

# فصل چهارم

## الکترودها

### هدف‌های رفتاری

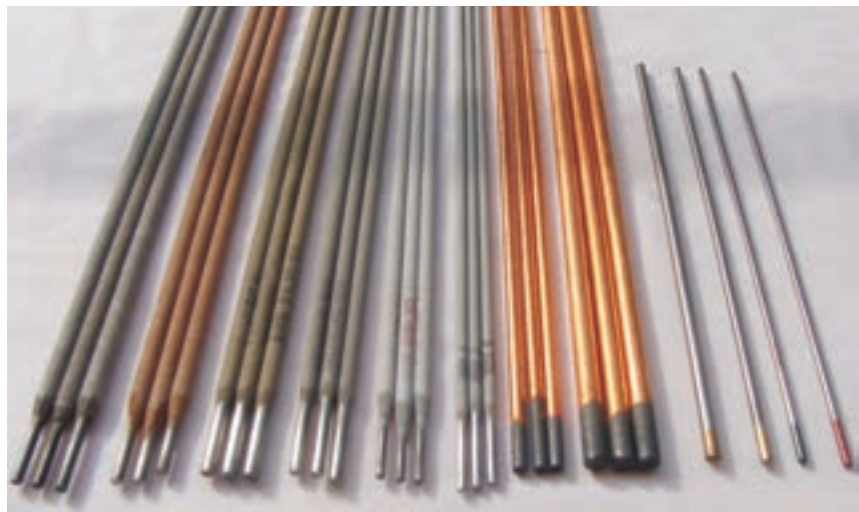
پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱. انواع الکترودها و کاربرد آنها را معرفی کند.
۲. نقش‌های روپوش الکترودها را توضیح دهد.
۳. طبقه‌بندی الکترودهای روپوش‌دار بر اساس استاندارد AWS را بیان کند.
۴. روش‌های شناسایی الکترودها و اعداد و حروف یک الکترودهای در استاندارد AWS را بیان کند.
۵. علت خشک کردن الکترودها را توضیح دهد.
۶. نحوه انبار کردن و نگهداری الکترودها را شرح دهد.

## — تعریف الکترودها

به میله فلزی یا گرافیتی که جریان برق از آن عبور می کند الکتروود گویند. دسته‌ای از الکتروودها ذوب نمی شوند مثل الکتروودهای مسی (جوش مقاومتی یا نقطه جوش)، در جوشکاری TIG هم الکتروودهای تنگستن فقط قوس ایجاد کرده و خود ذوب نمی شوند الکتروودهای ذغالی در برشکاری و شیارزنی هم مصرف نشدنی است اما دسته دیگر الکتروودهای ذوب شده و فلز جوش را به وجود می آورند. مهمترین الکتروودهای این گروه:

الکتروود (شکل ۴-۱)



شکل ۴-۱

ذوب شونده: SMAW - GMAW  
تقسیم بندی الکتروودها از نظر ذوب  
غیر ذوب شونده: TIG، جوش مقاومتی



روپوش دار: SMAW  
تقسیم بندی الکتروودهای ذوب شونده  
بدون روپوش: GMAW، زیرپودری  
توپودری: FCAW

الکتروود توپودری

الکتروودهای بدون روپوش در MIG/MAG و SAW (شکل ۴-۲)

شکل ۴-۲

## ۱-۴ الکترودهای روپوش دار

از دو قسمت مغز فلزی و روپوش تشکیل شده است.  
جنس فلز الکتروود را می توان به گروه های زیر تقسیم بندی کرد:  
فولاد نرم، فولاد پر کربن، فولاد آلیاژی، چدن، آلیاژهای نیکل، فلزات رنگی، نیکل، کربن.

معیار اندازه گیری الکتروود بر اساس قطر مغزی فلزی است و با قطرهای ۲، ۲/۵، ۳/۲۵، ۴، ۶، ۷ و ۸ میلی متری با طول ۲۵-۳۰ و ۳۵ و ۴۵ سانتی متری استاندارد شده و تولید می شود.

### ● نقش روپوش الکتروود

روپوش الکتروود نقش های متنوعی را ایفا می کند که آنها را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

#### الف) نقش الکتريکی:

- ◆ پایدار کردن و ثبات قوس
  - ◆ هدایت الکتريسیته در قوس
- برای شروع قوس از ولتاژ بالاتر استفاده کرده و مواد یونیزه شونده مناسب در روپوش به کار گرفته می شود که در جوشکاری با جریان متناوب این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می کند.

#### ب) نقش فیزیکی:

- ◆ میزان ویسکوزیته روپوش
  - ◆ کشش سطحی روپوش
  - ◆ ضخامت کافی سرباره
  - ◆ سرعت انجماد بالای سرباره
- برای جوشکاری در وضعیت های (سربالا و بالای سر) ضرورت دارد که فلز مذاب برخلاف جاذبه به کار منتقل شود.
- ◆ سرعت انجماد بالای سرباره باعث جلوگیری از نفوذ اکسیژن در مذاب فلزی می شود.
  - ◆ نوع پوششی برای کنترل میزان ویسکوزیته سرباره که مذاب را در خود نگه دارد و گرده جوش در آن شکل گیرد.
  - ◆ تولید گاز با فشار مناسب تا ذرات مذاب را به طرف کار انتقال دهد.

- ◆ کشش سطحی مناسب برای شکل دادن به فلز جوش.
- ◆ ضخامت کافی سرباره در وضعیت‌های سطحی برای جلوگیری از رسیدن اکسیژن به فلز جوش.

### ج) نقش متالورژیکی:

- ◆ حفاظت از ستون قوس و مذاب
- ◆ آلیاژسازی
- ◆ افزایش راندمان (نرخ رسوب)
- ◆ اکسیژن زدایی
- ◆ کاهش سرعت سرد شدن
- ◆ تولید گاز محافظ و سرباره سازی برای حفاظت از مذاب در مقابل آتمسفر
- ◆ مواد آلیاژی که درجه ذوب و تبخیر پایین‌تر دارند در گرمای قوس از میدان عمل خارج می‌شوند که از طریق روپوش جبران می‌شوند.
- ◆ اضافه کردن عناصر آلیاژی از طریق واکنش بین سرباره و مذاب در فلز جوش
- ◆ عناصر اکسیژن‌زدا مانند فرو آلیاژها در الکتروود فولادی
- ◆ سرباره‌سازی برای کاهش نرخ سرد شدن فلز جوش
- ◆ افزایش راندمان با اضافه کردن پودر فلزی از جنس مغز الکتروود در روپوش به جدول (۴-۱) توجه کنید.

جدول ۴-۱	
نوع روپوش	رقم
سلولز، سدیم - اکسید آهن	۰
سلولز - پتاسیم	۱
تیتان - سدیم	۲
تیتان - پتاسیم	۳
پودر آهن - تیتان	۴
کم هیدروژن - سدیم	۵
کم هیدروژن - پتاسیم	۶
پودر آهن - اکسید آهن	۷
پودر آهن - کم هیدروژن	۸

الکترودهایی که رقم آخر کد آنها ۴ یا ۷ و ۸ باشد درصدی پودر آهن در روپوش آنها وجود دارد که در جدول آمده است.

