tungsten arc weld (22.7 kJ/cm, or 57.6 kJ/in.).

EBM: High Energy Density

(a) EBW Joint

(b) GTAW joint

EBM: High Energy Density

EBW: Advantages

One of the prime advantages of EBW is the ability to make welds that are deeper and narrower than arc welds, with a total heat input that is much lower than that required in arc welding. This ability to achieve a high weld depth-to-width ratio eliminates the need for multiple-pass welds, as is required in arc welding. The lower heat input results in a narrow workpiece heat-affected zone (HAZ) and noticeably fewer thermal effects on the workpiece.

EBW: Advantages

In EBW, a high-purity vacuum environment can be used for welding, which results in freedom from impurities such as oxides and nitrides.

The ability to employ higher weld speeds, due to the high melting rates associated with the concentrated heat source, reduces the time required to accomplish welding, thereby resulting in an increased productivity and higher energy efficiency for the process. Total energy conversion efficiency of EBW is approximately 65%, which is slightly higher than so-called conventional

EBW: Advantages

These characteristics (1) minimize distortion and shrinkage during welding; (2) facilitate welding of most hardened or work-strengthened metals, frequently without significant deterioration of mechanical properties in the weld joint; (3) facilitate welding in close proximity to heat-sensitive components or attachments; (4) allow hermetic seal welding of evacuated enclosures, while retaining a vacuum inside the component; and (5) permit welding of refractory metals, reactive metals, and combinations of many dissimilar metals that are not joinable by arc welding processes. The ability to project the electron beam a distance of over 510 mm (20 in.) under high-vacuum conditions, as well as the low end of medium-vacuum conditions, allows otherwise inaccessible welds to be completed.

Limitations

Equipment costs for EBW generally are higher than those for conventional welding processes. However, when compared to other types

The available vacuum chamber capacities are limited; workpiece size is limited, to some degree, by the size of the vacuum chamber employed. Consequently, the production rate (as well as unit cost) is affected by the need to pump down the chamber for each production load. Because the electron beam is deflected by magnetic fields, nonmagnetic or degaussed metals must be used for tooling and fixturing that are near the beam path.

EBW: Limitations

Nonvacuum EBW does not offer the advantage of a high-purity environment (unless some form of inert-gas shielding is provided), and it is not subject to vacuum chamber limitations.

EBW: Welding Parameters

(i) accelerating voltage (V, kV),

(ii) beam current (I,mA),

(iii) welding speed (u, mm/s),

(iv) vacuum level (below 10−3Torr),and

- Weld Width

$$Weld\ Width \propto \frac{1}{\sqrt{Accelerating\ Voltage}}$$

$$\frac{Depth}{Width} \propto Accelerating\ Voltage$$

Laser Beam Welding

LBW

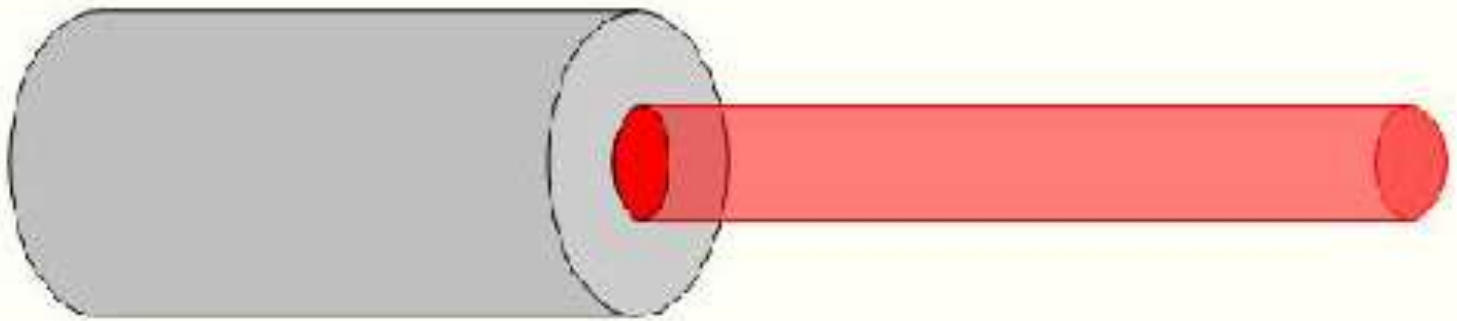
LASER-BEAM WELDING (LBW) uses a moving high-density (10^5 to 10^7 W/cm^2, or 6×10^5 to 6×10^7 W/in.^{2}) coherent optical energy source called a laser as the source of heat. "Laser" is an acronym for "light amplification by stimulated emission of radiation." The coherent nature of the laser beam allows it to be focused to a small spot, leading to high energy densities.

Laser Light

Light is very **focused**

Light is made up of one color (wavelength)

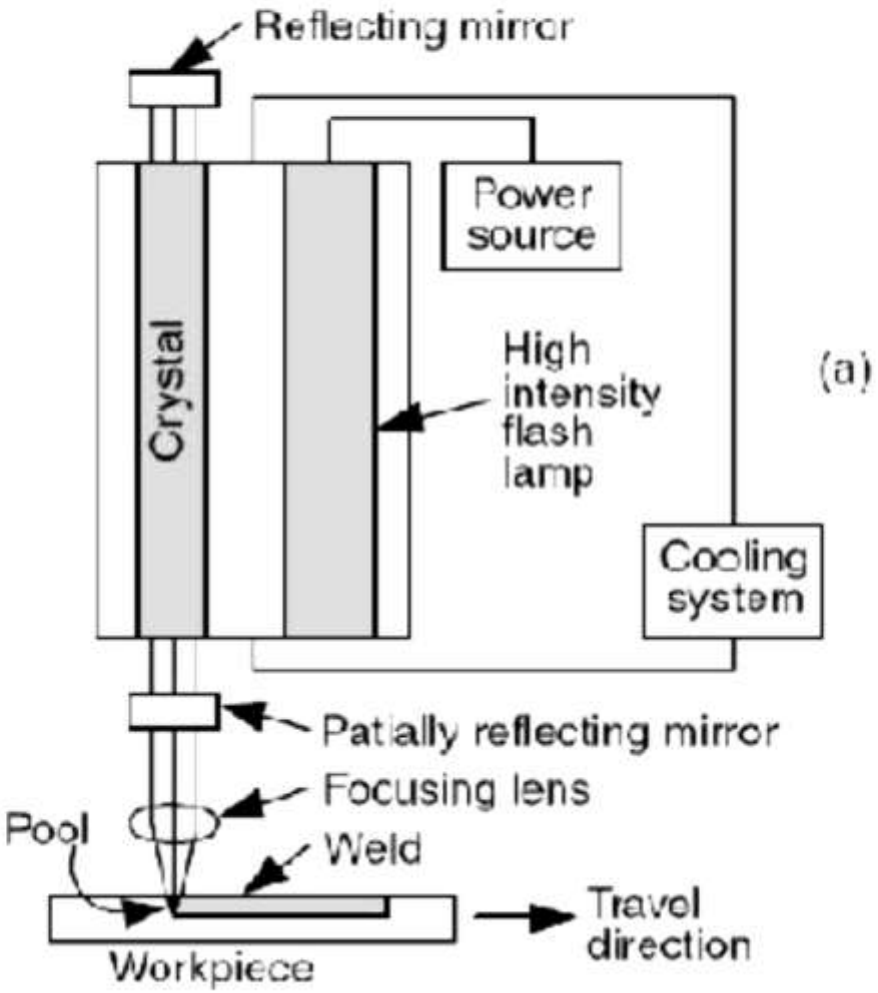
Light is coherent



Welding Using Laser

- Part of the laser light passes through the semi-reflecting mirror and performs the welding function.
- produces a very high energy density light beam, many times higher than is possible with normal light
- The energy -"***hot light***"- created at the focal point in a relatively short time
- (0.5 to 20 ms) heats the metal beyond its melting point and thus enables a weld.

LBW

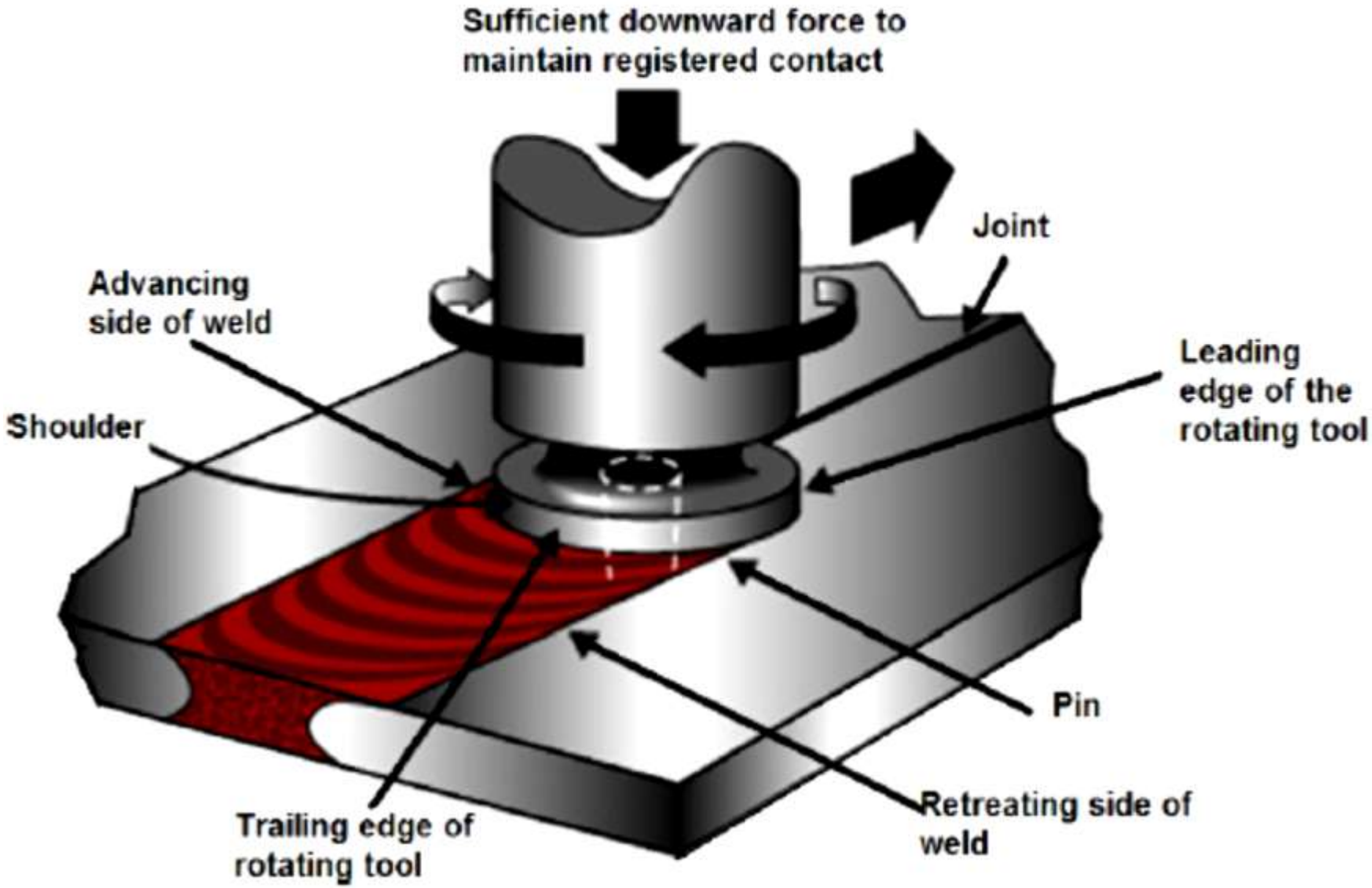

Reflecting mirror
Power source
Crystal
High intensity flash lamp
(a)
Cooling system
Patially reflecting mirror
Focusing lens
Pool
Weld
Travel direction
Workpiece

EBW vs. LBW

Table 6.6 Comparative Advantages and Disadvantages of the EBW and LBW Processes

EBW	*LBW*
• Deep penetration in all materials	• Deep penetration in laser-absorbent materials
• Very narrow welds, high depth/width	• Same
• High energy density; low heat input	• Same
• Capable of very high welding speeds	• Same
• Needs vacuum to operate unimpeded	• Can operate in air, inert gas, or vacuum
• Requires tight-fitting joints	• Same
• Almost impossible to add filler	• Filler can be added, if not too deep
• Capital equipment is expensive	• Same
• Very high electrical efficiency (99%)	• Very low electrical efficiency (<15%)
• Generates x-rays from workpiece	• No x-ray generation

Friction-Stir Welding



Key benefits of friction stir welding
Metallurgical benefits
Solid phase process
Low distortion of workpiece
Good dimensional stability and repeatability
No loss of alloying elements
Excellent metallurgical properties in the joint area
Fine microstructure
Absence of cracking
Replace multiple parts joined by fasteners

Environmental benefits
No shielding gas required
No surface cleaning required
Eliminate grinding wastes
Eliminate solvents required for degreasing
Consumable materials saving, such as rugs, wire or any other gases

FSW Tool

An FSW tool consists of a shoulder and a pin

The tool geometry plays a critical role in material flow and in turn governs the traverse rate at which FSW can be conducted.

FSW Tool

Tool has two primary functions:

(a) localized heating, and

(b) material flow.

In the initial stage of tool plunge, the heating results primarily from the friction between pin and workpiece. Some additional heating results from deformation of material. The tool is plunged till the shoulder touches the workpiece. The friction between the shoulder and workpiece results in the biggest component of heating. From the heating aspect, the relative size of pin and shoulder is important, and the other design features are not critical.

The second function of the tool is to 'stir' and 'move' the material.

FSW Tool

Tool has two primary functions:

(a) localized heating, and

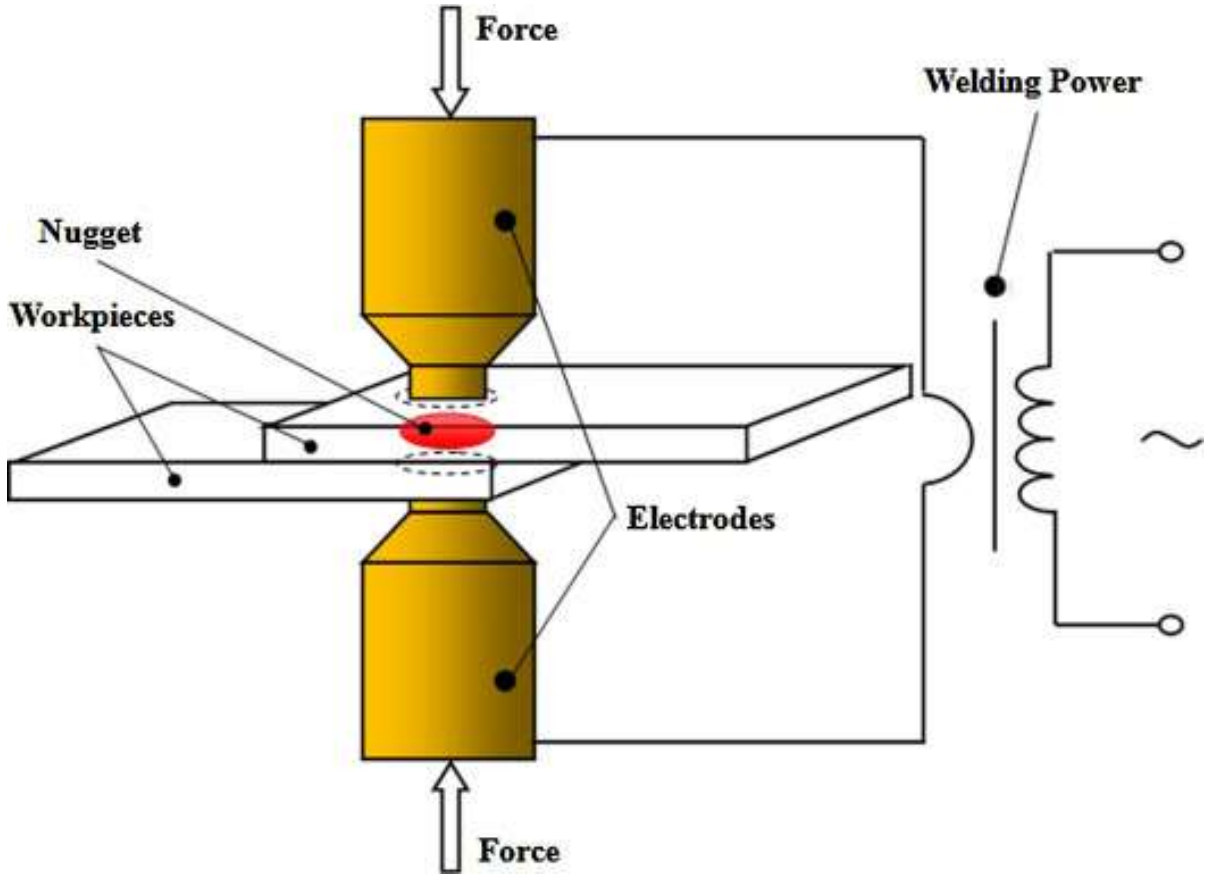
(b) material flow.

In the initial stage of tool plunge, the heating results primarily from the friction between pin and workpiece. Some additional heating results from deformation of material. The tool is plunged till the shoulder touches the workpiece. The friction between the shoulder and workpiece results in the biggest component of heating. From the heating aspect, the relative size of pin and shoulder is important, and the other design features are not critical.

The second function of the tool is to 'stir' and 'move' the material.

جوشکاری مقاومتی نقطه ای

Resistance Welding



Definition of Resistance Welding

- Resistance welding is a fusion welding process in which coalescence of metals is produced at the faying surfaces by the heat generated at the joint by the resistance of the work to the flow of electricity.
- Force is applied before, during, and after the application of current to prevent arcing at the work piece.
- Melting occurs at the faying surfaces during welding.