## ۴-۲ روش ساخت الکترودهای روپوش دار

نحوه ساخت الکترودهای روپوش دار بیشتر از طریق اکستروود مواد تشکیل دهنده روپوش است که با نسبت‌های مختلف با هم مخلوط شده و رطوبت دار می‌شوند سپس روی میله‌های فلزی که از طریق کشش به قطر مورد نظر رسیده و به طول مناسب قطع شده‌اند به صورت پی در پی (پشت سر هم) در دستگاه الکتروده سازی روپوش دار می‌شوند، پرس‌ها به صورت مکانیکی یا هیدرولیکی کار می‌کنند.

### ۴-۲-۱ انواع پوشش الکتروود

بر اساس استاندارد EN499 انواع الکترودهای روپوش دار عبارتند از:

C: الکترودهای با پوشش سلولزی

R: الکترودهای با پوشش روتیلی

B: الکترودهای با پوشش بازی یا قلیایی

A: الکترودهای با پوشش اسیدی

O: الکترودهای با پوشش اکسیدی

### ۴-۲-۲ الکتروود سلولزی

قسمت زیادی از روپوش آن از ترکیبات سلولزی است که در حین جوشکاری، گاز زیادی تولید می‌کند و به دلیل ورود هیدروژن در قوس که از تجزیه سلولز حاصل می‌شود، ولتاژ قوس افزایش یافته و نفوذ و پاشش زیاد و انتقال گرما از قوس به کار بسیار مطلوب است، سطح جوش حاصل از این نوع الکتروود، ناهموار و خشن است که با جریان DC و قطب DCRP مورد استفاده واقع می‌شود. این الکتروودها نم‌گیر هستند و رطوبت بر ماده سلولز اثر کرده و باعث فاسد شدن ماده سلولز می‌شود.

به همین دلیل این الکتروودها در جعبه‌های دربسته که رطوبت در آن غیر قابل نفوذ باشد

۱- سیم‌های لخت کشش یافته و قطع شده براساس استاندارد DIN668 خواهد بود.

و یا در جعبه حلبی که با لحیم، غیر قابل نفوذ شده است عرضه می شود. در الکترودهای سلولزی (شکل ۳-۴) امکان خشک کردن الکتروود وجود ندارد زیرا حرارت باعث سوختن روپوش می شود.



شکل ۳-۴

خواص مکانیکی خوب و نفوذ کافی موجب می شود که این الکتروود در جوشکاری پاس ریشه اتصالات استفاده شود.

مذاب جوش به سرعت منجمد می شود در نتیجه برای جوشکاری های سرازیر هم قابل استفاده است. بکارگیری این الکتروود در پاس های میانی اتصال مطلوب نیست زیرا امکان حل شدن هیدروژن در مذاب زیاد بوده و باعث هیدروژن تردی<sup>۱</sup> می شود.

### ۳-۲-۴ الکتروود روتیلی

اسم معدن شناسی اکسید تیتانیوم ( $TiO_2$ ) روتیل است وجود مقدار زیادی اکسید تیتانیوم در روپوش این نوع الکتروود باعث پایداری قوس شده و امکان جوشکاری این الکتروود با هر دو جریان AC و DC را فراهم می آورد و جوشکاری در تمام حالات امکان پذیر است و کاربرد زیادی در جوشکاری های عمومی دارد.

قوس راحت شکل گرفته و پایداری قوس خوب است و همچنین در جوشکاری قطعات خاصیت پل زنی در اتصالات را دارد. نمونه ای از این الکتروود در شکل (۴-۴) مشاهده می شود.

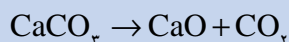


شکل ۴-۴

۱ - هیدروژن به صورت اتمی در مذاب حل می شود، سپس تشکیل مولکول هیدروژن داده ( $H_2$ ) و موجب ضعف جوش می گردد.

## ۴-۲-۴ الکترودهای قلیایی یا بازی

قسمت زیادی از روپوش این نوع الکتروود کربنات کلسیم  $\text{CaCO}_3$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{CaO}$  را تشکیل می‌دهند و همراه با مقداری فلورید کلسیم بوده که هنگام کار با این الکتروود از تجزیه کربنات گاز  $\text{CO}_2$  برای محافظت تولید می‌شود چون کربنات کلسیم در گرمای  $1800^\circ\text{C}$  تجزیه می‌شود:

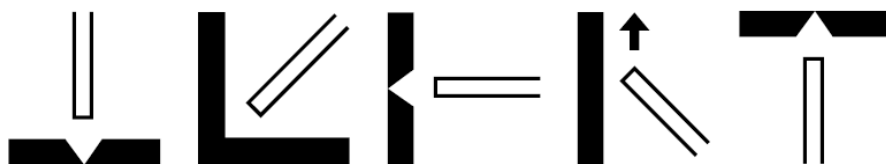


چون مواد سلولزی در روپوش به کار نمی‌رود جوش‌های حاصل دارای حداقل هیدروژن حل شده در جوش است و به همین دلیل این الکتروودها را الکترودهای کم هیدروژن (Low Hydrogen) هم می‌گویند. (شکل ۴-۵)



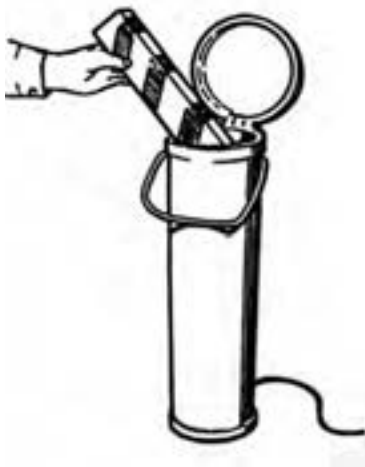
شکل ۴-۵

این الکتروود برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژ که حساس به ترک زیر خط جوش و منطقه مجاور جوش هستند کاربرد دارد به علاوه برای جوشکاری قطعات ضخیم فولادی که دارای درصد کربن بالاتر هستند، نیز مناسب است. جوش حاصل دارای مقاومت مکانیکی خوب بوده و در مقابل ضربه از خود مقاومت نشان می‌دهند با جریان (DCEP)  $\boxed{=+}$  و در تمام وضعیت‌ها به جز سرازیر مورد استفاده است. (شکل ۴-۶)



شکل ۴-۶

الکترودهای قلیایی نم‌گیر (جاذب رطوبت) هستند و چون الکتروود باید عاری از



شکل ۴-۷ الکتروود خشک کن دستی

هیدروژن باشد الکتروودها را قبل از جوشکاری خشک می کنند یعنی داخل الکتروود خشک کن قرار داده شکل (۴-۷) و به مدت ۲ تا ۳ ساعت در دمای  $250^{\circ}\text{C}$  تا  $400^{\circ}\text{C}$  خشک می کنند و پس از آن برای جوشکاری مورد استفاده قرار می دهند. روپوش گروهی از این الکتروودها دارای درصدی پودر آهن هستند که باعث افزایش راندمان، کاهش نفوذ و افزایش پهنای جوش می گردد. عیب بریدگی در کناره جوش<sup>۱</sup> کمتر مشاهده می شود.

#### ۴-۲-۵ الکتروود اسیدی

در روپوش مقداری زیادی سیلیکات آهن و منگنز وجود دارد و سرباره آن ضخیم است و برای جوشکاری در حالت سطحی مناسب است. از هر دو جریان AC و DC می توان استفاده کرد و خواص مکانیکی و نفوذ مطلوب ندارد راندمان رسوب بالا است برای رفع عیب قطعات ریخته گری استفاده می شود و کاربرد کمی دارد.

#### ۴-۲-۶ الکتروودهای اکسیدی

اکسید آهن در روپوش زیاد است و مانند الکتروودهای اسیدی است سرباره زیاد و نفوذ کم دارد.

در صنعت الکتروودهایی هم تولید می شود که حالت ویژه دارند و روپوش آنها ممکن است با یک نوع روپوش های معرفی شده نزدیک باشد، مثلاً الکتروودهایی که به عنوان الکتروود برشکاری با قوس به کار می رود این الکتروودها که نفوذ عمیق دارند به الکتروودهای پر نفوذ معروف هستند و با حروف (DPE)<sup>۲</sup> (شکل ۴-۶) معرفی می شوند.



شکل ۴-۶

۱- Under Cut

۲- Deep Penetration Electrode



نوع دیگر الکترودهای پر راندمان است که آنها را با (HYE) نشان می دهند. در این الکترودها به دلیل وجود مقدار زیادی پودر آهن در روپوش نرخ رسوب بالا است و راندمان آن بیشتر از یک است.

(در الکترودهای معمولی نسبت بالا کمتر از یک است یعنی مقداری از مغز فلزی الکترودها به صورت جرقه و پاشش هدر می رود.) به کارگیری این الکترودها با نرخ رسوب بالا تنها در وضعیت سطحی امکان پذیر است و نفوذ آن کمتر - میزان رسوب بیشتر - تعداد پاس های مورد لزوم کمتر بوده زمان انجام کار کاهش می یابد و اقتصادی تر است.

### ۳-۴ روش شناسایی الکترودهای روپوش دار

کارخانجات سازنده الکترودها تولیدات خود را با نام های مختلف نام گذاری می کنند از طرف دیگر برای معرفی و شناسایی در جوامع صنعتی موظفند تولیدات خود را با یکی از استانداردهای قابل قبول جهانی مطابقت دهند. در خصوص الکترودهای روپوش دار استانداردهای A5.1، AWS، DIN19.13، ISO2560 و BS639 وجود دارد که توضیح کد استانداردها در واژه نامه آمده است.

انجمن جوشکاران آمریکا (AWS) در مورد طبقه بندی و شناسایی الکترودها قوانینی وضع کرده که مورد تصویب ASME قرار گرفته است و بخش A5.1 مربوط به الکترودهای روپوش دار است استاندارد دین آلمان تحت شماره ۱۹۱۳ و استاندارد بین المللی ISO تحت شماره ۲۵۶۰ و استاندارد انگلیسی BS تحت شماره ۶۳۹ با علائم و اعداد الکترودها را کد گذاری نموده اند.

یکی از ساده ترین آن استاندارد AWS است که با ASME برابری می کند و اکثر تولیدکنندگان الکترودها در جهان مطابقت الکترودهای خود را با این استاندارد روی جعبه ها و کارتن های الکترودها چاپ می کنند طبق این استاندارد هر الکترودها روپوش دار با یک حرف E و چهار یا پنج عدد معرفی می شود مثلاً E6013 یا E11018 که حرف E نشانه الکترودها روپوش دار، دو عدد بعدی ممکن است ۹۰، ۸۰، ۷۰ و ۶۰ باشد و در مواردی ۱۲۰، ۱۱۰ و ۱۰۰ باشد یعنی استحکام کششی فلز جوش بر حسب هزار پوند بر اینچ مربع  $\frac{lb}{in^2}$  (KSI) می باشد و هرچه عدد بزرگ تر باشد، مقاومت کششی آن هم بیشتر است.

$$KSI = 1000 \cdot PSI = 1000 \cdot \frac{Ib}{In^2}$$

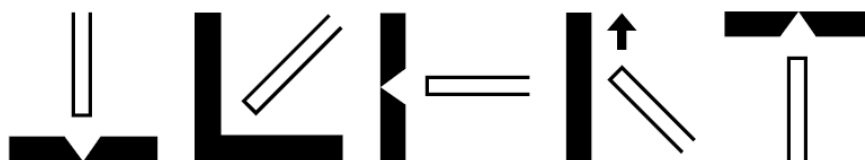
یک رقم بعدی که اکثراً ۱، ۲ و ۳ است وضعیت جوشکاری را مشخص می کند. و یک رقم آخری که ممکن است ۰، ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸ باشد نوع روپوش و نوع جریان و قطب قابل استفاده و درصد پودر فلزی داخل روپوش را معین می کند به جدول (۴-۲) توجه کنید.



شکل ۴-۸

جدول ۴-۲	
نوع روپوش	رقم
سلولز - اکسید آهن	۰
سلولز - پتاسیم	۱
تیتان - سدیم	۲
تیتان - پتاسیم	۳
پودر آهن - تیتان	۴
کم هیدروژن - سدیم	۵
کم هیدروژن - پتاسیم	۶
پودر آهن - اکسید آهن	۷
پودر آهن - کم هیدروژن	۸

عدد ۶۰ یعنی  $\frac{Ib}{In^2}$  یا  $60000 \text{ psi} = 60 \times 1000$  عدد سوم ۱ یعنی قابلیت جوشکاری در تمام حالت ها به جز سرازیر مطابق شکل (۴-۹).



شکل ۴-۹

اگر عدد سوم ۲ باشد یعنی قابلیت جوشکاری حالت های سطحی و افقی مطابق شکل

(۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰



شکل ۴-۱۱

چنانچه عدد سوم ۳ باشد یعنی قابلیت جوشکاری در حالت سطحی مطابق شکل (۴-۱۱).

اگر چنانچه عدد آخری ۰ یا ۱ باشد مثل E6011 و E6010 یا E7010 امکان جوشکاری در حالت سرازیر هم وجود دارد به جدول (۴-۳) توجه کرده و با دوستان خود در خصوص الکترودها بحث کنید.

بعد از آخرین عدد از سمت چپ یا اولین عدد از سمت راست کد الکترودها ممکن است یک حرف اندیس دار مثل  $A_1$ ،  $B_1$ ،  $D_1$  و غیره باشد که مربوط به الکترودهای فولادی کم آلیاژ است که درصد و نوع عنصر آلیاژی را مطابق جدول (۴-۳) مشخص می کند.

جدول ۴-۳					
پسوند	مولیدن	کرم	نیکل	منگنز	وانادیوم
A1	۰/۴۰ تا ۰/۶۵				
B1	۰/۴۰ تا ۰/۶۵	۰/۴۰ تا ۰/۶۵			
B2	۰/۴۰ تا ۰/۶۵	۱ تا ۱/۵			
B3	۰/۹ تا ۱/۲	۲ تا ۲/۵			
B4	۰/۴۰ تا ۰/۶۵	۱/۷۵ تا ۲/۲۵			
B5	۱ تا ۱/۲۵	۰/۴ تا ۰/۶			
C1			۲ تا ۲/۷۵		
C2			۳ تا ۳/۷۵		
C3	۰/۳۵	۰/۱۵	۰/۸ تا ۱/۱		۰/۰۵
D1	۰/۲۵ تا ۰/۴۵			۱/۲۵ تا ۱/۷۵	
D2	۱/۲۵ تا ۱/۴۵			۱/۶۵ تا ۲	
G	حداقل ۰/۲۰	حداقل ۰/۳	حداقل ۰/۵	حداقل ۱	حداقل ۰/۱
M	با درصدهای مختلفی از عناصر آلیاژی برای کاربردهای نظامی				

مثلاً الکتروده E7018<sub>A</sub> الکترودی که در فلز آن ۰/۵ درصد مولیدن دارد.