Resistance Welding

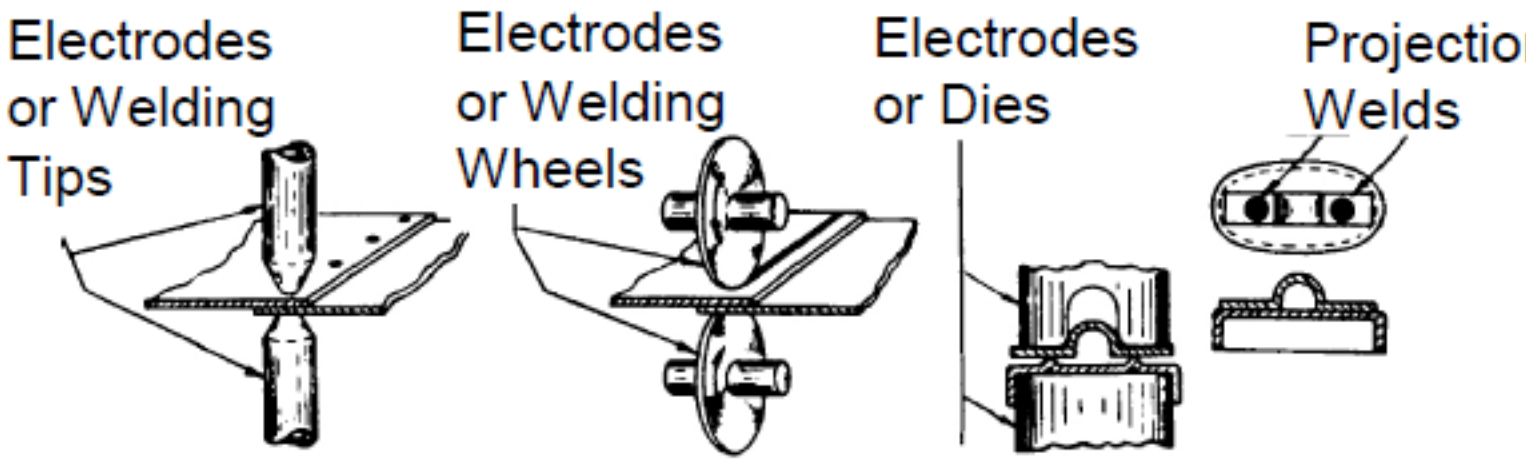
- Heat generation is expressed as

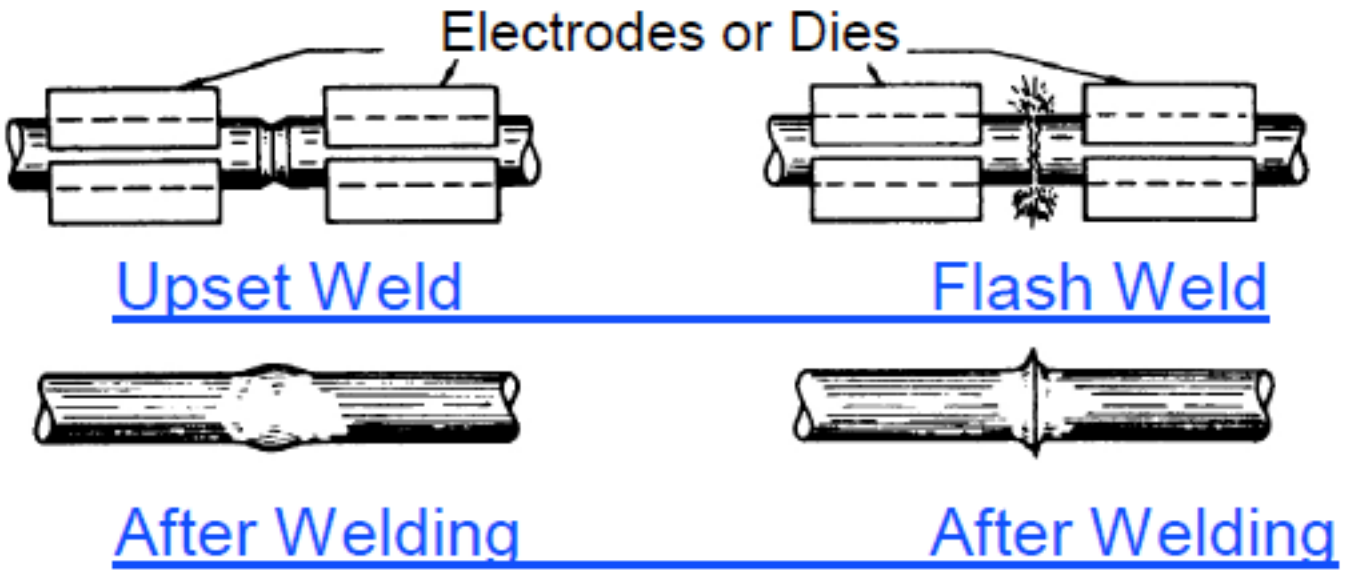
$$Q = I^2R\ T,$$

Q = Heat generated.

- Resistance welding depends on three factors:
  - Time of current flow (T).
  - Resistance of the conductor (R)
  - Amperage (I).

Principal Types of Resistance Welds



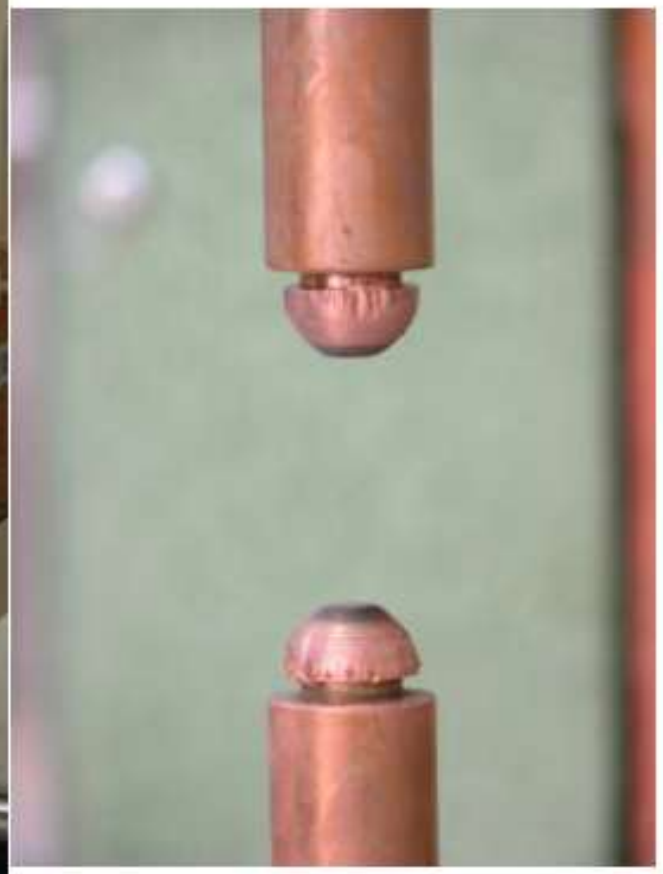


[Reference: Resistance Welding Manual, RWMA, p.1-3]

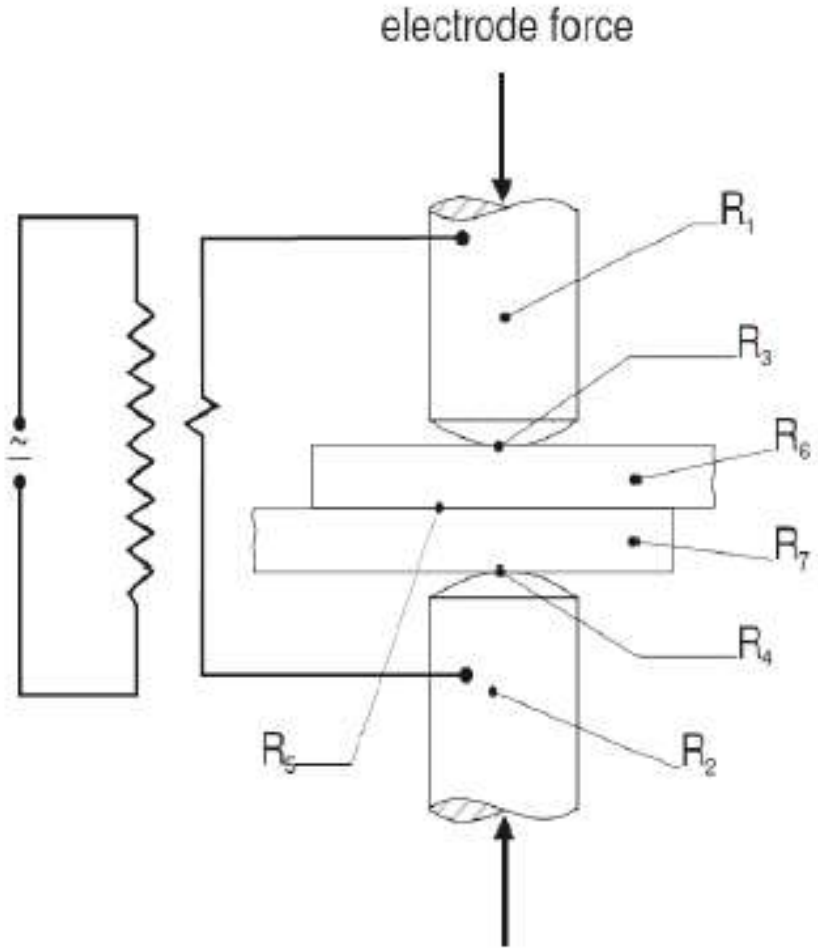
Resistance Spot Welding

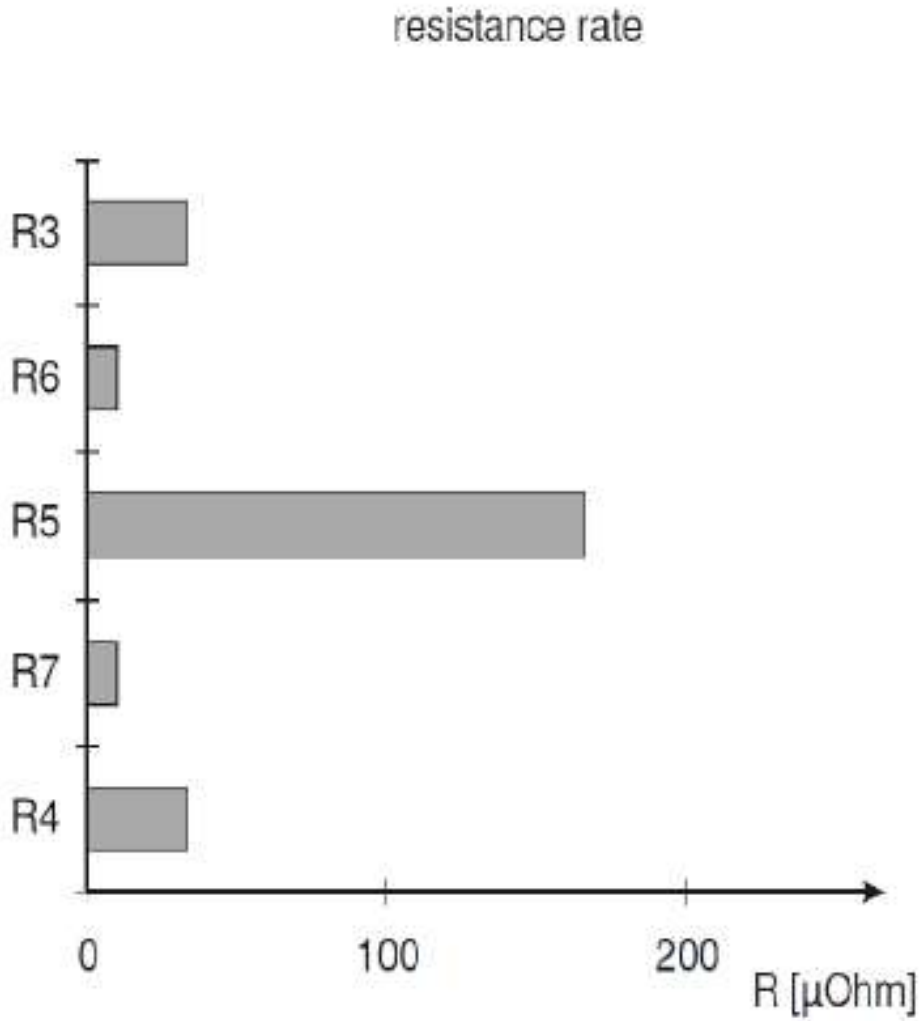
The dominant process for welding of automotive sheets

RSW Equipments



Heat Generation in Resistance Spot Welding

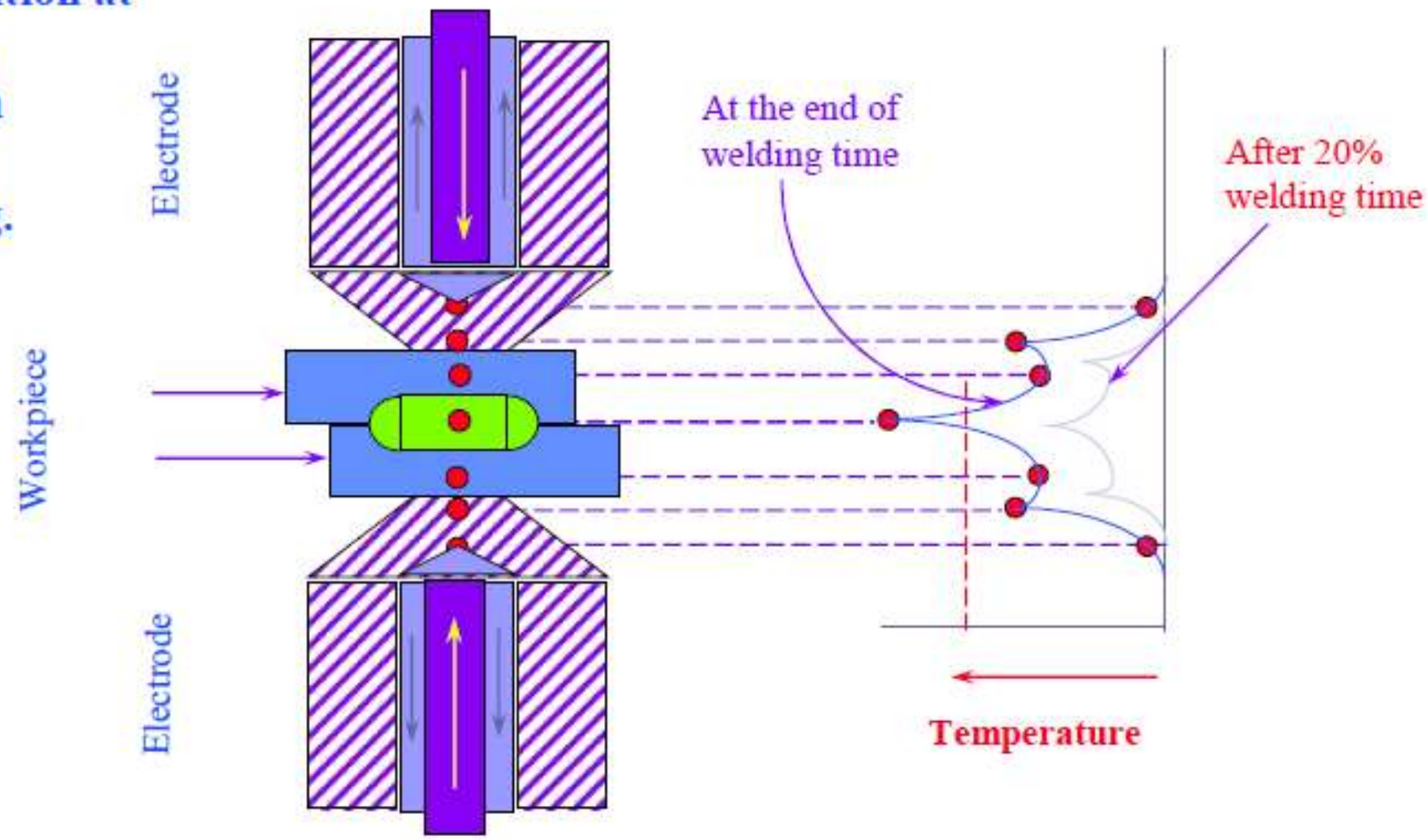




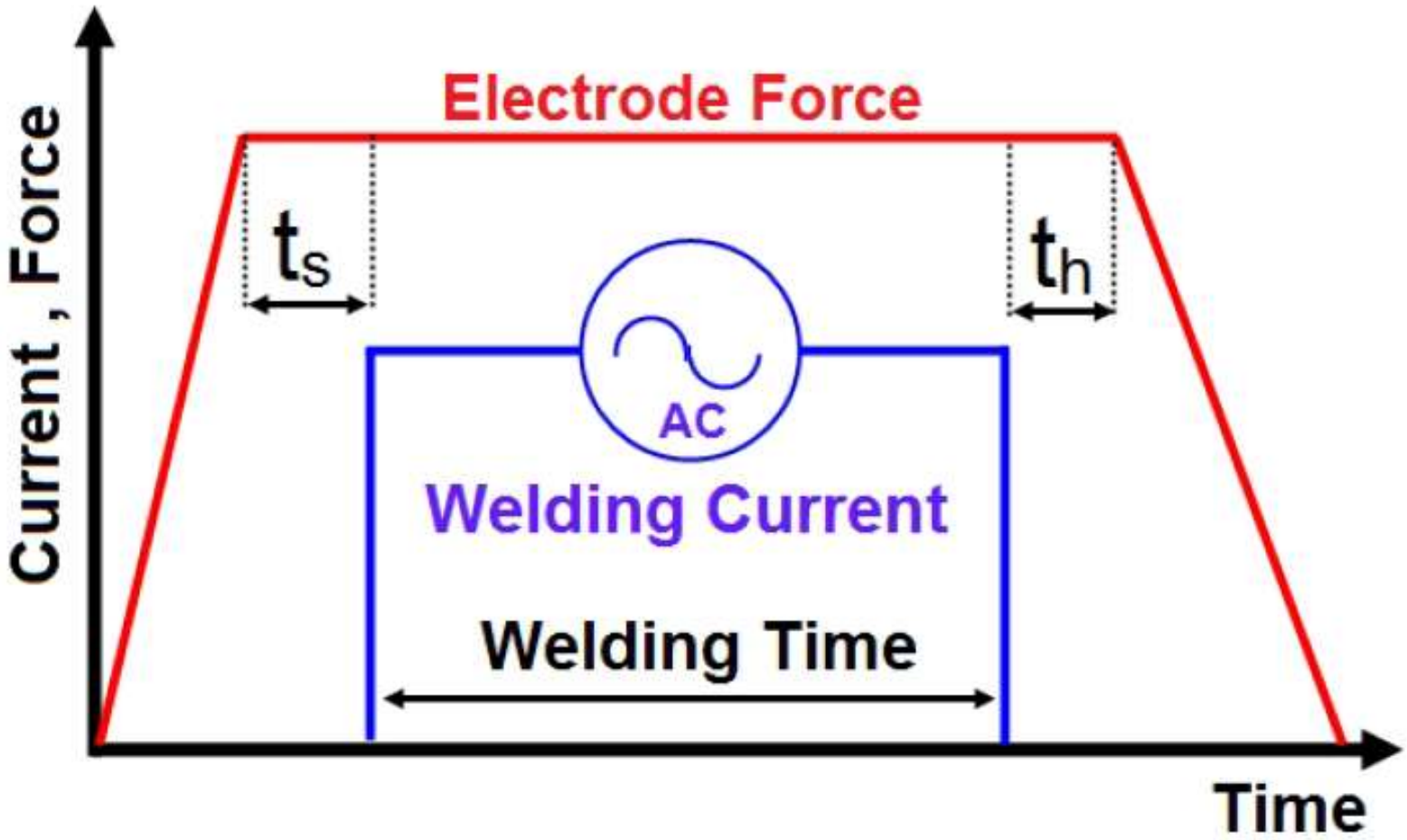
R_1, R_2: material resistance: electrode
R_3, R_4: interface resistance: electrode - sheet metal
R_5 : interface resistance: sheet metal - sheet metal
R_6, R_7: material resistance: workpiece