## ● استاندارد AWS۵۰۱ برای الکترودهای روکش دار فولادی ساده کربنی و کم آلیاژ

الکتروده روتیلی که با استاندارد AWS به نام E6013 معروف است و الکترودهای قلیایی

که با استاندارد AWS به نام E7018 معروف است در جدول (۴-۴) آمده است.

جدول ۴-۴			
رقم اخر	نوع پریش الکترود	نوع جریان و قطب مناسب	شماره استاندارد الکترود
۰	سلوژی	نقط ۳ DCRP	E6010
۱	سلوژی	AC یا DCRP	E6011
۲	روتیلی	AC یا DCRP	E6012
۳	روتیلی	AC یا DCRP و DCSP	E6013
۴	روتیلی با بودر آهن ۳۰٪	AC یا DCRP و DCSP	E7014
۵	کم تدریون	نقط DCRP	E7015
۶	کم تدریون	AC یا DCRP	E7016
۸	کم تدریون با بودر آهن ۲۵٪	AC یا DCRP و DCSP	E7018
۲۰	اکسیدی با اکسید آهن زیاد	DCSP یا SCRIP یا AC	E7020
۴ و قبل از آن	روتیلی با بودر آهن ۵۰٪	AC یا DCRP و DCRP	E7024
۷ و قبل از آن	اسیدی با بودر آهن ۵۰٪	DCSP و AC یا DCRP	E6027
۸ و قبل از آن	کم تدریون با بودر آهن ۵۰٪	AC یا DCRP	E7028

مطالبی که در خصوص کُد گذاری و شماره‌های استاندارد الکترودها بیان شد محدود می‌شود به الکترودهای فولاد ساده کربنی و الکترودهای کم‌آلیاژ یعنی حداکثر عناصر آلیاژی تا ۵ درصد.

### ● شناسایی الکترودهای فولادی پر آلیاژ کروم نیکل دار

این الکترود بر اساس شماره فولاد با یک عدد سه رقمی بیان می‌شود مثلاً E308 بر اساس استاندارد AISI یا فولاد ۳۰۴ که یک فولاد کروم نیکل دار است و دارای ۱۹٪ کرم و ۱۰٪ نیکل می‌باشد.

الکترود E308L یعنی الکترود قلیایی که در آن درصد کربن ناچیز است حرف (L) به معنی (Low Carbon) است.

در خصوص الکترودهای روپوش دار آلومینیوم بعد از حرف E شماره آلومینیوم بر اساس استاندارد AISI مثل الکترود E4043 که مربوط به آلیاژ آلومینیوم است که ۴ تا ۶ درصد سیلیس دارد در مورد سایر الکترودها از علامت اختصاری جنس مغزی آنها استفاده می‌شود.

۱- بر اساس استاندارد AISI آلومینیوم و آلیاژهای آن یک عدد چهار رقمی است که از ۱/۰۰۰/۰ تا ۷/۰۰۰ شماره گذاری شده‌اند.

مثل الکترودهای نیکلی با حرف Ni مشخص می‌شود مثل ENiFe یعنی الکترودهای نیکلی که با درصدی آهن آلیاژ شده است و برای جوشکاری چدن خاکستری مناسب است و یا الکترودهای مسی ECuSn الکترودهای مسی که ۴٪ قلع و ۹۶٪ مس دارد و برای جوشکاری قطعات مسی و قطعات چدنی به کار می‌رود. در ضمیمه کتاب جداول الکترودهای روپوش‌دار برای جوشکاری فولادهای زنگ‌نزن و سایر فلزات رنگی و چدن آمده است.

#### ۴-۴ نگهداری الکترودها

الکترودهای روپوش‌دار باید طبق مقررات سازنده و با توجه به نوع روپوش آنها نگهداری شوند.

الکترودها باید در مقابل رطوبت و صدمه مکانیکی و آلودگی به روغن و چربی در امان باشند. برای تشخیص میزان رطوبت در الکترودها دو راه وجود دارد:

۱- با وزن کردن دقیق قبل از خشک کردن و پس از آن میزان رطوبت در الکترودها مشخص می‌شود.

۲- با قرار دادن چند عدد الکترودهای بین دست‌ها و مالش آنها به هم مطابق شکل (۱۲-۴) نیز می‌توان به مرطوب بودن یا نبودن الکترودها پی‌برد چنانچه صدای مالش الکترودها به هم تیز و شبیه صدای فلزات باشد الکترودها خشک و چنانچه الکترودها دارای رطوبت باشد صدای آنها خفه و بم است.

آلودگی الکترودها به آب و روغن و چربی موجب می‌شود که این مواد در گرمای قوس تجزیه شده و تولید هیدروژن کند. هیدروژن حاصل از تجزیه وارد فلز جوش شده و باعث شکست و یا مُک در جوش شوند.

ضربات مکانیکی به الکترودها باعث خرد شدن و ترک‌دار شدن روپوش شده و موقع جوشکاری به صورت تکه‌ای از الکترودها جدا شده و علاوه بر انحراف قوس، تکه جدا شده از الکترودها، وارد حوضچه مذاب می‌شود. لذا باید الکترودها را با احتیاط حمل و نقل کرد.



شکل ۱۲-۴

## ● الکترو د خشک کن



شکل ۴-۱۳

بعضی از انواع الکترودها طبق دستور سازنده که روی جعبه‌هایی و کارتن‌های الکترو د ثبت شده باید قبل از استفاده خشک شوند این عمل در کوره‌هایی که دارای قفسه‌های مخصوص مطابق شکل (۴-۱۳) است انجام می‌شود.

الکترودها را در آن چیده و درجه دما و زمان گرما دادن بر اساس دستور سازنده الکترو د تنظیم کرده و در آن را می‌بندند تا خشک شود.

الکترو د خشک کن‌های کوچک دستی هم برای کارهای سبک تر و مناطقی که رطوبت هوا زیاد است برای استفاده در کنار دست جوشکار ساخته شده است که به Oven معروف هستند تا بلافاصله پس از خروج هر الکترو د از Oven بلافاصله به کار گرفته شود و فرصت جذب رطوبت باقی نماند. (شکل ۴-۱۴)



شکل ۴-۱۴

## ۴-۵ انبار کردن الکترودها

◆ الکترودها باید در جای خشک که دمای حرارت آن بیش از  $10^{\circ}\text{C}$  باشد انبار کرد.  
◆ محل نگهداری الکترودهای قلیایی باید دارای دمای  $15^{\circ}\text{C}$  بوده و رطوبت آن از ۴۰٪ کمتر باشد.