Temperature Distribution

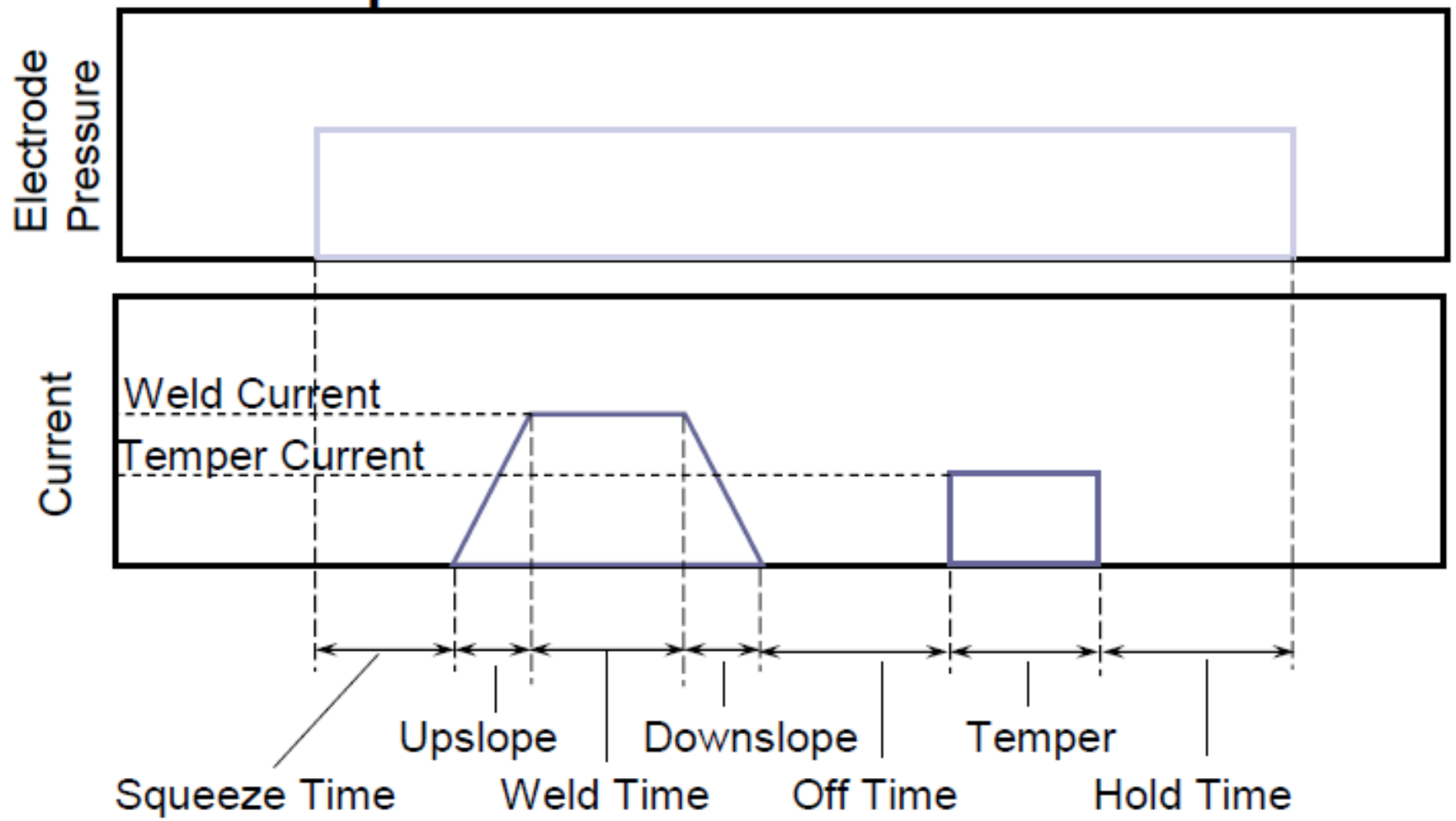
Temperature distribution at various location during welding.



Welding Cycle



Upslope/Downslope, Hold Time, & Temper



Advantages of Resistance Spot Welding

- Excellent for sheet metal applications, < ¼-inch
- High speed, < 0.1 seconds in automotive spot welds
- Adaptability for Automation in High-Rate Production of Sheet Metal Assemblies
- No filler metal
- Economical
- Dimensional Accuracy

Process Disadvantages and Limitations

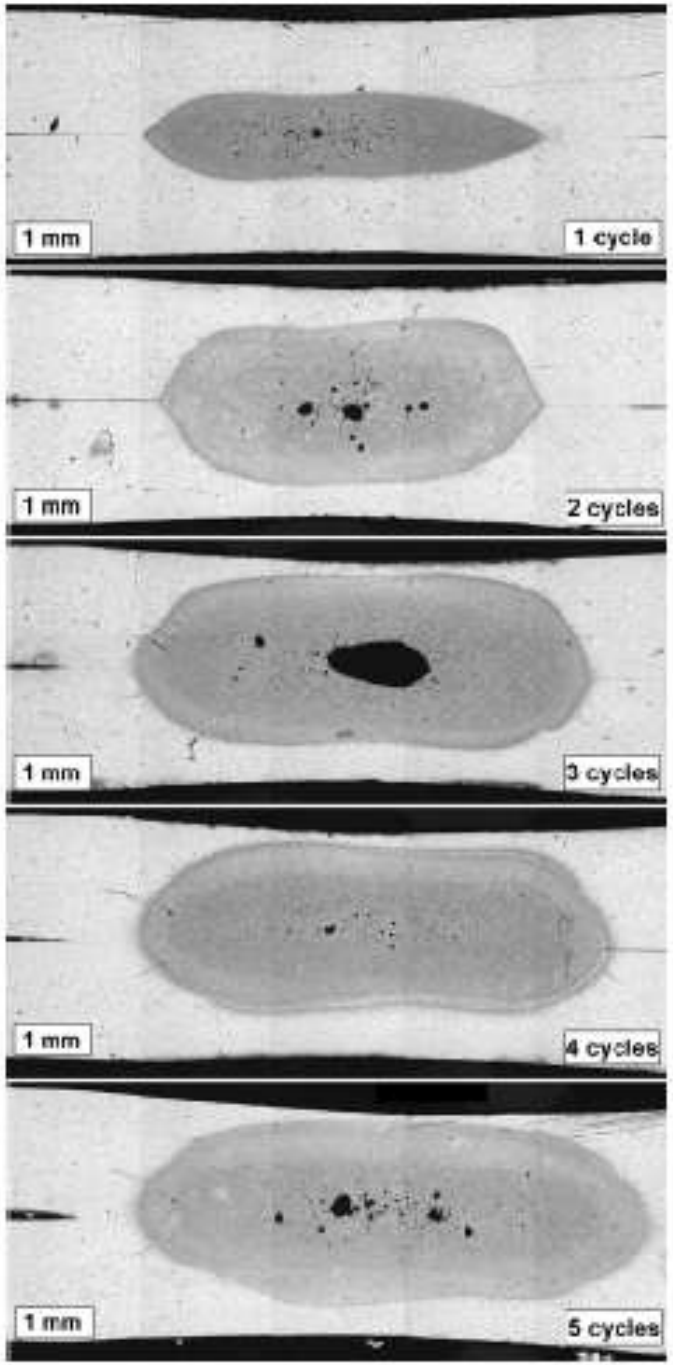
- Higher equipment costs than arc welding
- Power line demands
- Nondestructive testing
- Low tensile and fatigue strength
- Not portable
- Electrode wear
- Lap joint requires additional metal
- Difficulty for repair

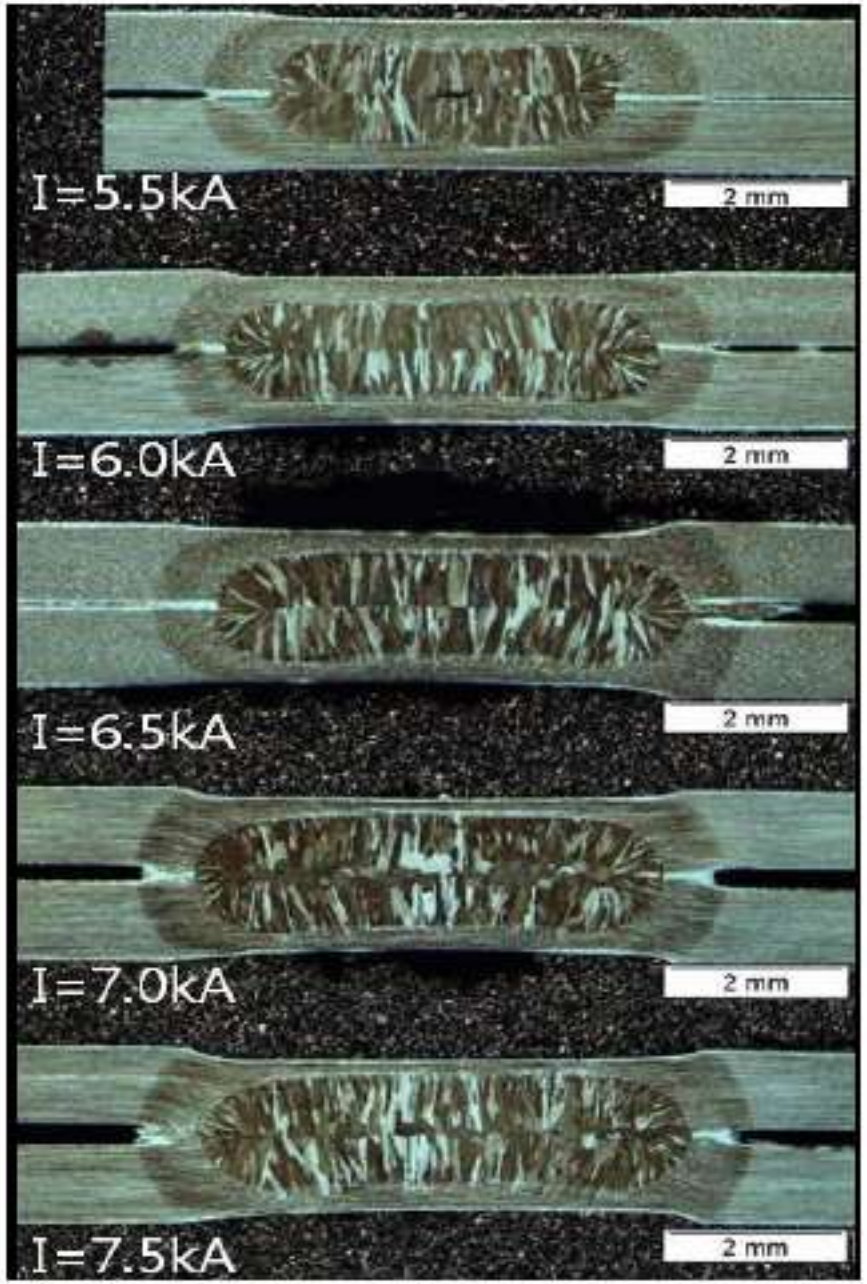
Factors Affecting Heat Generation (Q):

- Welding time
- Welding Current

Welding current is most effective in heat generation compared to welding time

$$Q = I^2Rt$$


1 mm
1 cycle
1 mm
2 cycles
1 mm
3 cycles
1 mm
4 cycles
1 mm
5 cycles


I=5.5kA
2 mm
I=6.0kA
2 mm
I=6.5kA
2 mm
I=7.0kA
2 mm
I=7.5kA
2 mm

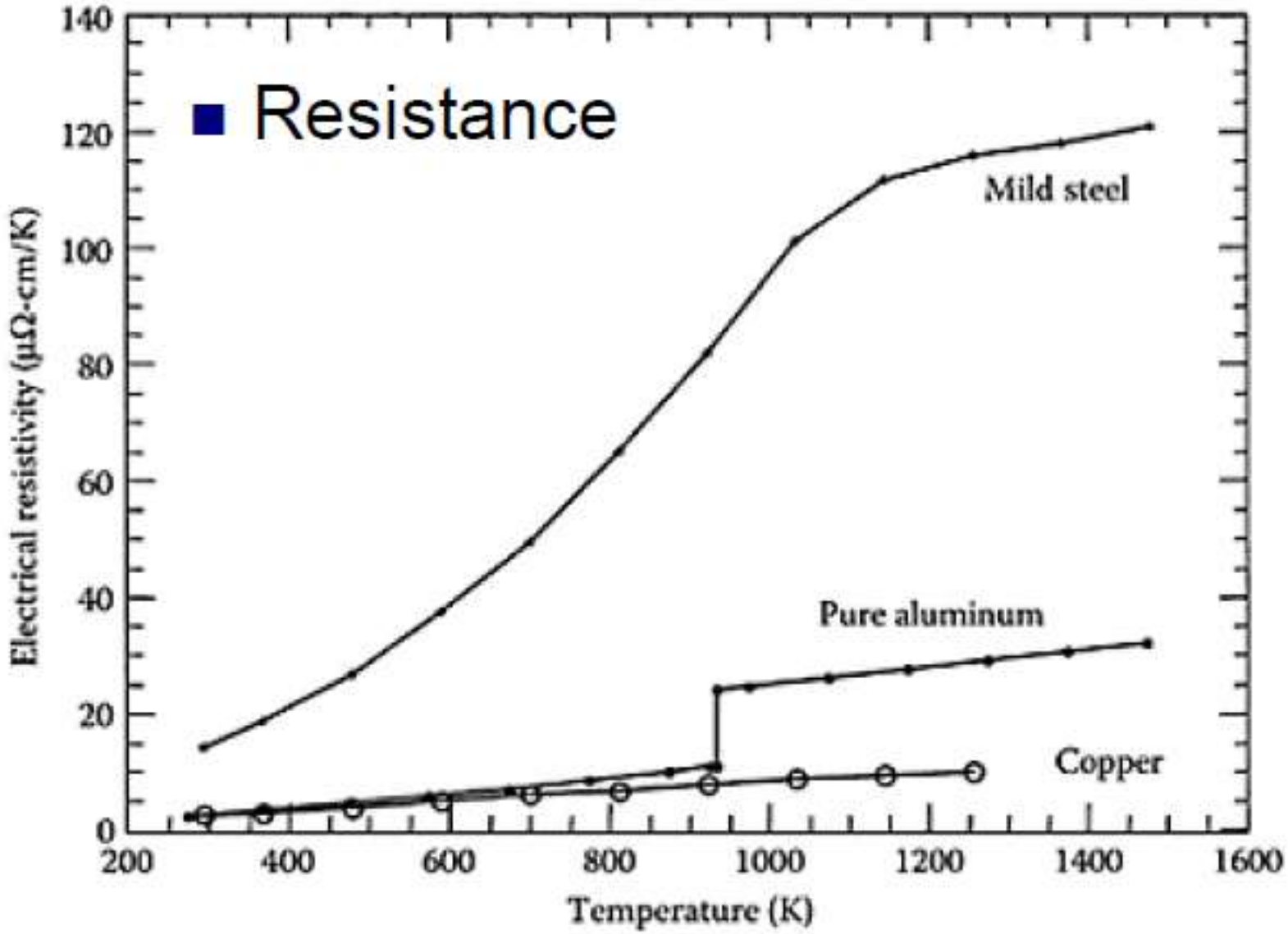
Factors Affecting Heat Generation (Q):

- Resistance

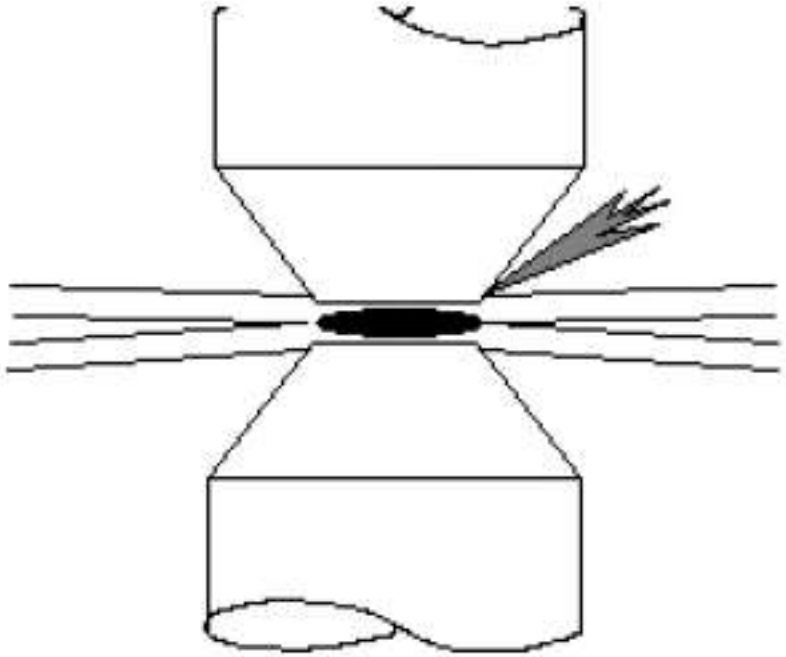
Bulk Resistance vs. Contact Resistance

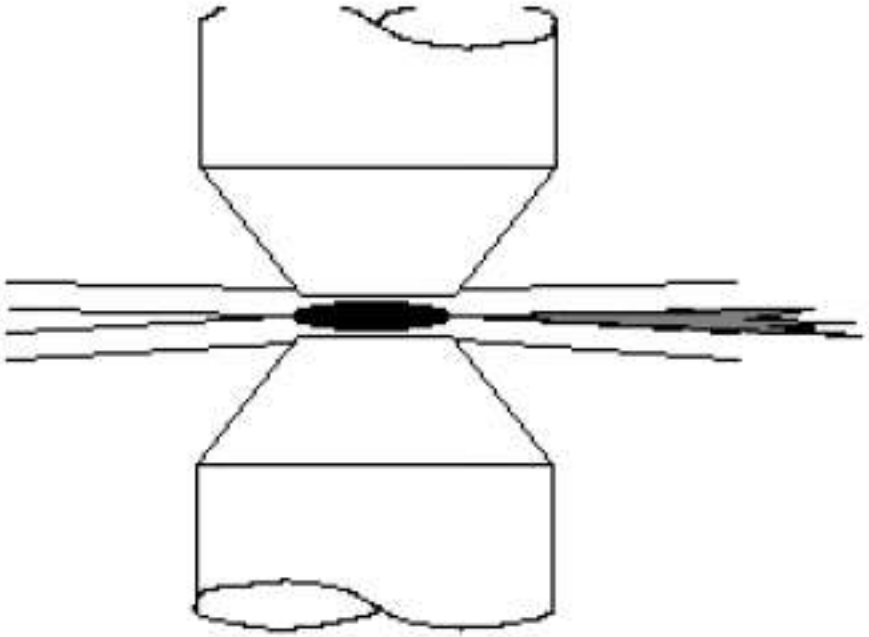
R=f (Materials Properties and Pressure)

Factors Affecting Heat Generation (Q):



Expulsion: A common Phenomena in Resistance Welding





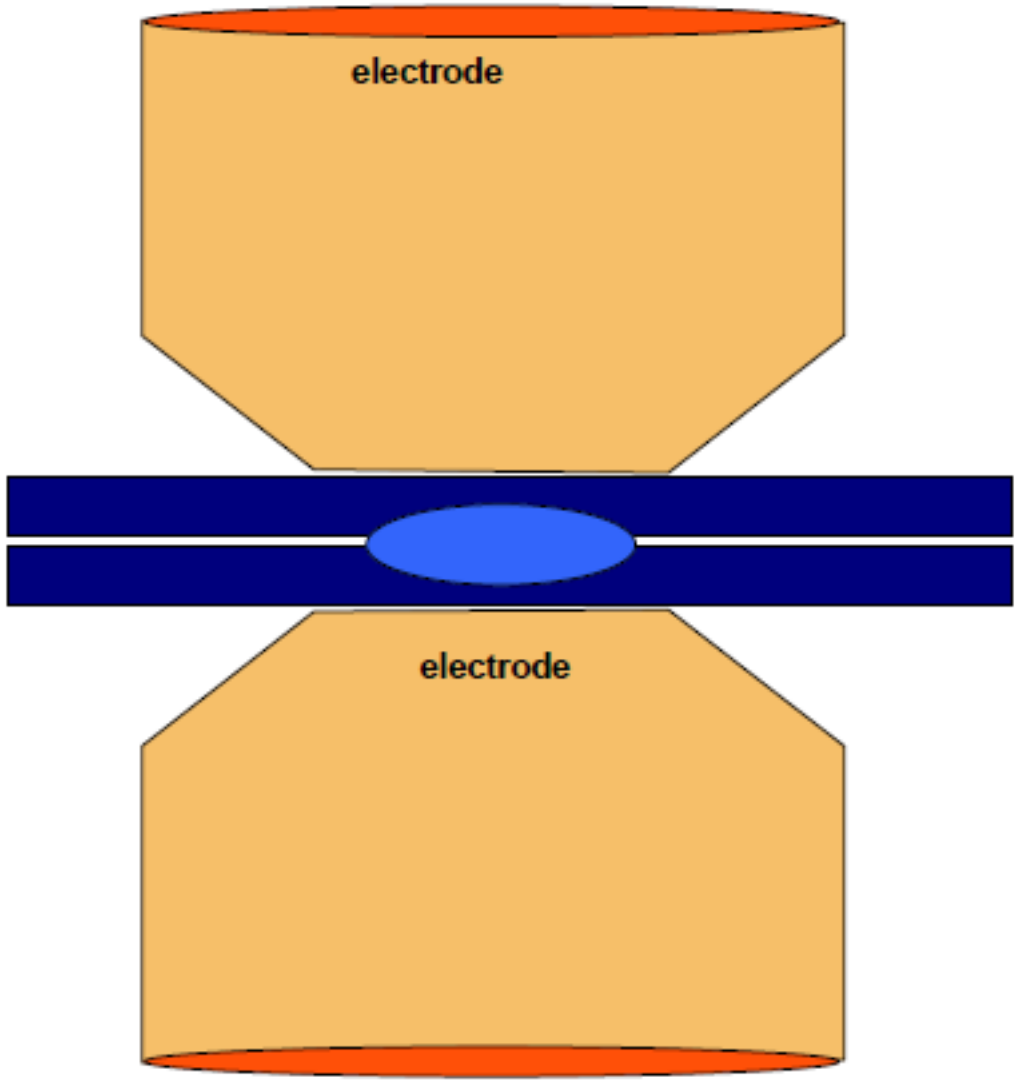
Effect of Welding Parameters on Expulsion

- Welding Current
- Welding time
- Electrode force

Effect of Expulsion

- Void
- Excessive electrode indentation

Electrodes



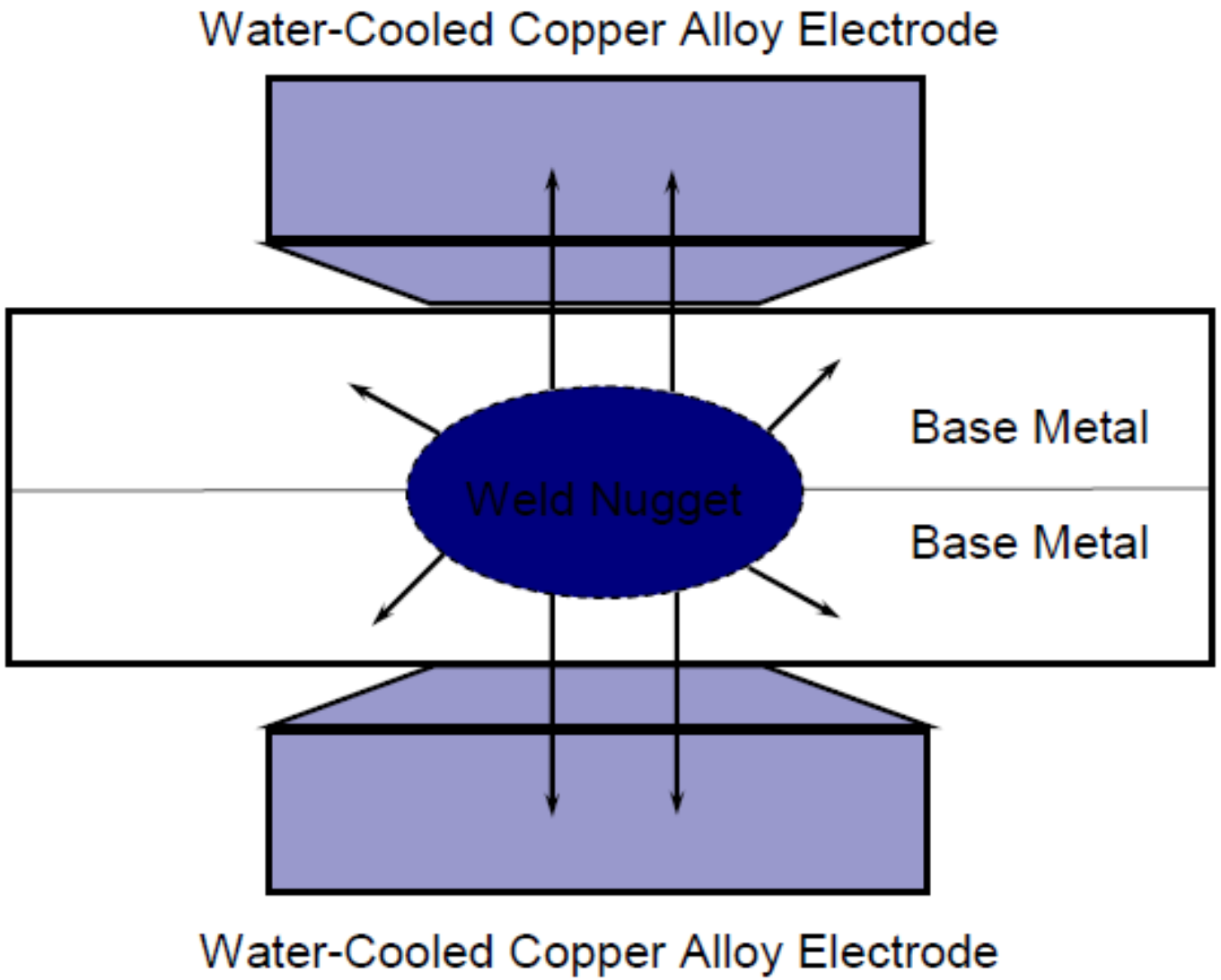
Electrode Functions

- Conduct the welding current to the work
- Transmit the proper electrode pressure or force to the work in order to produce a satisfactory weld
- Help dissipate heat from the weld zone

Material Requirements for Electrode in Resistance Welding

- High electrical conductivity
- High Thermal conductivity
- High temperature mechanical strenght

Cooling rate=f (Heat Dissipation)



عیوب جوشکاری

عیوب و ناپیوستگي ها

Defects and Discontinuities

Discontinuities:

ناپیوستگی :

یک گسیختگی یا پارگی در ماده، نظیر یک ناهمگنی و غیریکنواختی در خصیصه های مکانیکی، متالورژیکی، یا فیزیکی است.

Defect or Flaw:

عیب یا نقص :

عیب یک ناپیوستگی است که بصورت تکی یا تجمعی، قطعه یا محصول را برای اجرای حداقل الزامات کاری مطابق با آزمایشات یا استانداردهای پذیرش یا مشخصات فنی ناتوان می سازد.

هر ناپیوستگی الزاماً یک عیب نیست، اما هر عیبی یک ناپیوستگی است. واژه عیب موجب مردودی قطعه می شود.

دلايل وقوع به چهار گروه زير طبقه بندي نمود:

۱- ناپیوستگی های ناشی از طراحی نادرست

۲- نا پیوستگی های ناشی از انتخاب و اجرای نادرست فرآیند و دستورالعمل جوشکاری

۳- عیوب ناشی از پدیده‌های متالورژیکی

۴- ناپیوستگی های موجود در جوش ناشی از ناپیوستگی در فلز پایه

طبقه بندي و درجه اهميت ناپيوستگي

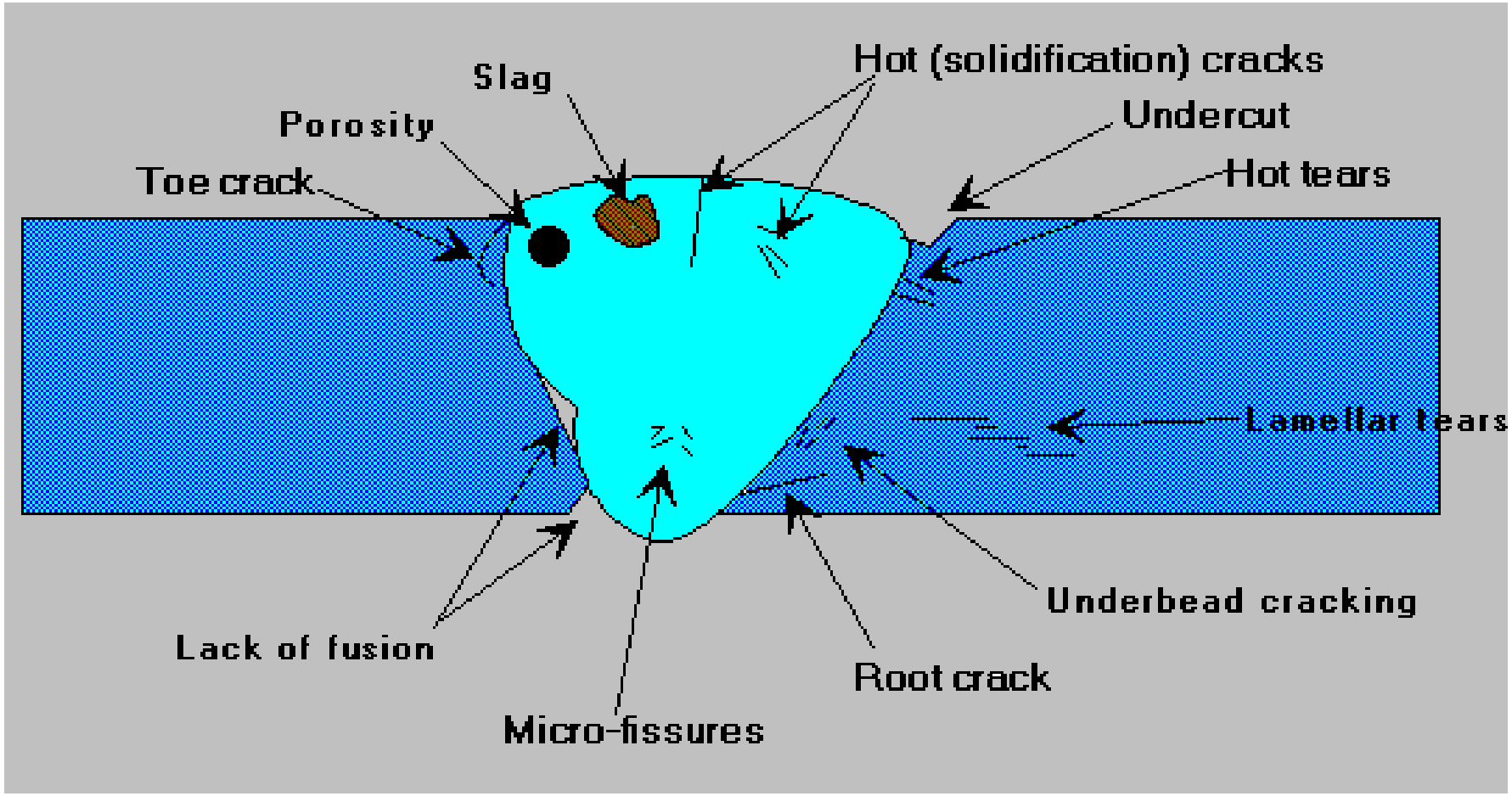
✓**ناپیوستگی های صفحه ای (Planar discontinuity):**

تنها دارای دو بعد و در یک جهت می باشند، در برخی استانداردها آنها را ناپیوستگی های خطی (Linear discontinuity) نیز نامیده اند. ترک ها و عدم ذوب ها در این طبقه بندی قرار می گیرند و نسبت به ناپیوستگی های دیگر دارای اهمیت و حساسیت بیشتری هستند.

✓**ناپیوستگی های دارای حجم (Volumetric discontinuity):**

شامل ناپیوستگی هایی که در جهات مختلف دارای ابعاد می باشند، مثل سرباره یا ناخالصی ها و حفره های حبس شده در جوش می شود. مطابق استاندارد ASME ناپیوستگی های حجیمی که دارای طول بیشتراز سه برابر پهنای خود هستند، در طبقه بندی ناپیوستگی های خطی قرار می گیرد و در غیر اینصورت در طبقه ناپیوستگی های مدور (Round discontinuity) با سطح حساسیت و اهمیت کمتر نسبت قرار می گیرند.

Welding Defects



Welding Defects

Cracks

Classified by Shape

- Longitudinal

A crack running in the direction of the weld axis. May be found in the weld or base metal.

- Transverse

A crack running into or inside a weld, transverse to the weld axis direction.

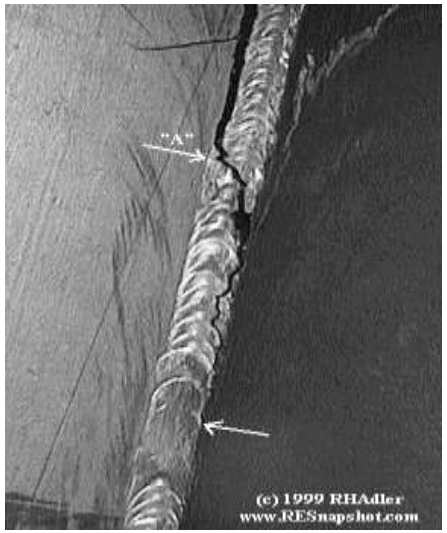
Classified by Position

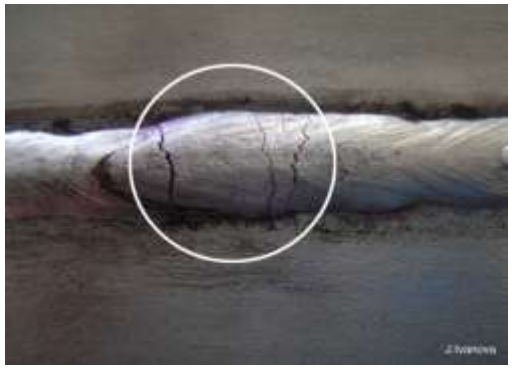
- HAZ
- Centerline
- Crater

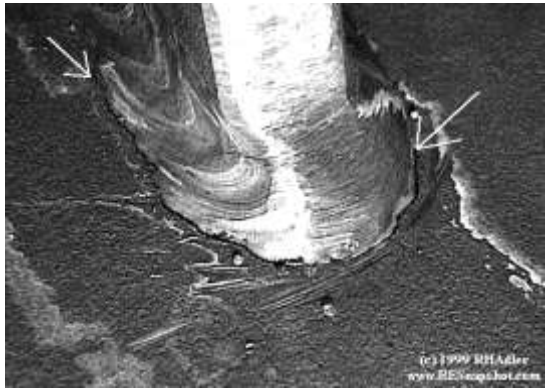
A crack, generally in the shape of an “X” which is found in a crater. Crater cracks are hot cracks.

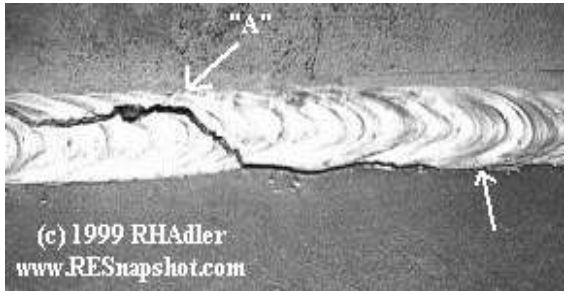
- Fusion zone
- Parent metal

Cracks


"A"
(c) 1999 RHAdler
www.RESnapshot.com




(c) 1999 RHAdler
www.RESnapshot.com

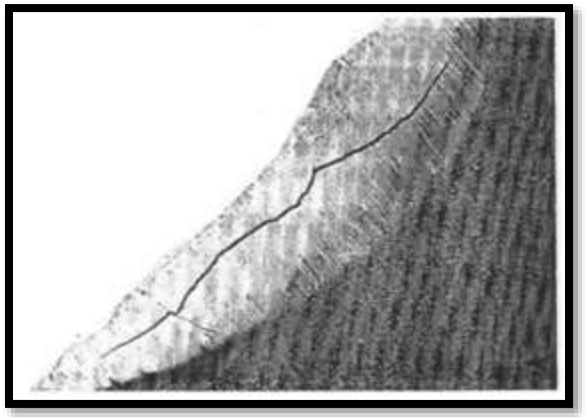

"A"
(c) 1999 RHAdler
www.RESnapshot.com

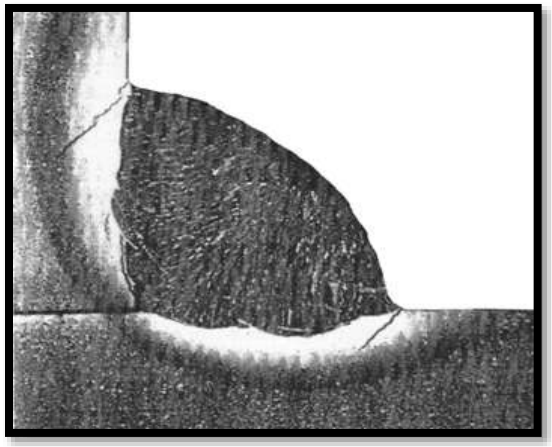
Welding Defects

Cracks

Crack Types

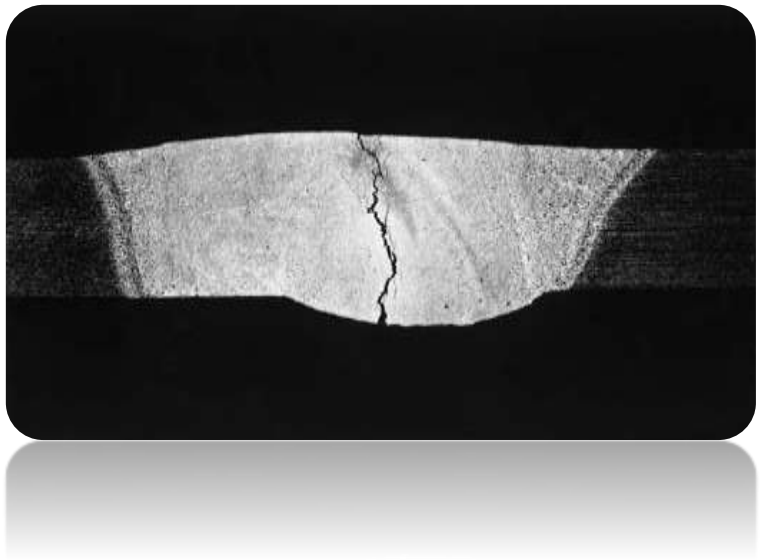
- Solidification cracks
- Hydrogen cracks