◆ الکترودها را باید به اندازه مصرف از انبار خارج کرده و در صورت لزوم در الکترو د خشک کن طبق دستور کارخانه سازنده الکترو د خشک نماییم.

◆ الکترو د خشک کن‌ها به وسیله المنت‌های برقی کار می‌کنند و دارای کلید تنظیم دما یا ترموستات می‌باشند.

◆ الکترودهایی که بیش از اندازه رطوبت دیده و مدت زیادی از تولید آنها گذشته یا به ترتیب غیر اصولی انبار شده‌اند حتی اگر خشک شوند قابل استفاده نمی‌باشند چون مغز فلزی و پودر فلزی که داخل روپوش آنها است، زنگ می‌زند.

توجه به این موضوع در خصوص الکترودهای پر راندمان الزامی بوده و دقت کافی لازم دارد.

◆ ترتیب چیدمان الکترودها در انبار باید به گونه‌ای باشد که به ترتیب ورود به انبار، مصرف شوند تا در اثر غفلت موجودی انبار و مدت نگهداری زیاد آنها دچار فساد نشوند.

♦ استفاده از الکتروودها زنگ زده و سفیدک زده باعث کاهش کیفیت جوش شده جوش را متخلخل و مُک دار می کند به علاوه موجب باقی ماندن اکسید در فلز جوش خواهد شد. برای صرفه جویی اقتصادی بهترین راه استفاده از این الکتروودها برای انجام برشکاری به وسیله قوس الکتریکی است.



## سوالات پایانی فصل چهارم

- ۱- در کدام فرایند الکتروود مصرف شدنی نیست؟  
 الف) MIG/MAG      ب) SAW  
 ج) SMAW      د) GTAW
- ۲- کدام گزینه در ردیف نقش فیزیکی الکتروود قرار دارد؟  
 الف) پایدار کردن قوس      ب) سرعت انجماد بالا  
 ج) اکسیژن زدایی      د) حفاظت از ستون قوس
- ۳- در خصوص روپوش الکتروودها کدام گزینه غلط است؟  
 الف) الکتروود سلولزی و قلیایی نم گیر هستند و قبل از جوشکاری باید خشک شوند.  
 ب) علت افزایش ولتاژ قوس در جوشکاری با الکتروود سلولزی وجود گاز هیدروژن است.  
 ج) روتیل از اسم معدن شناسی اکسید تیتانیوم گرفته شده است.  
 د) جعبه‌های الکتروود سلولزی باید عایق رطوبت باشد.
- ۴- در کدام نوع الکتروود، سرعت انجماد فلز جوش زیادتر است؟  
 الف) روتیلی      ب) اکسیدی  
 ج) قلیایی      د) سلولزی
- ۵- استفاده از الکتروود خشک کن برای کدام نوع الکتروود ضرورت دارد؟  
 الف) روتیلی      ب) قلیایی  
 ج) اسیدی      د) سلولزی
- ۶- عامل پایداری قوس در الکتروود روتیلی به دلیل وجود ..... در روپوش است.  
 الف)  $TiO_2$       ب) Cao  
 ج) MgO      د)  $SiO_2$
- ۷- در کدام نوع الکتروود نرخ رسوب بالا است؟  
 الف) HYE پر راندمان      ب) DPE پر نفوذ  
 ج) E6010 سلولزی      د) E6013 روتیلی



۸- استحکام بیشتر و قابلیت جوشکاری سر بالا با کدام الکتروود عملی می شود؟

الف) E8017                      ب) E7018

ج) E6010                      د) E7010

۹- کدام الکتروود در جوشکاری فولاد زنگ‌نزن استفاده می شود؟

الف) E308                      ب) E6010

ج) E6010                      د) E4043

۱۰- محل نگهداری الکتروودهای قلیایی باید دارای درجه دمای ..... سانتی گراد

و رطوبت ..... درصد باشد.

الف)  $15^{\circ}\text{C}$  - زیر ۱۰٪                      ب)  $20^{\circ}\text{C}$  - بالای ۴۰٪

ج)  $15^{\circ}\text{C}$  - زیر ۴۰٪                      د)  $10^{\circ}\text{C}$  - رطوبت ۵۰٪



# فصل پنجم

## فرم و شکل فلز جوش در انواع اتصالات

### هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱. فرم و شکل فلز جوش و انواع آن را نام ببرد.
۲. اتصالات اصلی در جوشکاری را معرفی کند.
۳. قسمت‌های مهم یک اتصال پخ‌دار را نام ببرد.
۴. وضعیت اتصالات در جوشکاری را معرفی کند.
۵. اندازه جوش ماهیچه‌ای بر اساس استاندارد AWS و ISO را توضیح دهد.
۶. اندازه جوش شیاری را شرح دهد.

## — فرم و شکل فلز جوش در انواع اتصالات

مطابق استاندارد AWS A2.4 انواع جوش‌ها به ۹ گروه اصلی تقسیم می‌شود که

عبارتند از:

۱- جوش شیاری (Groove welds)

۲- جوش ماهیچه‌ای (Fillet welds)

۳- جوش سطحی (Bead welds) یا (Surfacing Welds)

و شکل و هندسه فلز جوش در جوش‌های ذوبی به طور عموم یکی از این سه نوع بالا

است.

۴- جوش‌های کام یا دکمه‌ای (Plug or slot Welds)

۵- جوش نقطه‌ای یا پیش طراحی (Spot or Projection Welds)

۶- جوش زائده‌ای (Stud Welds)

۷- جوش نواری (Seam Welds)

۸- جوش پشتی یا پشت‌بند (Backing or Back Welds)

۹- جوش لبه‌ای (Edge Welds)

## ۱-۵ اتصالات در جوشکاری

اغلب سازه‌ها در صنعت از قطعات مختلف تشکیل شده‌اند که با روش‌های گوناگون

به هم وصل شده‌اند بعضی از اتصالات قابل باز و بسته کردن هستند و گروهی اتصالات

دائمی هستند مثل اتصالات جوشکاری شده که در ردیف اتصالات دائم است.

نوع و شکل اتصالات جوش و انتخاب آن به عهده واحد مهندسی است و جوشکاران

که مجری کار هستند باید دو عامل عمده و اساسی مورد نظرشان باشد.

۱- به پایان رساندن اتصال جوش با حداقل قیمت و حداکثر کیفیت.

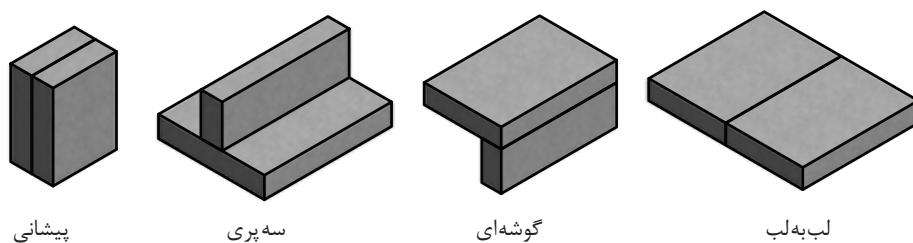
۲- مقاومت و استحکام کافی در برابر نیروهایی که به طور دائم یا به طور اتفاقی به

اتصال وارد می‌شود.