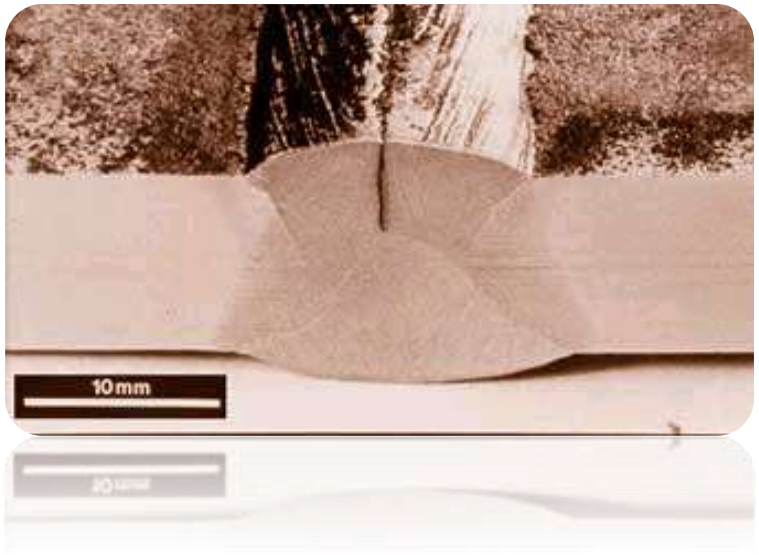




Welding Defects

Solidification Cracking





Welding Defects

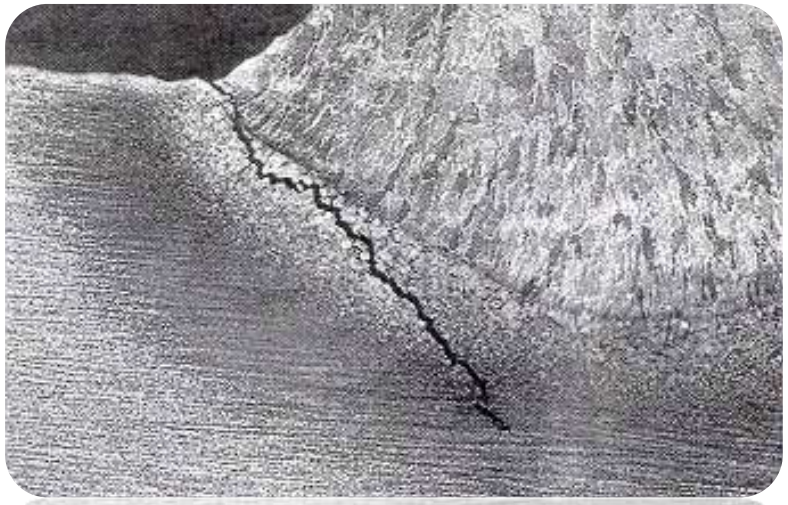
Cracks

Hydrogen Induced

- Requires susceptible grain structure, stress and hydrogen
- Hydrogen enters via welding arc
- Hydrogen source - atmosphere or contamination of preparation or electrode
- Moisture diffuses out into parent metal on cooling
- Most likely in HAZ

Welding Defects

Hydrogen Cracking



Welding Defects

Cracks

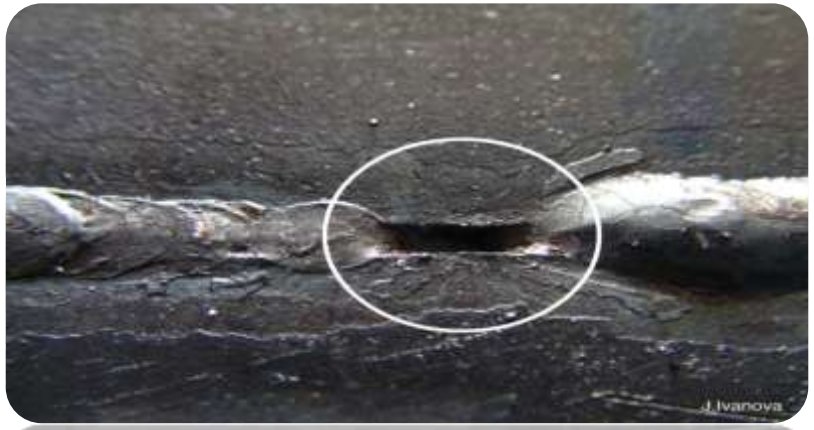
Lamellar Tearing

- Step like appearance
- Occurs in parent material or HAZ
- Only in rolled direction of the parent material
- Associated with restrained joints subjected to through thickness stresses on corners, tees and fillets
- Requires high sulfur or non-metallic inclusions

Welding Defects

Incomplete or Insufficient Penetration

نفوذ ناقص یا ناکافی

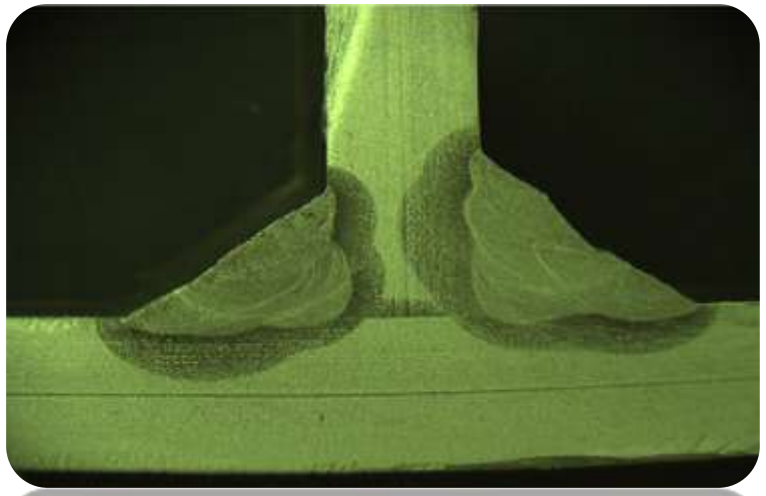


- **تعریف** : وقتی فلز جوش تا عمق لازم داخل ریشه اتصال ادامه نیابد.

Welding Defects

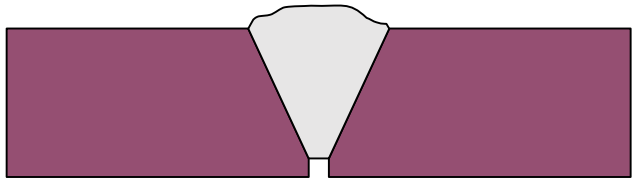
Incomplete or Insufficient Penetration

نفوذ ناقص یا ناکافی



Welding Defects

Incomplete root penetration



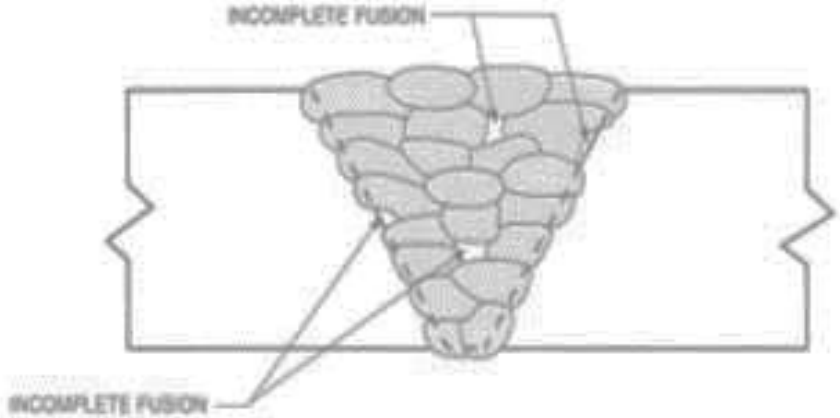
Causes

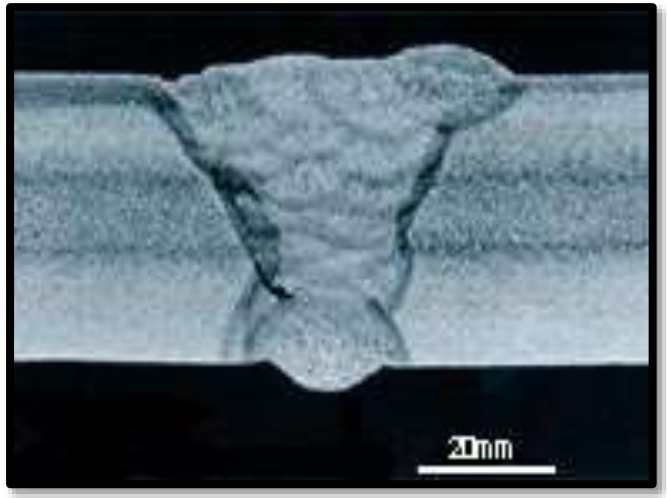
- Too small a root gap
- Arc too long
- Wrong polarity
- Electrode too large for joint preparation
- Incorrect electrode angle
- Too fast a speed of travel for current

Welding Defects

Incomplete Fusion

ذوب ناقص

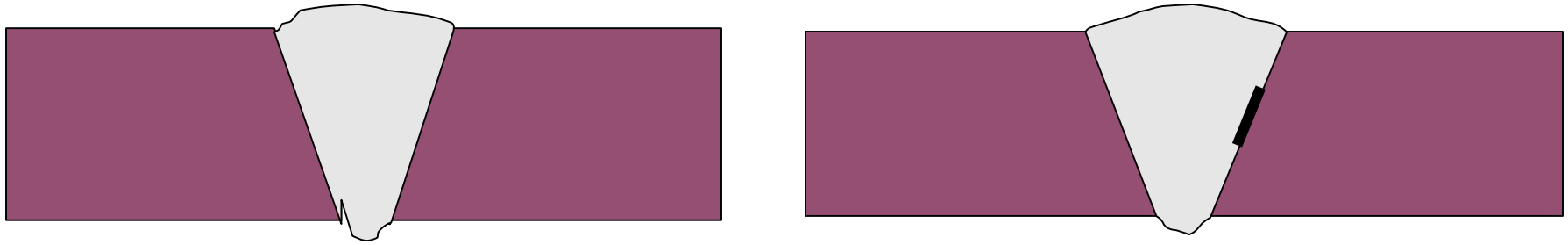




- Definition: Where weld metal does not form a cohesive bond with the base metal.
- تعریف : وقتی فلز جوش ، پیوند یکپارچه با فلز مبنا تشکیل ندهد

Welding Defects

Lack of fusion



Causes

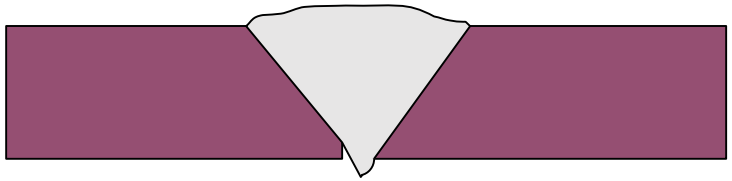
- **Contaminated weld preparation**
- **Amperage too low**
- **Amperage too high (welder increases speed of travel)**

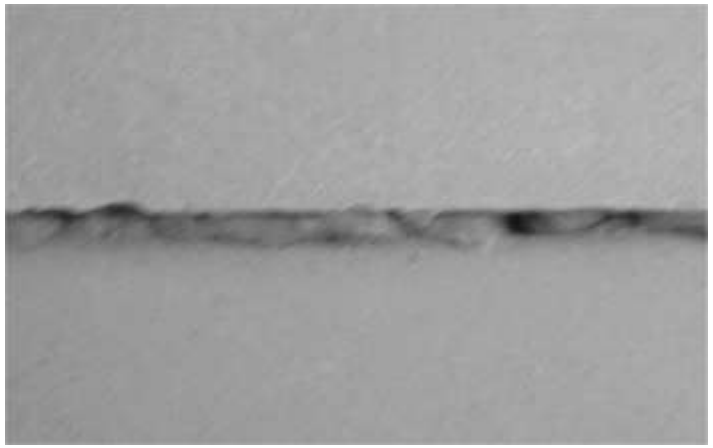
Welding Defects

Incomplete root Fusion

Causes

- Too small a root gap
- Arc too long
- Wrong polarity
- Electrode too large for joint preparation
- Incorrect electrode angle
- Too fast a speed of travel for current





Welding Defects

Excessive Concavity or Convexity

تقعر یا تحدب اضافی

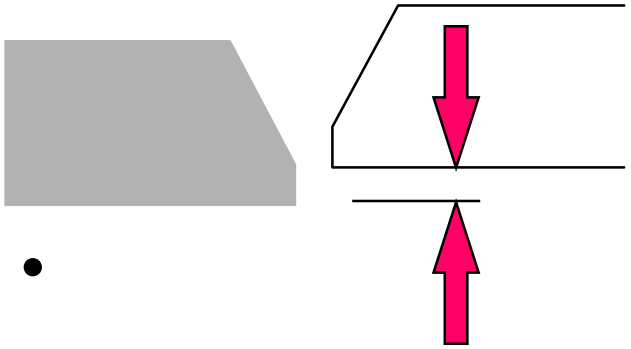
- **Definition:** Concavity or convexity of a fillet weld which exceeds the specified allowable limits

- **تعریف** : تقعر یا تحدب یک جوش (گوشه ای) که از حدهای مجاز مشخص شده بیشتر باشد

Welding Defects

➢**Misalignment** (hi-lo) نا همترازی(بالا و پایینی)

- **Definition:** Amount a joint is out of alignment at the root



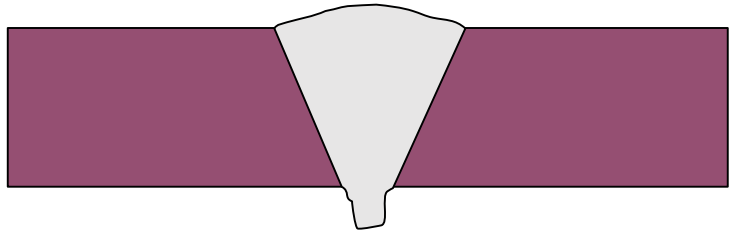
- **تعریف:** مقدار ریشه اتصال که در خارج از همترازی است.

- **Cause:** Carelessness. Also due to joining different thicknesses (transition thickness)

- **علت** : بی دقتی .همچنین بخاطر اتصال دادن ضخامتهای مختلف (ضخامت تبدیل).

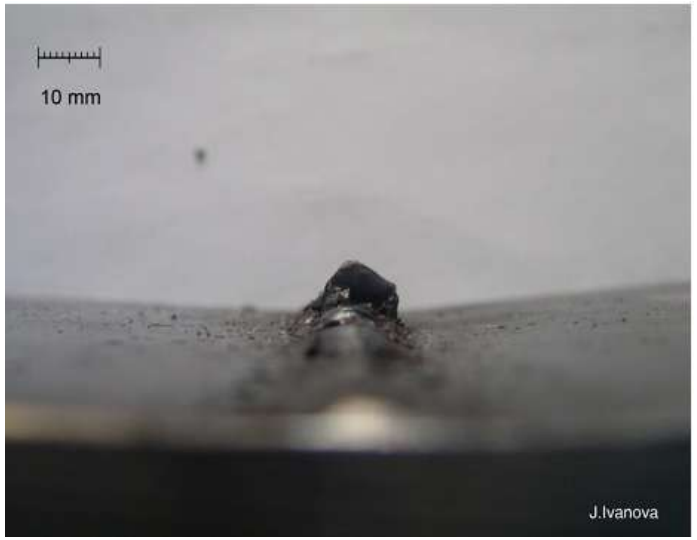
Welding Defects

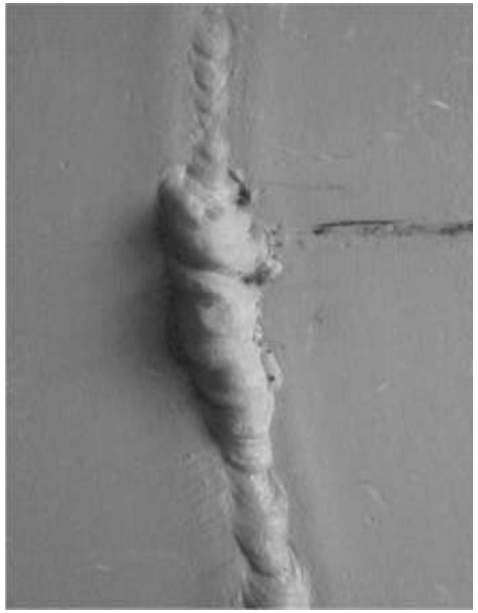
Excess Root Penetration



Causes

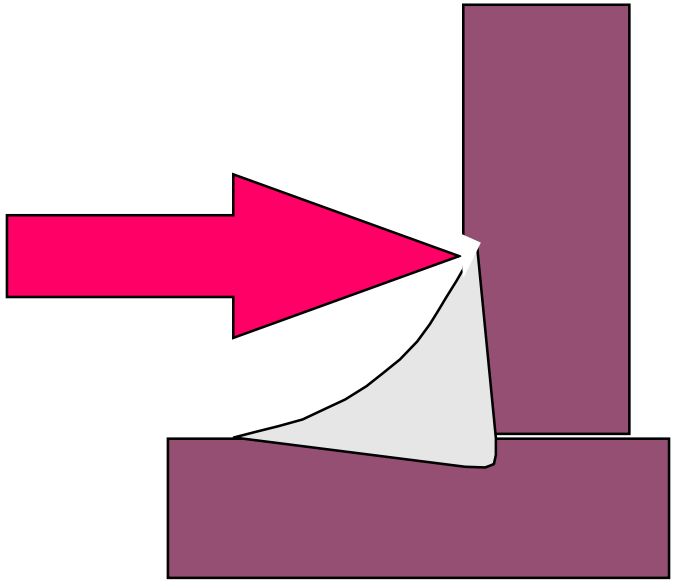
- **Excessive amperage during welding of root**
- **Excessive root gap (poor fit up)**
- **Improper welding technique**





Welding Defects

undercut

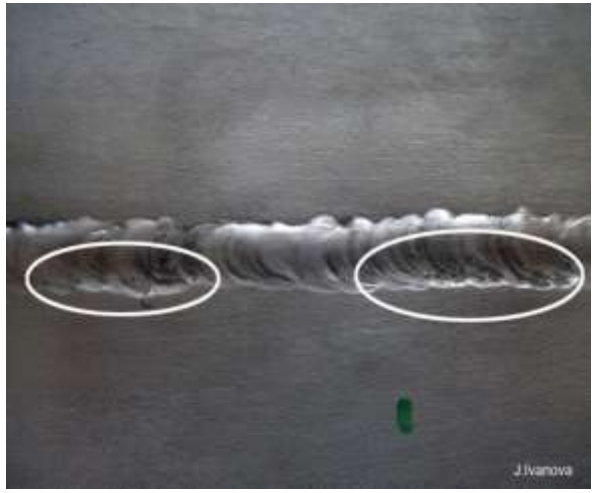


- **Definition:** A groove cut at the toe of the weld and left unfilled.
- **تعریف:** شیار بریده شده در پنجه جوش که پرنشده باقی مانده است.