انواع اتصالات که در جوشکاری به کار می‌روند بر اساس استاندارد AWSA3.0 که

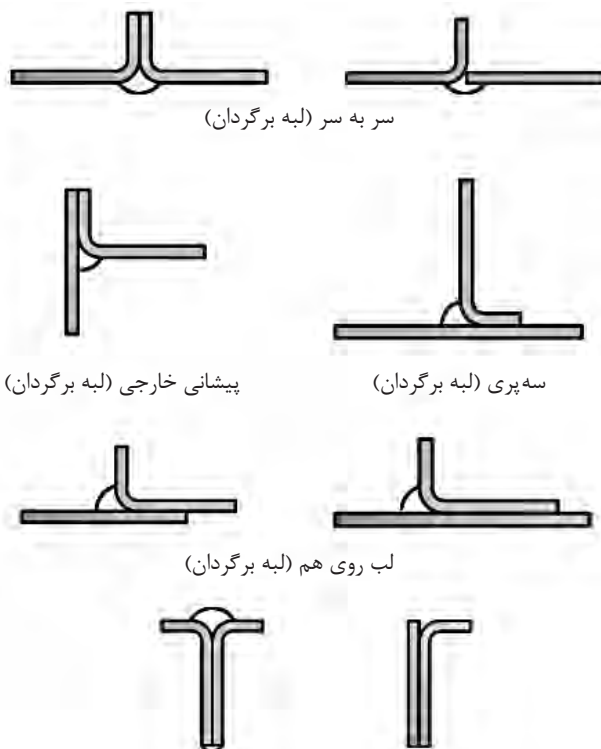
در سال ۱۹۹۴ بازبینی شده است خواهد بود که نمونه‌هایی از آن در شکل (۱-۵) مشاهده

می‌شود.



شکل ۵-۱

امروزه بعضی از اتصالات لبه برگشته و وصله دار مطابق شکل (۵-۲) به این استاندارد اضافه شده است.



شکل ۵-۲

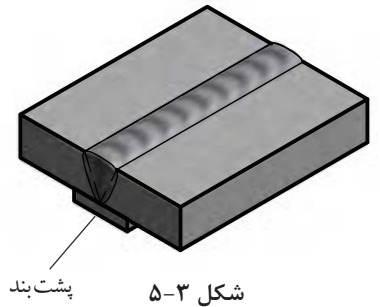
## ۵-۲ ضرورت پخ‌سازی در اتصالات جوشکاری شده

به منظور اختلاط و امتزاج کامل سطوح مشترک دو فلز از کف تا سطح قطعه آنها را پخ می‌زنند.

برای رسیدن نوک الکتروود با قطر بزرگ‌تر به ریشه اتصال لازم است فاصله ریشه بیشتر باشد یا زاویه اتصال بزرگ‌تر انتخاب شود. این موضوع مقرون به صرفه نبوده و

می تواند پیچیدگی به همراه داشته باشد لذا با استفاده از پشت بند (Back Strip) در مواردی فاصله ریشه را بیشتر می گیرند. (شکل ۵-۳)

پنجه های J و U برای اتصالات با استحکام زیاد برای حذف گوشه های تیز در اتصال به منظور جلوگیری از تمرکز تنش در اتصال به کار می رود. (شکل ۵-۴)



### ۵-۲-۱ قسمت های مختلف یک اتصال لب به لب

در شکل (۵-۵) قسمت های مختلف یک اتصال را نشان می دهد:

۱- فاصله ریشه Root Opening

۲- پاشنه جوش Root Face

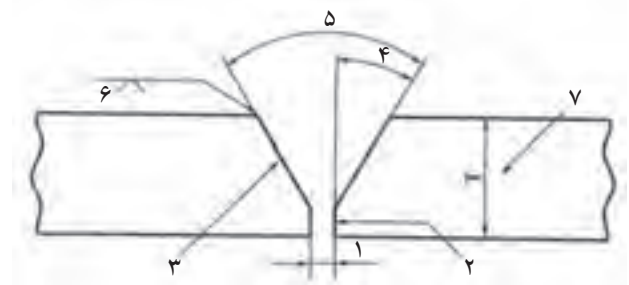
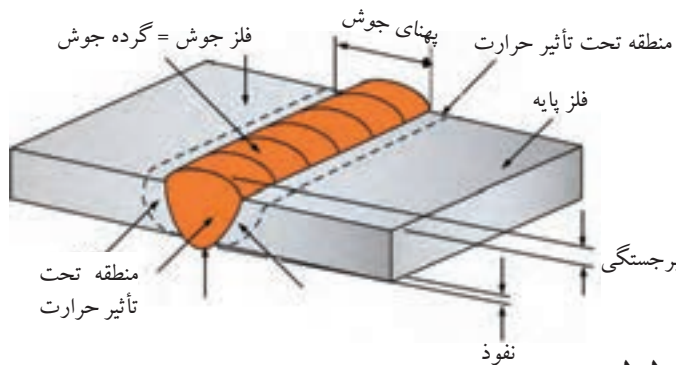
۳- سطح شیار Groove Face

۴- زاویه پنجه Bevel angle

۵- زاویه شیار Groove angle

۶- علامت نوع پنجه Single V

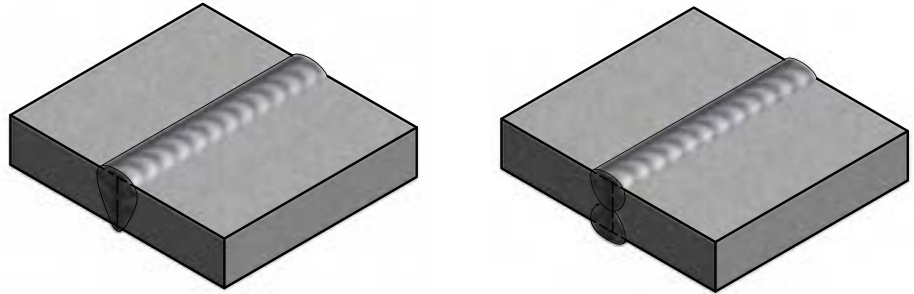
۷- ضخامت قطعه Plate Thickness



شکل ۵-۵

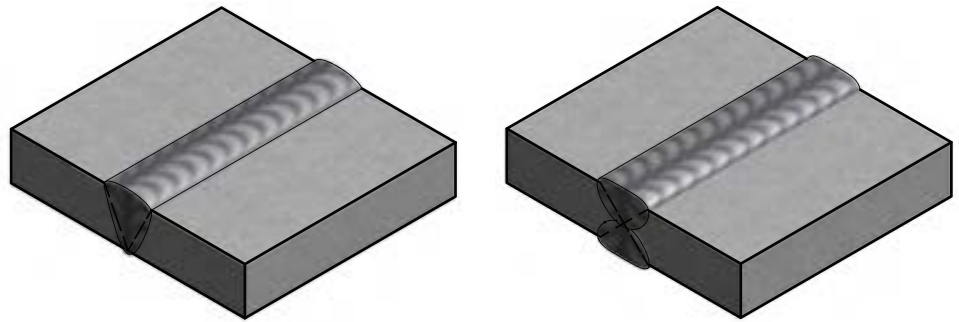
### ۵-۳ انواع اتصال سر به سر یا Butt Joint عبارتند از:

۵-۳-۱ اتصال لب به لب تخت با ریشه بسته در شکل (۵-۶) مشاهده می‌شود. از آنجایی که در جوشکاری نفوذ کامل مد نظر است، چنانچه اتصال با ریشه بسته باشد جوشکاری از هر دو طرف قطعه لازم است.