- **Cause:** High amperage, long arc length, high travel speed
- **علت :** آمپر زیاد ، طول قوس بلند ، سرعت زیاد جوشکاری

Welding Defects

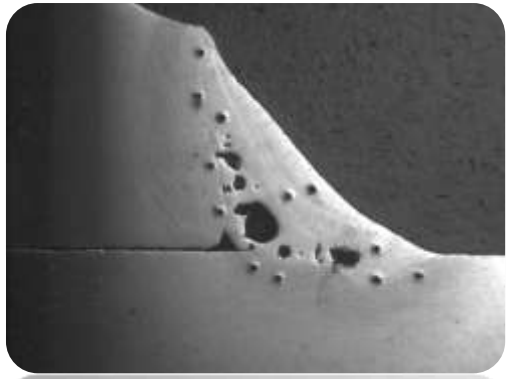
undercut



Welding Defects

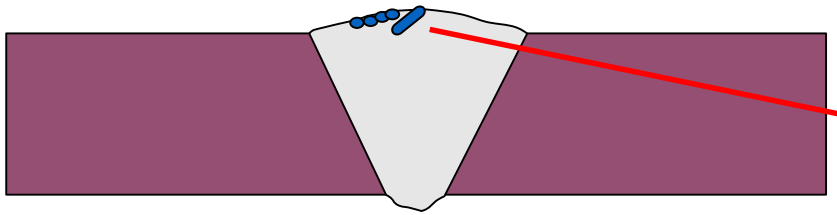
Gas pores / Porosity

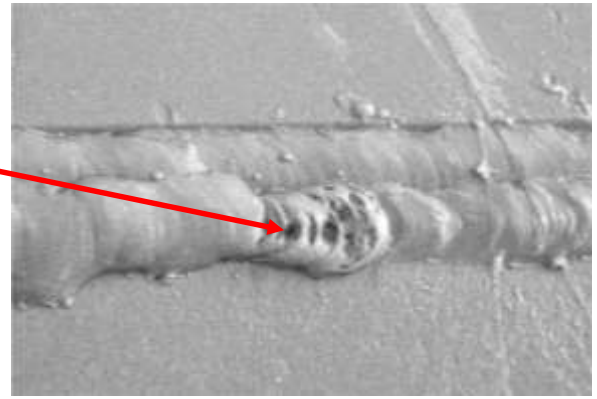
- Single Pore — منفذ تکی
- Uniformly Scattered — با پخش یکنواخت
- Cluster — خوشه ای
- Linear — خطی



Welding Defects

Gas pores / Porosity



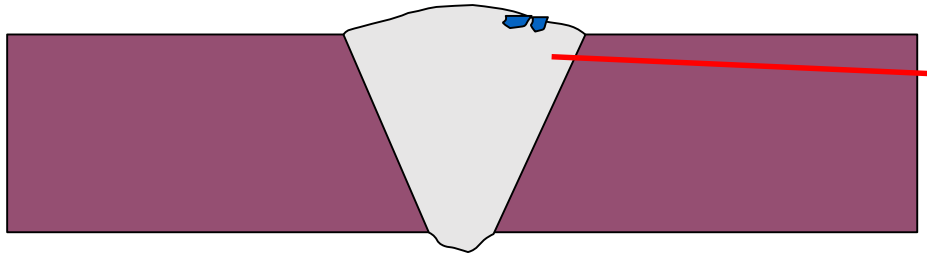


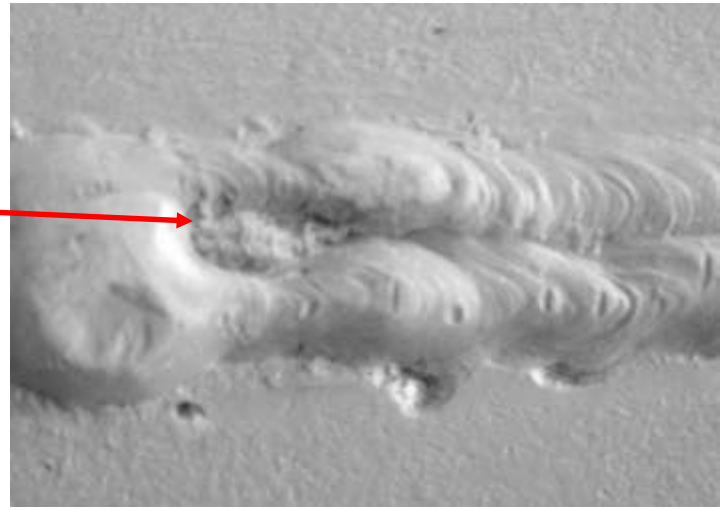
Causes

- **Excessive moisture in flux or preparation**
- **Contaminated preparation**
- **Low welding current**
- **Arc length too long**
- **Damaged electrode flux**

Welding Defects

Inclusions - Slag



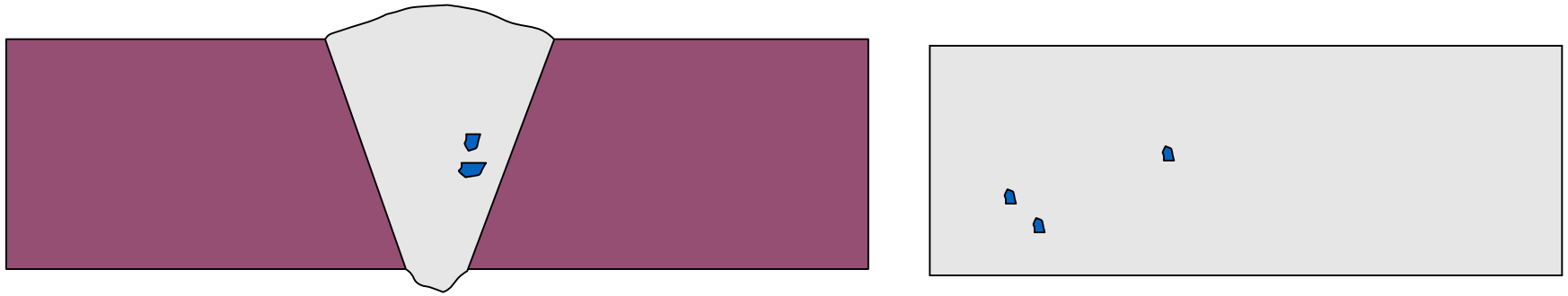


Causes

- **Insufficient cleaning between passes**
- **Contaminated weld preparation**

Welding Defects

Inclusions - Tungsten



Causes

- **Contamination of weld Caused by tungsten touching weld metal or parent metal during welding using the TIG welding process**

Welding Defects

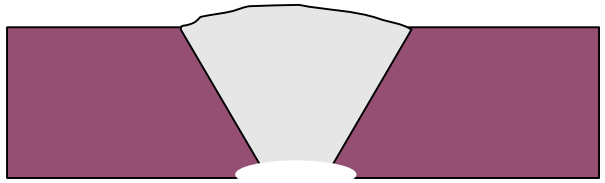
Burn Through

- **Definition**: When an undesirable open hole has been completely melted through the base metal. The hole may or may not be left open.

- **تعریف** : وقتی یک سوراخ باز نامطلوب بطور کامل قسمتی از کل (ضخامت) فلز مبنا را ذوب کرده باشد.سوارخ ممکن است بصورت باز رها شود یا نشود.

Welding Defects

Burn Through



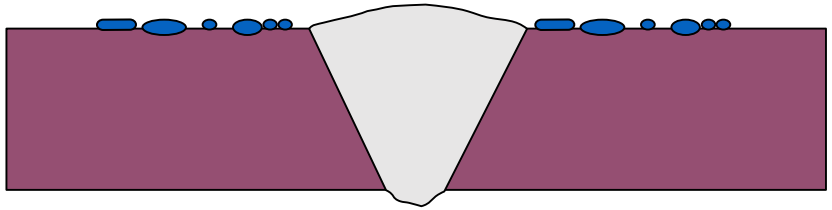
Example of Burn through

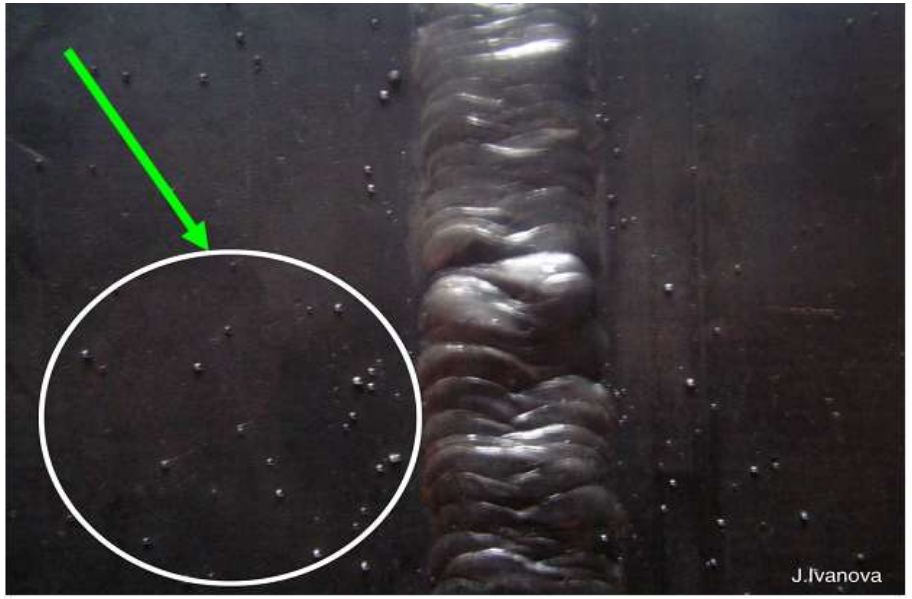
Causes

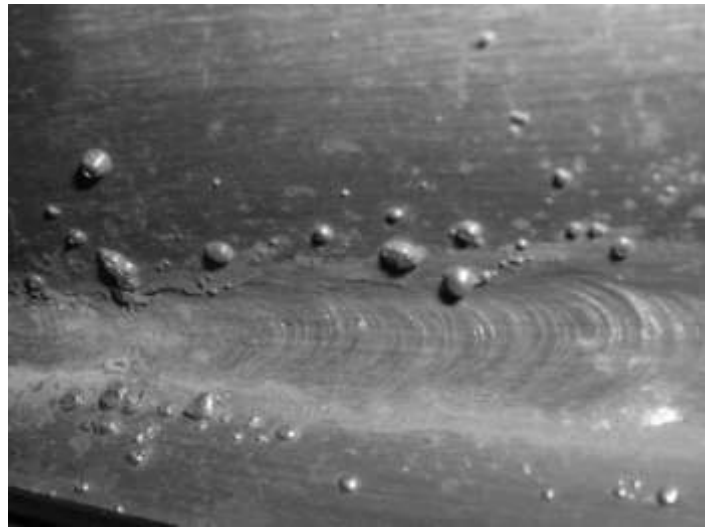
- **Excessive amperage during welding of root**
- **Excessive root gap**
- **Too low speed**

Welding Defects

Spatter







Causes

- **Excessive arc energy**
- **Excessive arc length**
- **Damage electrodes**
- **Arc blow**

Welding Defects

اعوجاج و پیچیدگی و تاب برداشتن در جوشکاری (Distortion)

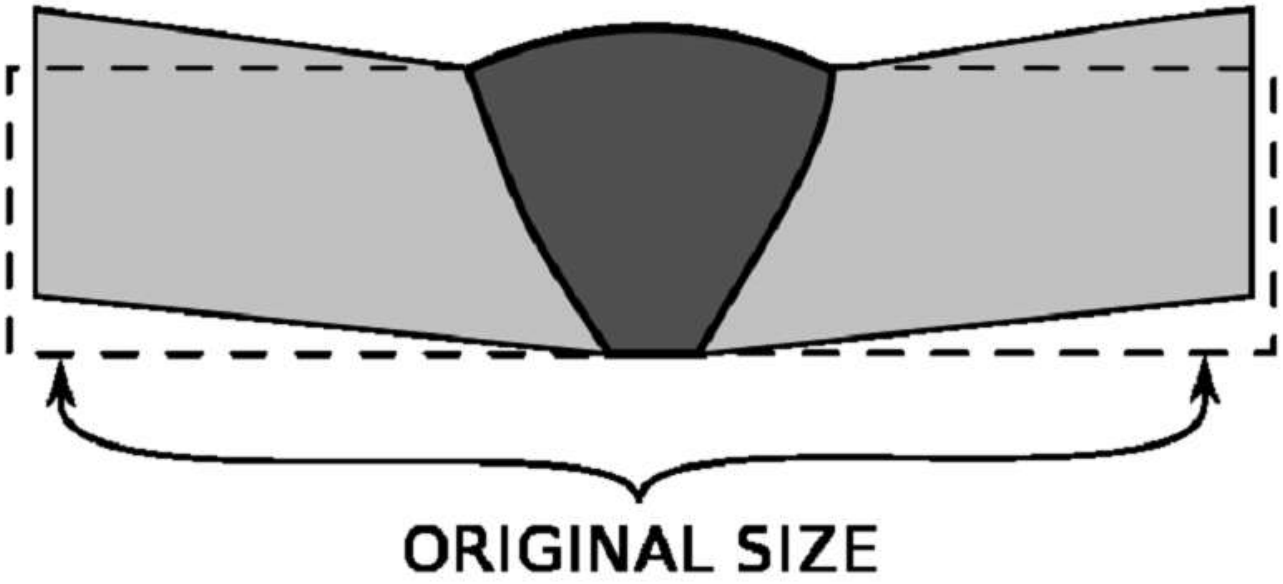
. اعوجاج اثر ناخواستهٔ انبساط و انقباض فلز حرارت دیده است.

در بسیاری از موارد آنقدر اعوجاج کوچک است که به سختی قابل رویت است ، ولی در بعضی از موارد آنقدر مقدار اعوجاج زیاد است که باید پیش از جوشکاری یا در هنگام جوشکاری و یا پس از جوشکاری تدابیری برای مبارزه با آن اتخاذ کرد.

اعوجاج دارای سه نوع است که عبارتند از :

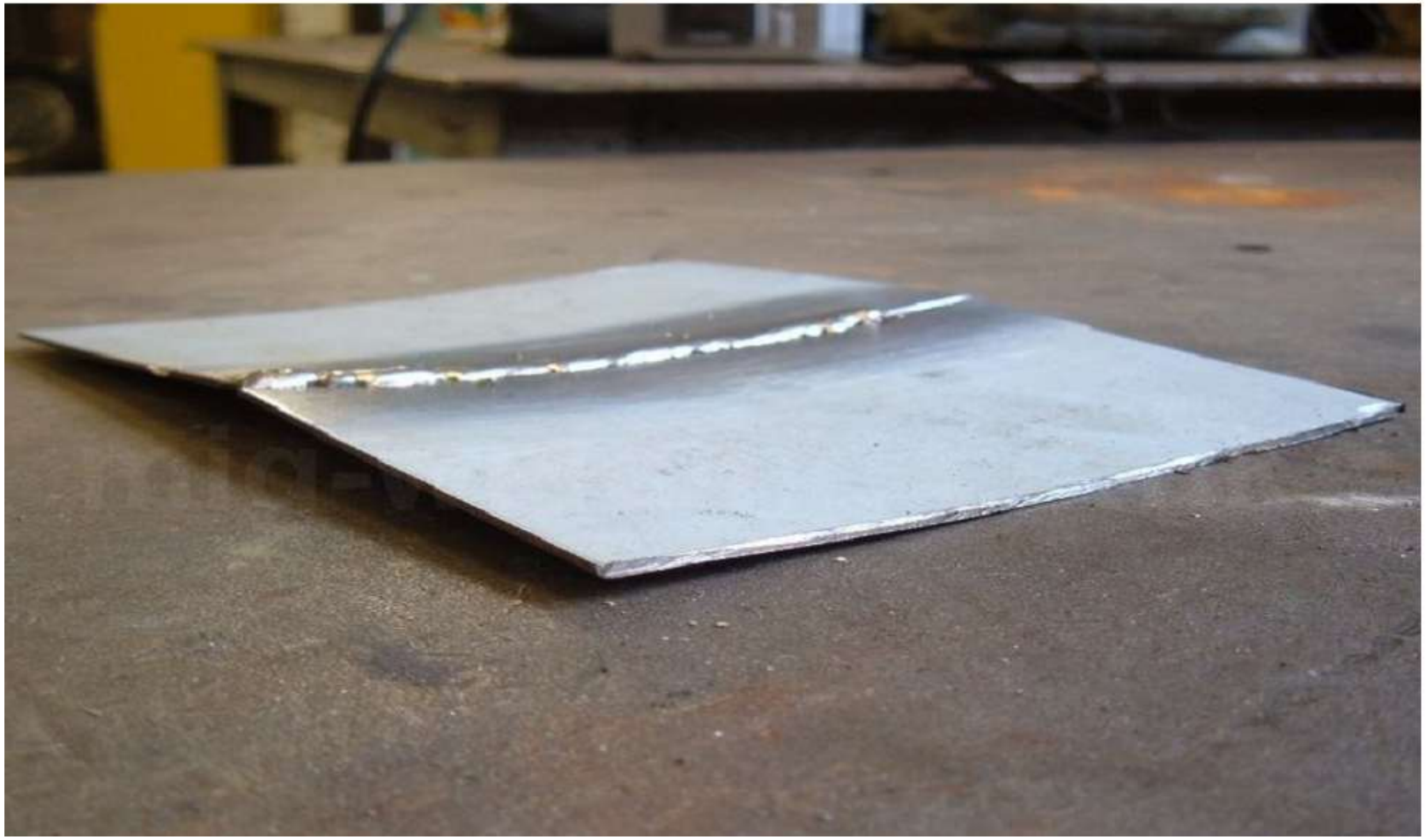
Welding Defects

۱.اعوجاج زاویه ای.



Welding Defects

۲.اعوجاج طولی



Welding Defects

۳.اعوجاج عرضی.

Welding Defects

علل بوجود آمدن اعوجاج عبارتند از :

1. حرارت دادن.
2. عدم استفاده از وسایل مورد نیاز برای مهار کردن قطعه.
3. تنش های پسماند موجود در قطعه.
4. مناسب نبودن خواص قطعه کار.

علل اعوجاج هنگامی که فلز تحت بار ، کرنش یا حرکت می کند و تغییر شکل می دهد :

1. تحت بار گذاری ضعیف ، فلزات بصورت الاستیک باقی می مانند. (به شکل اصلی خود باز می گردند یا پس از اینکه بار برداشته شد شکل جدید می گیرند) که این مطلب تحت عنوان محدودهٔ الاستیک شناخته می شود.
2. تحت بار خیلی زیاد ، فلزات تا حدی تحت تنش قرار می گیرند که دیگر به شکل اول خود باز نمی گردند یا شکل نمی گیرند و این نقطه (نقطهٔ تسلیم) نامیده می شود. (تنش تسلیم)
3. فلزات با حرارت دیدن انبساط می یابند و وقتی سرد می شوند منقبض می شوند. فلزات در حین جوشکاری گرم و سرد می شوند که موجب تنش های بالای ناگهانی و اعوجاج می شوند.

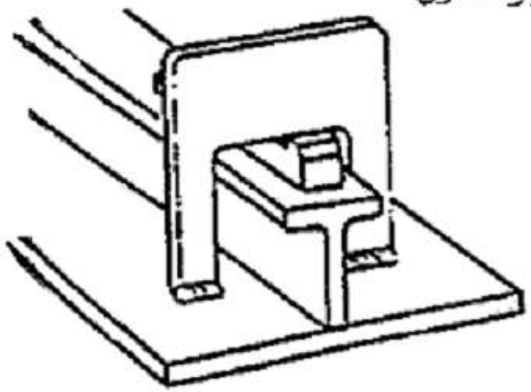
اگر تنش های بالا از محدودهٔ الاستیک بگذرند و از نقطهٔ تسلیم نیز رد شوند ، باعث بوجود آمدن برخی پیچیدگی های دائمی در فلز می شوند ، تنش تسلیم فلز در دماهای بالا کاهش می یابد.