شکل ۵-۶ ریشه بسته

۵-۳-۲ اتصال لب به لب با پخ V که در قطعات ضخیم‌تر مورد استفاده بوده و استحکام کافی نیز دارد. (شکل ۵-۷)



شکل ۵-۷ ریشه باز

جهت آشنایی با علائم جوش‌ها نمای انواع جوش نشان داده شده است.



نیم جناقی یک طرفه



جناقی  $\beta$  طرفه



لب به لب دو طرفه



لب به لب یک طرفه



لاله‌ای  $\beta$  طرفه



نیم لاله‌ای دو طرفه

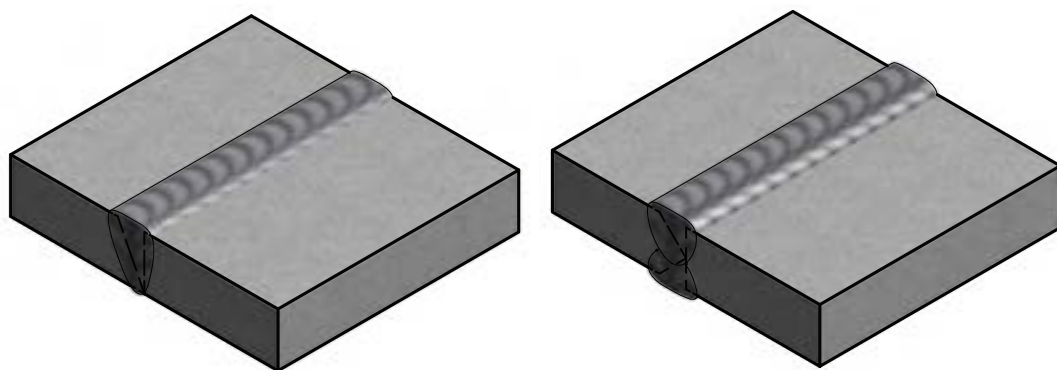


نیم لاله‌ای یک طرفه



نیم جناقی دو طرفه

**۵-۳-۳** جوش سر به سر با پخهای نیم جناغی یک طرفه و دو طرفه معروف است که اتصال یک طرفه  $\surd$  را به  $\surd$  Singel Bevel و دو طرفه را  $\surd$  Double Bevel می‌نامند. (شکل ۵-۸)



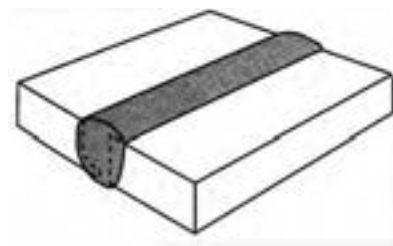
شکل ۵-۸

جوش سر به سر با پخ یک طرفه  $\surd$  با زاویه  $60^\circ$  single می‌تواند بدون پشت‌بند اجرا شود پاس ریشه باید لبه‌های کار را در پشت کار ذوب کرده و با فلز جوش یکپارچه شده برجستگی تقویتی در پشت جوش ایجاد کند.

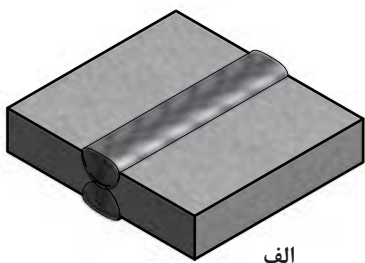
جوش سر به سر با پخ یک طرفه  $\surd$  شکل و پشت‌بند  $\surd$  b.s single مواقعی به کار گرفته می‌شود که فاصله ریشه قطعات زیاد باشد و استحکام زیادی مورد نظر باشد تا جوش از ریشه خم نشود به علاوه امکان جوشکاری با الکترودهای با قطر بیشتر فراهم می‌شود.

**۵-۳-۴** جوش سر به سر با پخ  $\surd$  دو طرفه Double: در این نوع اتصال، پخ در دو طرف کار اجرا می‌شود. پیچیدگی کمتر و قابل کنترل بوده و در قطعات با ضخامت‌های بالا کاربرد دارد که باعث می‌شود جوشکاری راحت‌تر انجام شود.

**۵-۳-۵** جوش سر به سر J شکل یک طرفه Single J در اتصالات که امکان جوشکاری از یک طرف باشد و به استحکام زیاد نیاز داشته باشیم اجرا می‌شود، هزینه آماده‌سازی (پخ‌سازی) بیشتر ولی الکتروود مصرفی کمتر و مقدار پیچیدگی هم کمتر خواهد بود. (شکل ۵-۹)

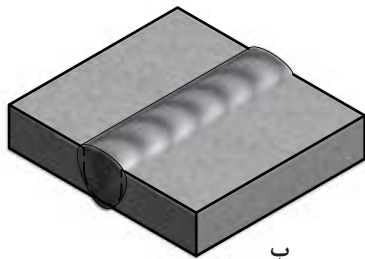


شکل ۵-۹



الف

۵-۳-۶ جوش سر به سر به سر U دو طرفه (Double U) در جوشکاری قطعات ضخیم با استحکام بالا مورد استفاده است. (شکل ۵-۱۰ الف)

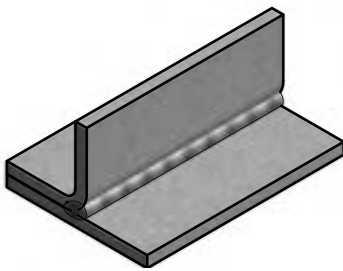


ب

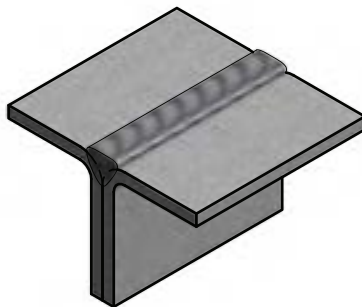
۵-۳-۷ جوش سر به سر به سر u شکل یک طرفه (Single u) امکان جوشکاری یک طرفه را فراهم می کند با مصرف الکتروود کمتر. (شکل ۵-۱۰ ب)

جوش سر به سر دو طرفه (Double J) از نوع U دو طرفه ارزان تر تمام می شود چون فقط یکی از قطعات پخ سازی دارد جوش هم دارای استحکام کافی می باشد.

شکل ۵-۱۰



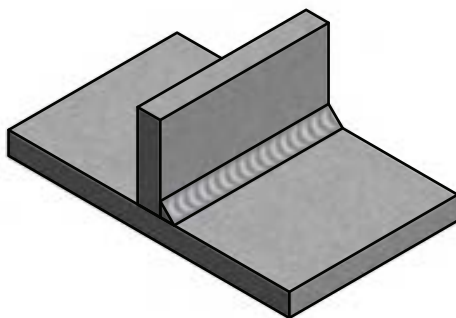
۵-۳-۸ پخ شیاری منحنی (Flare) یک لبه و دو لبه مطابق شکل (۵-۱۱). این اتصال نیاز به پخ سازی ندارد و هزینه تولید آن کمتر است.