Welding Defects

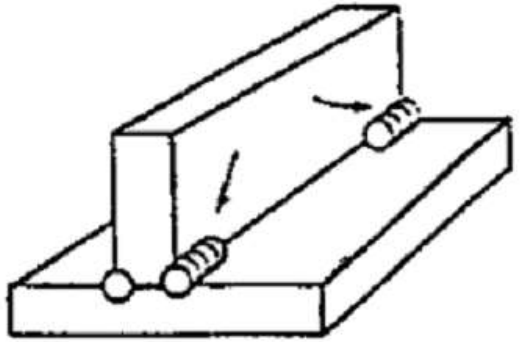
روش های کنترل و کاهش اعوجاج :

در جوشکاری می توانیم در سه مرحله از بوجود آمدن اعوجاج جلوگیری کنیم که عبارتند از :

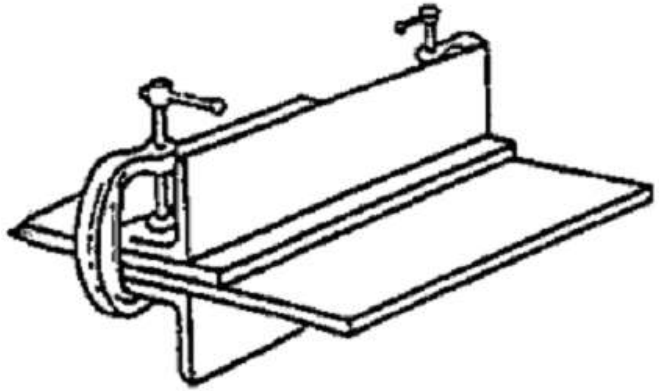
راه های کنترل اعوجاج قبل از جوشکاری



IIGS & FINTLERS بست



TACN WELDS خال جوش



CLAMPS گیره و نگهدارنده

PRE _ SETTING مونتاژ

Welding Defects

راه های کنترل اعوجاج بعد از جوشکاری عبارتند از :

1. آرام سرد کردن.
2. صافکاری شعله ای (حرارت دهی معکوس).
3. آنیل کردن.
4. تنش زدایی.
5. نرمال کردن.
6. صافکاری مکانیکی.

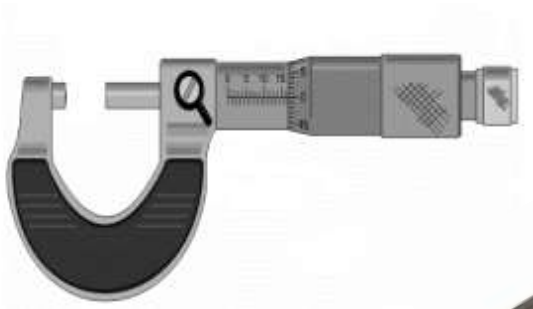
در سازه های فلزی ساختمان معمولاً روش های ۱ و ۲ بیشتر اعمال می گردد و سایر روش ها در کارهای صنعتی بیشتر کاربرد دارد.

ورقکاری

آشنایی با فرآیند اندازه گیری

وسایل اندازه گیری ابعادی

- متر نواری فلزی
- متر تاشو
- میکرومتر
- کولیس
- خط کش فلزی

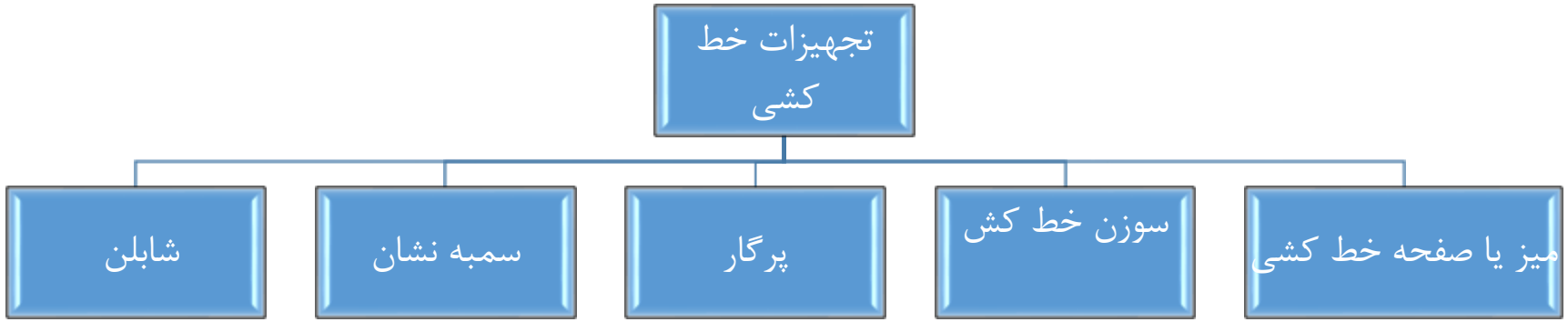


آشنایی با فرآیند خط کشی

خط کشی : خط کشی عبارت است از انتقال اندازه بر روی ماده اولیه قطعه کار که قبلاً توسط عملیاتی برای ساخت آماده شده است.

اندازه هر قطعه از یکی از منابع زیر بدست می آید:

۱) از روی نقشه فنی
۲) از روی قطعه نمونه
۳) از معلوماتی که داده می شود


تجهیزات خط کشی
میز یا صفحه خط کشی
سوزن خط کش
پرگار
سمبه نشان
شابلن

آشنایی با فرآیند سوراخکاری

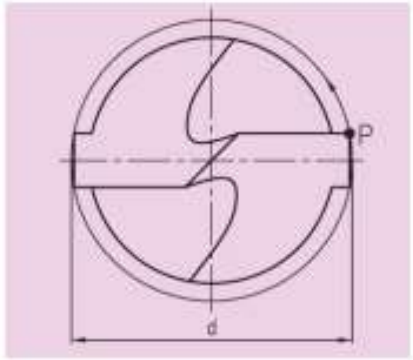
سوراخکاری : برای سوراخ کردن قطعات از وسیله ای به نام مته استفاده می شود.

مته : قطعه ای است فولادی که به فرم مخصوص در آورده شده و نوک آن تحت زوایای معینی تیز می شود، مته ها ممکن است دنباله استوانه یا مخروطی داشته باشند. که در شکل زیر نیز می بینید.

مته ها به دستگاهی بسته می شوند تا قطعات را سوراخ کنند، که به این دستگاه ها ماشین مته یا دریل گفته می شود. دستگاه ماشین مته در انواع دستی و برقی ساخته می شود که در شکل های زیر می بینید.

سرعت برش :

در ابزارهای دوّار مانند مته ها سرعت برش همان سرعت محیطی است. مطابق شکل سرعت محیطی یعنی مسافتی که نقطه ای مانند P روی محیط مته در مدت زمان یک دقیقه طی می کند.



سرعت برش با توجه به عواملی مانند جنس ابزار و جنس قطعه کار و استفاده از مایع خنک کننده به دست می آید .این سرعت برای جنس های مختلف در جداول زیر آماده است شده اند :

مقادیر سرعت برش براساس جنس قطعه‌کار							
مقادیر مرجع برای سوراخ‌کاری با مته‌های از جنس HSS[1]							
جنس قطعه‌کار		سرعت برادهبرداری[2] Vc m/min	قطر مته d به mm				
گروه جنس	استحکام کششی R_m به N/mm² یا سختی HB		2... 3	>3... 6	>6...12	>12...25	>25...50
			پیشروی f به دور/ mm				
فولادها، استحکام پایین	$R_m \leq 800$	40	0/05	0/10	0/15	0/25	0/35
فولادها، استحکام بالا	$R_m > 800$	20	0/04	0/08	0/10	0/15	0/20
فولادهای زنگ نزن	$R_m \geq 800$	12	0/03	0/06	0/08	0/12	0/18
چدن خاکستری، چکش‌خوار	≤ 250HB	20	0/10	0/20	0/30	0/40	0/60
آلیاژهای AI	$R_m \leq 350$	45	0/10	0/20	0/30	0/40	0/60
آلیاژهای Cu	$R_m \leq 500$	60	0/10	0/15	0/30	0/40	0/60
ترموپلاست‌ها	-	50	0/10	0/15	0/30	0/40	0/60
دوروپلاست‌ها	-	25	0/05	0/10	0/18	0/27	0/35

تعداد دوران

حال با توجه به مفهوم سرعت برش می توان تعداد دوران مناسب را مشخص کرد .برای این کار باید ابتدا با توجه به جنس قطعه کار و ابزار مقدار سرعت برش مناسب را از جداول استاندارد معلوم کرد. سپس به دو روش می توان تعداد دوران مته را تعیین کرد.

روش محاسبه

در این حالت با مشخص بودن قطر مته و مقدار سرعت برش می توان این دو مقدار را در رابطهٔ سرعت برش قرار داد و تعداد دوران را مشخص کرد.

Formula for Drilling :

Cutting speed (vc)

$$vc = \frac{\pi \cdot DC \cdot n}{1000} \ (m/min)$$

vc (m/min) : Cutting Speed
DC (mm) : Drill Diameter
n (3.14) : Pi
n (min-1) : Main Axis
Spindle Speed

Divide by 1,000 to change to m from mm.

Feed of the main spindle (vf)

$$vf = fr \cdot n \ (mm/min)$$

vf(mm/min) : Feed Speed of the Main Spindle (Z axis)
fr(mm/rev) : Feed per Revolution
n(min^{-1}) : Main Axis Spindle Speed

Drilling time (Tc)

$$Tc = \frac{ld \cdot i}{n \cdot fr}$$

Tc (min) : Drilling Time
n (min^{-1}) : Spindle Speed
ld (mm) : Hole Depth
fr (mm/rev): Feed per Revolution
i : Number of Holes

- ✓ **تمرین :** اگر برای سوراخ کردن قطعه کاری از جنس چدن خاکستری، مته ای از جنس HSS و به قطر ۱۰mm انتخاب شود، تعداد دوران مناسب را محاسبه کنید. (با توجه به جدول صفحه قبل سرعت برش ۲۵ m/min انتخاب می شود)

- ✓ **نکته :** حال با توجه به تعداد دوران قابل تنظیم ماشین مته نزدیک ترین دور نسبت به عدد به دست آمده انتخاب می شود.
- ✓ **نکته** : لازم به توضیح است که در حین فرآیند سوراخ کاری استفاده از مایع خنک کننده به کاهش حرارت کمک می کند و با استفاده از آن می توان با سرعت برش مناسب کار کرد .در صورت عدم استفاده از مایع خنک کننده بهتر است سرعت برش کمتر انتخاب شود.

آشنایی با فرآیند برشکاری

برشکاری :

برشکاری عبارت است از جداسازی یا ایجاد شیار در قطعات و مواد خام فلزی که توسط ابزار های براده برداری دستی یا ماشینی صورت می گیرد .انواع تسمه ها، مفتول ها، لوله ها، پروفیل ها و ور قها را می توان به کمک روشهای برشکاری در انداز ه های مورد نظر تهیه کرد.

برشکاری دستی : از جمله رو شهای برشکاری دستی می توان به اره کاری دستی یا قیچی کاری اشاره کرد. در اره کاری بسته به جنس و سختی فلزات از تیغه با دندان ههای مختلف استفاده می شود. همچنین برای بریدن ورق ها می توان از قیچی دستی و یا قیچی اهرمی با بازوهای گوناگون استفاده کرد.

برشکاری ماشینی: در این روش، برشکاری و جداسازی قطعات توسط ماشین های ویژه ای صورت می گیرد.

- **اره لنگ و اره نواری :** که به طور معمول برای جداسازی مفتول های تو پر با قطرهای بالا به کار می روند.

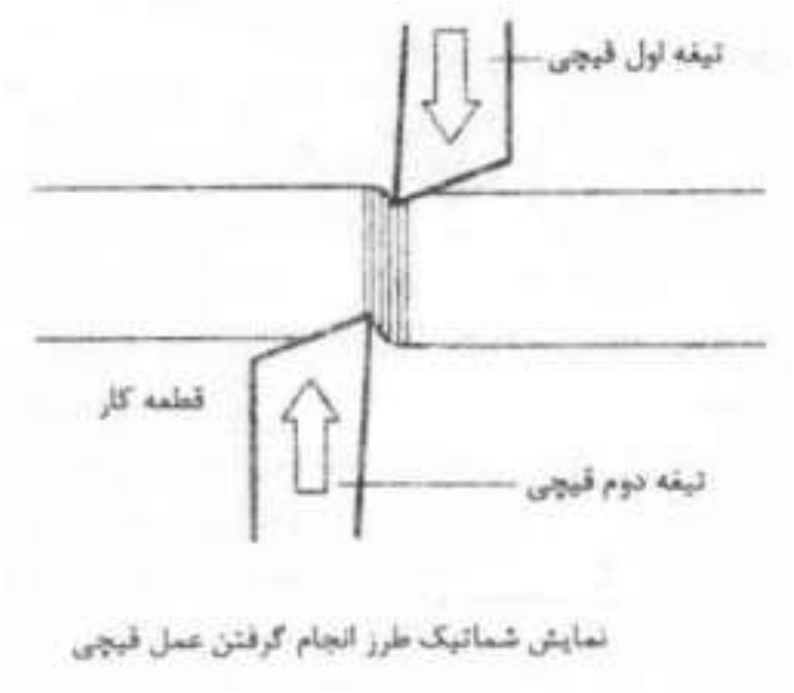
- **اره آتشی :** برای بریدن انواع قوطی ها و تسمه ها و پروفیل ها در اندازه ها و زوایای مورد نظر به کار می رود.

- **برشکاری با قیچی پرسی :** برای بریدن ورق های نازک استفاده می شود. همچنین برخی از قطعات توسط شعله گاز برشکاری می شوند.

- **سنگ فیبری :** دستگاه برشکاری قابل حملی است که می توان از آن برای برشکاری قطعات در شرایط گوناگون کاری استفاده کرد.

قیچی کردن :

عبارت است از بریدن بدون براده به وسیله دو تیغه قیچی گوه ای شکل که لبه های آن به وسیله دست یا ماشین از کنار هم عبور داده می شود.



نمایش شماتیک طرز انجام گرفتن عمل قیچی

شیوه های قیچی کاری :

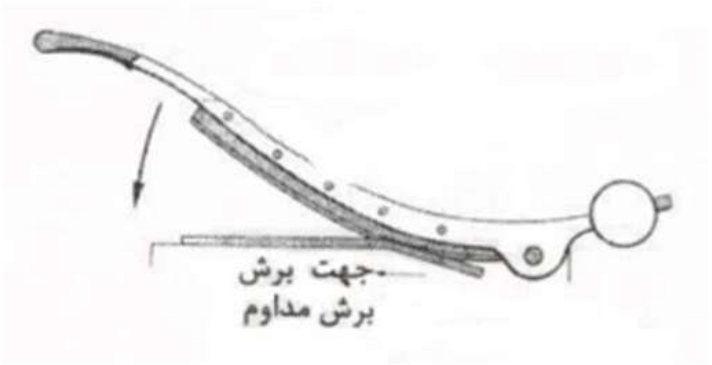
قیچی کردن بسته به طرز ساختمان قیچی به روش های زیر انجام می گیرد :

۱- با برش مداوم

۲- با برش ضربه ای

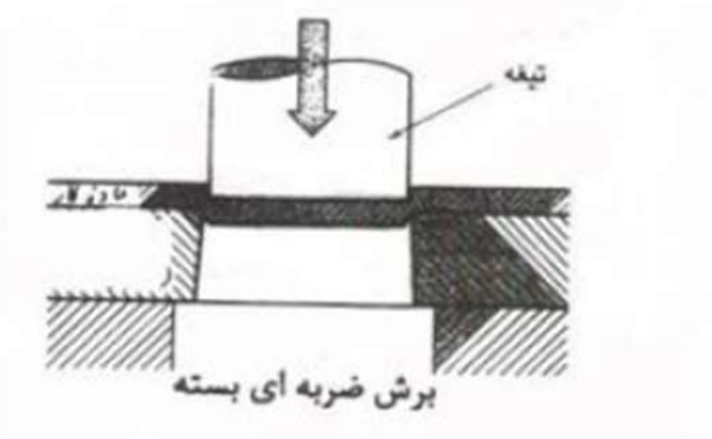
- **برش مداوم :**

برش مداوم به نحوی صورت می گیرد که تیغه های قیچی با زاویه معینی به اسم زاویه قیچی یا زاویه برش به تبعیت از حرکت تیغه ها، ورق را نقطه به نقطه جدا می کنند و محل برش در امتداد خط برش پیش می رود.



- **برش ضربه ای :**

در این نوع برش تیغه های قیچی با زاویه صفر درجه نسبت به هم ورق را در نقاط خط برش در یک لحظه جدا می کنند. در اشکال زیر دو نوع برش ضربه ای باز و ضربه ای بسته را می بینید.



آشنایی با فرآیند ورقکاری

ورقکاری : ورقکاری انجام یک سری عملیات روی ورق فلزی و استفاده از آن برای ساخت طرح مورد نظر می باشد. این عملیات عبارتند از :

۱- گسترش
۲- برش
۳- فرمانکاری
۴- اتصال

✓ نکته : اگر این ضخامت بیشتر از ۴ میلیمتر باشد به آن صفحه و اگر کمتر از ۴ میلیمتر باشد به آن ورق گفته می شود.

۱- **ورق های آهنی** : این ورق ها از شمش های آهنی با آلیاژهای مختلف تهیه می شوند.

۲- **ورقهای غیر آهنی (ورقهای فلزات رنگین)** : این ورقها از شمش هایی با جنس های مختلف که در ساختار آنها آهن وجو ندارد، ساخته می شوند.

ورقهای آهنی

۱- **ورق آهن سیاه** : به رنگ تیره می باشد و در مجاورت رطوبت زنگ می زند.

- ✓ روش تهیه: پس از عبور دادن از زیر غلطک ها، برای تمیز کردن آن را با اسید شستشو می دهند و سپس بدون رو کش می توان مورد استفاده قرار گیرد.
- ✓ مورد استفاده : ساخت کمد، میز، قفسه، اطاق اتومبیل و استفاده از ورق های ۴ میلیمتر برای مخازن تحت فشار.

۲- **ورق گالوانیزه** : به رنگ تیره روشن بوده و روکش روی و سرب در آن مانع زنگ زدگی می شود.

- ✓ روش تهیه: پس از عبور ورق از زیر غلطک برای تمیز کردن آن را با اسید شسته و سپس از داخل مذاب روی و سرب می گذرانند.
- ✓ مورد استفاده: ساخت کانالهای تهویه، دودکشها، منبع و مخازن.

۳- **ورق آهن سفید :** به رنگ روشن تر از ورق گالوانیزه می باشد و دوام این ورق ها در مجاورت رطوبت کمتر از ورق گالوانیزه می باشد.

- ✓ روش تهیه: پس از عبور ورق از زیر غلطکها، آن را با اسید شستشو می دهند و سپس در داخل وان مذاب روی قرار می دهند.
- ✓ مورد استفاده: موارد استفاده آن مشابه ورق گالوانیزه است.

۴- **حلب (ورق قلع اندود):** کمی روشن تر از ورق آهن سیاه می باشد و با ضخامت های کم تهیه می شود و مقاومت آن در مقابل پوسیدگی خوب است.

- ✓ روش تهیه: پس از عبور ورق از زیر غلطکها آن را با اسید شستشو داده و سپس داخل وان مذاب قلع قرار می دهند.
- ✓ موارد مصرف: ساخت قوطی و ظرف های نگهداری مواد غذایی مثل کنسرو، کمپوت و ...

ورق های غیر آهنی

۱- **ورق مسی :** رنگ آن قهوه ای مایل به قرمز است و در مجاورت رطوبت زنگ نمی زند.

- ✓ موارد مصرف: در کارهای تزئینی، ظروف آشپزخانه و ...

۲- **ورق آلومینیم :** سبک و به رنگ سفید می باشد.

- ✓ موارد مصرف : در کارهای تزئینی، ساخت ظروف و در صنعت هواپیما سازی.

۳- **ورق برنج :** به رنگ زرد شفاف بوده و آلیاژی از مس و روی می باشد. در کارهای تزئینی و در ساخت بعضی از وسایل خانه استفاده می شود.

۴- **ورق روی :** شکننده و به رنگ خاکستری می باشد و به عنوان روکش فلزات آهنی استفاده می شود.

۵- **ورق برنز :** آلیاژی از مس و قلع بوده و به رنگ نارنجی می باشده و در ساخت لوله ها و بعضی از وسایل مثل سماور استفاده می شود.

۶- **ورق فولاد زنگ نزن :** آلیاژی از آهن، نیکل، کرم، ... و به رنگ سفید براق می باشد و در ساخت قطعات با کاربرد های خاص استفاده می شود.

اصول ورقکاری

۱. گسترش

گسترش قطعه را باید به صورت نقشه آماده کرده و آن را روی ورق به طور دقیق ترسیم نمایید. وسایل خط کشی و اندازه گیری در ورقکاری که برای ترسیم طرح گسترش بر روی ورق استفاده می شود عبارتند از :

الف- خط کش فلزی : از جنس فولاد، درجه بندی بر حسب اینچ و میلی متر و به طول های ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ سانتیمتر.

ب- سوزن خط کش : از جنس فولاد

ج- گونیا فلزی: گونیا ۹۰ درجه جهت اندازه گیری و رسم خطوط عمود بر هم ، گونیا متحرک ، گونیا ی مرکب.

د- پرگار فلزی شامل پرگار معمولی، پرگار کشویی، پرگار انتقال

ه- نقاله فلزی شامل نقاله ساده با خط کش

۲. برش

برشکاری ورق های فلزی به روش های مختلف انجام می شود که در جدول این روشها و ابزار ها مربوط به آنها مشخص شده اند.

روش			ابزار
روشهای مکانیکی	قلم کاری		قلم تخت قلم ناخنی
	قیچی کاری	قیچی‌های دستی	اونیورسال فرمبر
		قیچی‌های اهرمی (بازوئی)	گیره‌ای میزی اهرمی گردچین
		قیچی‌های مکانیک	قیچی‌های تیغه صاف ـ تیغه بلند تیغه کوتاه وخیلی کوتاه قیچی‌های تیغه گرد
	سوراخکاری		سنبه ماتریس برش فرمی ماشین پرس
	سوراخکاری با مته		ماشین مته
	اره کاری		اره نواری اره متناوب
روشهای حرارتی	برشکاری با گاز و قوس الکتریک		مشعل برش ماشین برش اتوماتیک ماشین جوش برق
	ذوبی		مشعل برش با گاز پلاسما

عمل برشکاری به وسیله قیچی در سه مرحله انجام می گیرد.

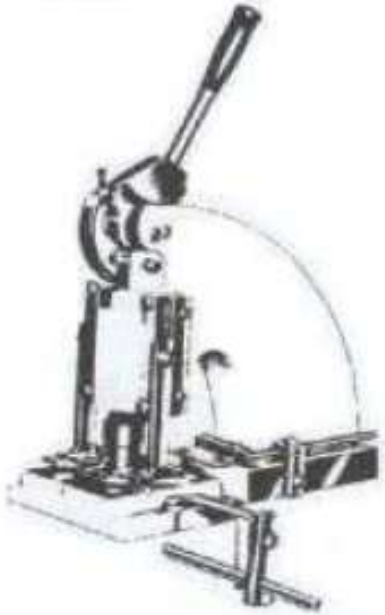
۱ـ نفـوذ: در ابتدا لبه‌های تیغه‌هـای قیچی در کار نفوذ کرده وموجب فشـردگی لایه‌های روی ورق از دو طرف می‌شود.

۲ـ بـرش: با افزایش نیرو تیغه‌ها عمل برش را آغاز می کنند. این عمل تا آنجا ادامه پیدا می کند که قطعه در اثر افزایش نیرو مقاومت خود را از دست داده وموجب شکست سطح باقی مانده از ورق می‌شود.

۳ـ شکسـت: با افزایش نیـرو ونفوذ تیغه‌های قیچی در کار نیـرو به حدی افزایش می‌یابد که دیگر قطعه تحمل آن را نداشته موجب شکست می گردد

بریدن نام عمل قطع کردن مکانیکی ورقه ها و تسمه های فلزی بدون سوزاندن، ذوب کردن، و یا ایجاد تراشه است. هنگامی که دو تیغه برنده مستقیم باشند، نام عمل بریدن است و هنگامی که تیغه ها منحنی و سنبه و قالب استفاده شوند، نامهای خاص دیگری از قبیل بریدن، سوراخ کردن و ... دارد.

قیچی ها : قیچی ها از نظر قدرت برشی و نوع کاربرد شان در صنعت به قیچی های دستی، پیچی های اهرمی و قیچی های مکانیکی و برقی تقسیم بندی می شوند.



سوراخ‌زن دستی برای ایجاد سوراخ

قیچی صنعتی برای برش ورق

صافکاری و مسطح نمودن ورق : صافکاری عملیاتی است که به منظور استحکام بخشیدن و یکنواخت کردن سطوح قطعات ساخته شده، قبل از آبکاری و رنگ کاری انجام می شود. مسطح نمودن عبارت است از عملی که در نتیجه آن ورق در حد امکان و مستوی می شود.

۳. فرمان کاری

در این قسمت منظور فرم دادن ورق های فلزی به طریق سرد می باشد که به وسیله دست (چکش ها و وسایل مربوط) و ماشین های مکانیکی صورت می گیرد.

خمکاری ورق های فلزی : خم کردن روشی است که فقط در یک جهت می توان شکل ایجاد کرد. در واقع عمل خمکاری یک نوع شکل دادن در امتداد خط مستقیم است که پیرامون یک محور خم می شود و به حالتهای U و V شکل است.

خط خم: مرز ناحیه ای که شدیدا تغییر شکل داده با قسمتی که تغییر شکل نداده است را خط خم نامیده اند.

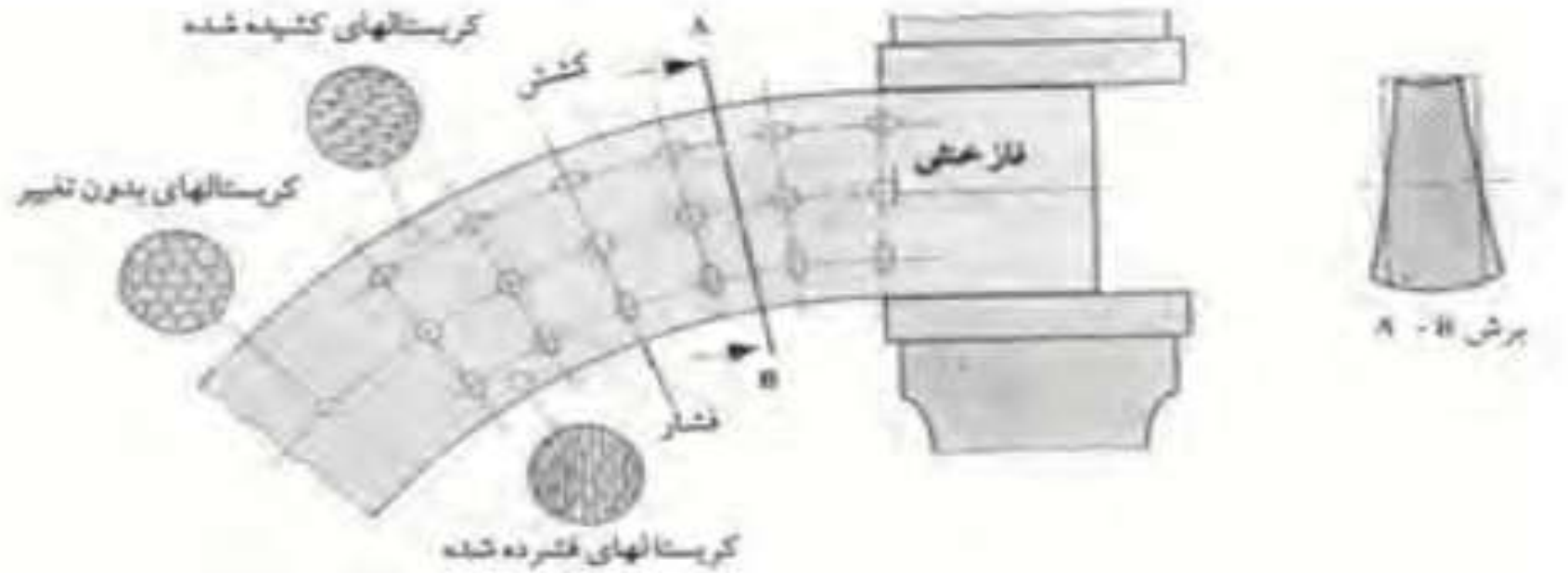
محور خمش: محوری است که به موازات خط خم است در واقع، پیرامون آن عمل خمکاری انجام می شود شدت خمکاری به پارامتر هایی چون ضخامت ورق، جنس ورق، شعاع خمکاری و زاویه خم بستگی دارد.

قابلیت خم کاری

قابلیت خم کاری ورق‌های فولادی متغیر است وبه درصد کربن آن‌ها بستگی دارد. با افزایش مقدار کربن قابلیت خم کاری کاهش می‌یابد. ورق‌های فلزی که درصد کربن آن‌ها ۱/۲ است قابلیت خم کاری در حالت سرد را دارند وچنان‌چه درصد کربن از مقدار ذکر شده بیش‌تر شود خم کاری به روش گرم انجام می گیرد. ورق‌های غیر آهنی را معمولاً در حالت سرد خم کاری میکنند ولی بعضی از آن‌ها را به دلیل نداشتن قابلیت انعطاف لازم بایستی ابتدا گرم وسپس خم کاری کنند. ورق‌های روی و آلیاژهای آلومینیوم در حالت گرم بهتر خمکاری می شوند.

تئوری خم کاری

اصطلاح خم کاری وپارامترهای آن را می‌توان در شکل مشاهده کرد در خم کاری یک ورق رشته های بیرونی قطعه (سطح بالای ورق) تحت کشش ورشته های درونی قطعه (سطح پایینی ورق) تحت فشار قرار می گیرد. مطابق تئوری خم کاری اگر از تغییردر ضخامت منطقه خم صرفنظر شود محور خنثی در رشته مرکزی باقی می ماند که تغییری در آن به وجود نمی‌آید. به همین دلیل این رشته را فاز خنثی می‌نامند



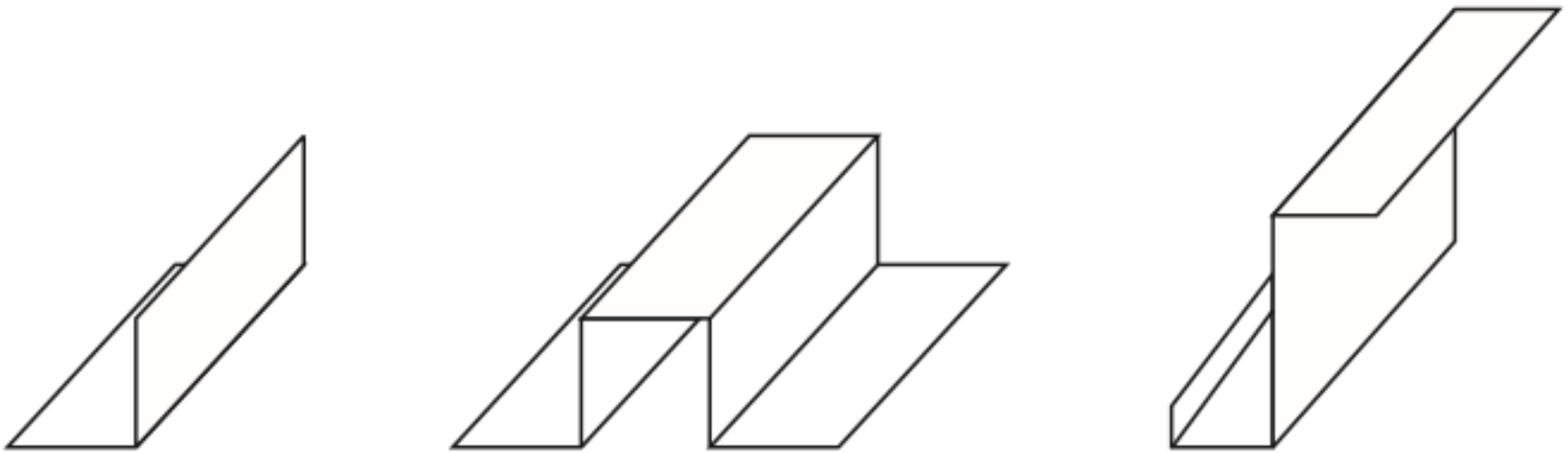
انواع خم‌کاری

انواع خم‌کاری‌های مورد استفاده در ورق‌کاری را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم

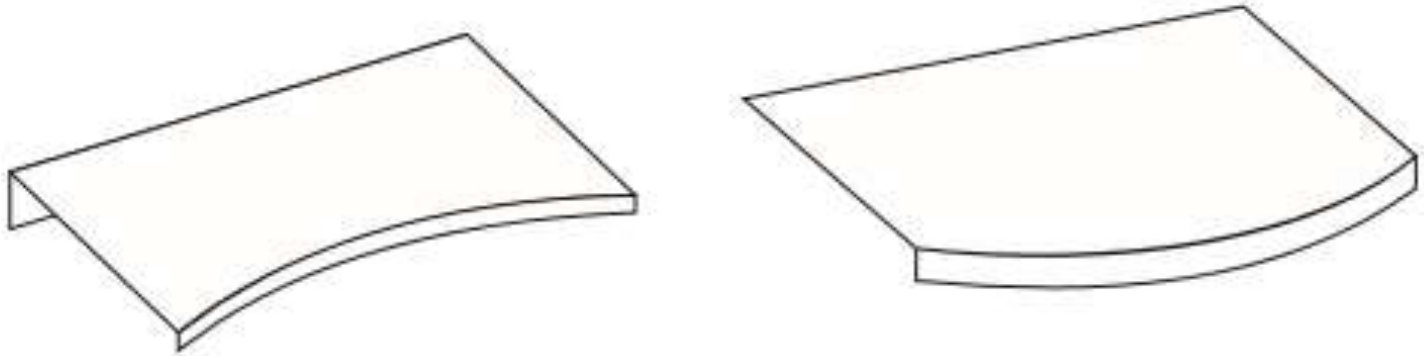
مود:

۱- خم کاری مستقیم ۲- خمکاری فلنج ۳- خمکاری منحنی شکل (مدور)

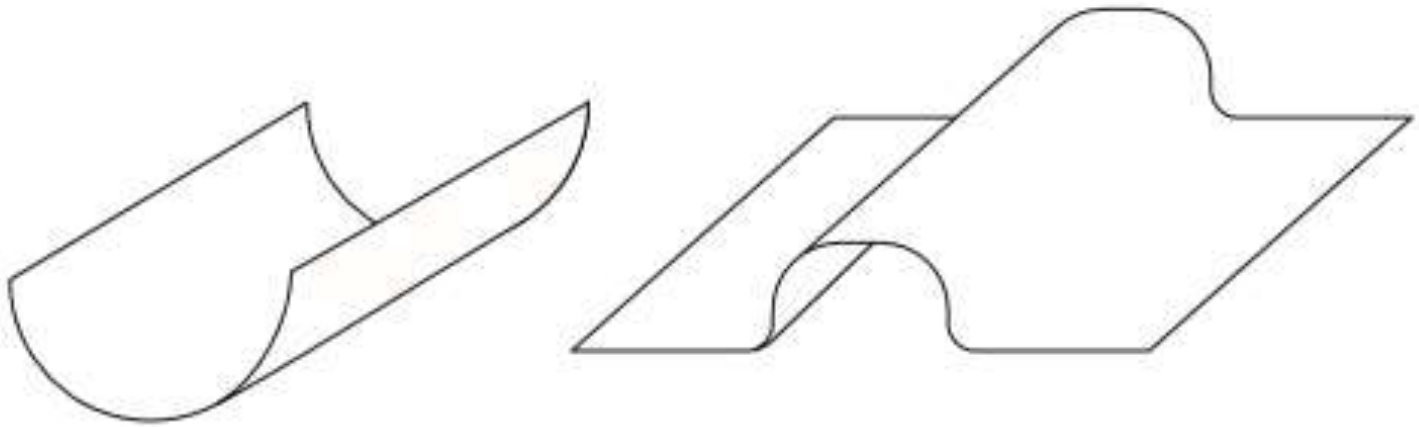
۱. خم‌کاری مستقیم: یک روش اصلی برای تغییر شکل ورق‌های فلزی می‌باشد.



۲ـ خم کاری فلنج: یک روش اصلی برای تغییر شکل ورق‌های فلزی می‌باشد. (شکل



۳ـ خم کاری منحنی شـکل (مدوّر): یک روش اصلی برای تغییر شکل ورق‌های فلزی می‌باشد.



تجهیزات خمکاری

برای خمکاری ورق ها معمولا ماشین های زیر استفاده می شوند :

- ماشین خمکاری ورق موسوم به خمکن
- پرس خمکاری از نوع مکانیکی مخصوص خمکاری ورق
- پرس هیدرولیکی یا مکانیکی با کاربرد متعدد

گاهی اوقات می توان به وسیله چکش فلزی یا چوبی به کمک شمش فولادی نبشی، گیره، قید و بندهای مخصوص ویا سندان های گوناگون عمل خمکاری را انجام داد.

نمونه هایی از روش خمکاری با چکش و فکهای گیره

انواع ماشین های خم کن

۱- ماشین خم کن ساده

۲- ماشین خم کن یونیورسال

ماشین خم کن ساده بر حسب این که محور چرخش صفحه گردان متحرک یا ثابت باشد به دو دسته زیر تقسیم می شوند :

الف- محور چرخش صفحه گردان متحرک

ب- محور چرخش صفحه گردان ثابت

ماشین های خم کن یونیورسال

خم کن یونیورسال دارای مزایای بیشتری نسبت به مدل های قبلی هستند زیرا محور چرخش آنها علاوه بر حرکت افقی می توانند حرکت عمودی نیز داشته باشند و همچنین با توجه به حرکتهای مذکور، این ماشین ها قادرند خمش های پیچیده ای را انجام دهند و علاوه بر این میز یا فک زیر ممکن است ثابت یا قابل تنظیم باشد.

الف- ماشین های یونیورسال با میز ثابت

ب- ماشین های یونیورسال با میز قابل تنظیم

موفق و موید باشید

پایان