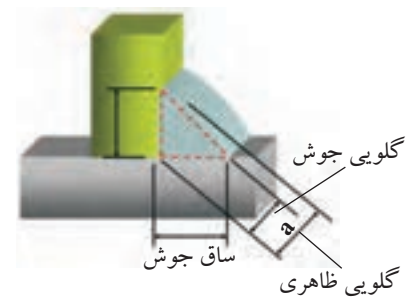
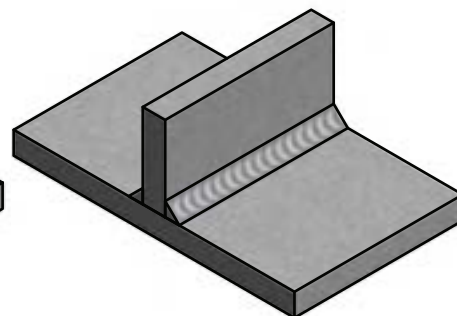
شکل ۵-۱۱

#### ۵-۴ اتصال سپری با جوش ماهیچه ای (Fillet)

در این نوع اتصال جوش در قسمت خارج اتصال رسوب داده می شود که با نفوذ در دیواره قطعه ها سبب اتصال می شود. این نوع جوش در داخل قطعه ایجاد نمی شود و با حذف جوش اتصال جدا می شود. (شکل ۵-۱۲ الف و ب)



شکل ۵-۱۲ ب



شکل ۵-۱۲ الف

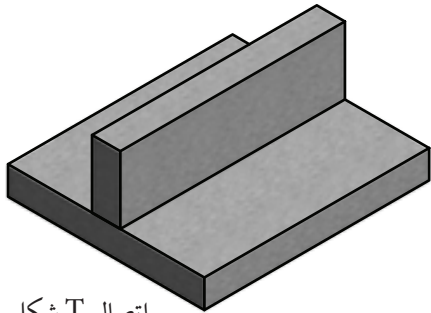


## ۵-۵ اتصالات اصلی در جوشکاری

۵-۵-۱ اتصال لب به لب (Butt Joint) که به انواع آن در صفحات قبل پرداخته شد.

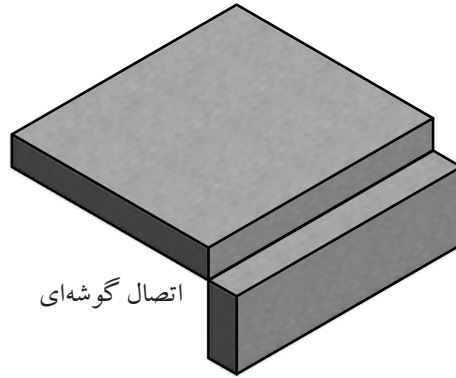
۵-۵-۲ اتصال با زاویه خارجی (Corner Joint) در شکل (۵-۱۳) آمده است.

۵-۵-۳ اتصال T شکل یا سه پری (Three Joint) در شکل (۵-۱۴) آمده است.



اتصال T شکل

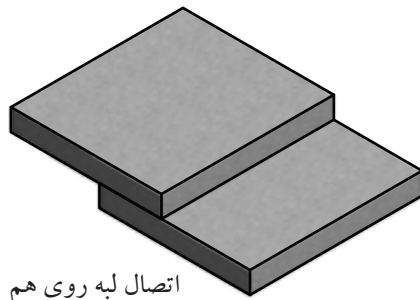
شکل ۵-۱۴



اتصال گوشه‌ای

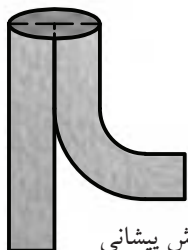
شکل ۵-۱۳

۵-۵-۴ اتصال لبه روی هم (Lap Joint) در شکل (۵-۱۵) آمده است.



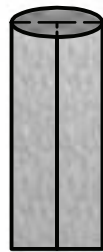
اتصال لبه روی هم

شکل ۵-۱۵



جوش پیشانی

شکل ۵-۱۶



۵-۵-۵ اتصال لبه‌ای (Edge Joint) در

شکل (۵-۱۶) آمده است.

فرم و ابعاد و اندازه یک پخ تابع شرایط و قواعدی است که معمولاً به صورت استاندارد تدوین می‌شود.

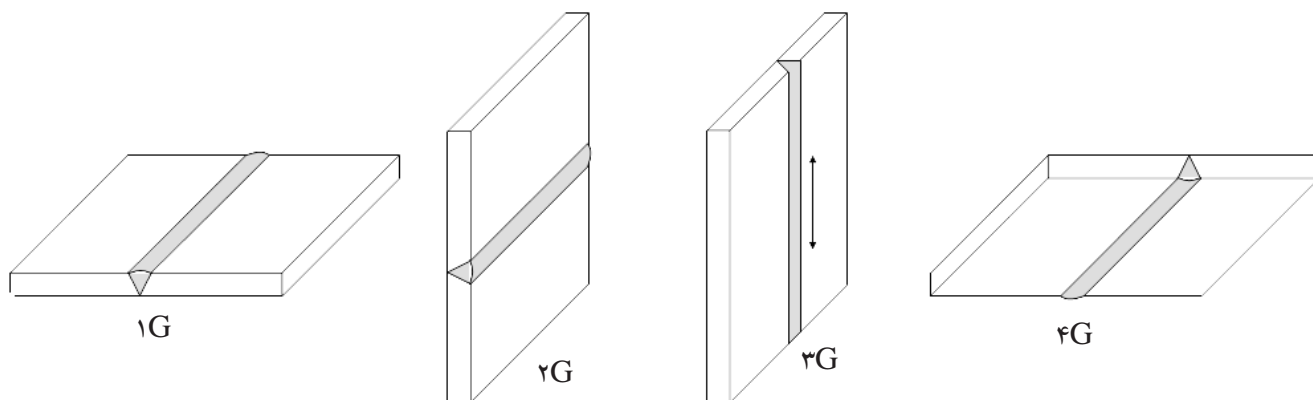
## ۵-۶ وضعیت اتصالات

همان‌طور که می‌دانید بهترین وضعیت جوشکاری در حالت سطحی است. همیشه سعی بر این است که با استفاده از وضعیت دهنده‌ها، درز اتصال در حالتی قرار گیرد که اجرای جوشکاری در حالت سطحی امکان‌پذیر باشد، با وجود این در برپایی سازه‌های صنعتی ساختمان‌های فولادی، کشتی‌ها و مجموعه‌های کارخانه‌ای در مناطق صنعتی، امکان جوشکاری تمام اتصالات در حالت سطحی میسر نیست و لازم می‌شود در وضعیت‌های مختلف انجام شود لذا جوشکار باید مهارت کافی برای جوشکاری در آن شرایط را دارا باشد و در حقیقت گواهی تأیید شده برای جوشکاری در آن وضعیت را داشته باشد.

موقعیت‌های جوشکاری برای وضعیت (تخت، افقی، عمودی، بالای سر) به ترتیب دارای شماره‌های ۱ تا ۴ هستند. و جوشکاری عمودی رو به بالا را UP hill و جوشکاری سرازیر را Down hill گویند.

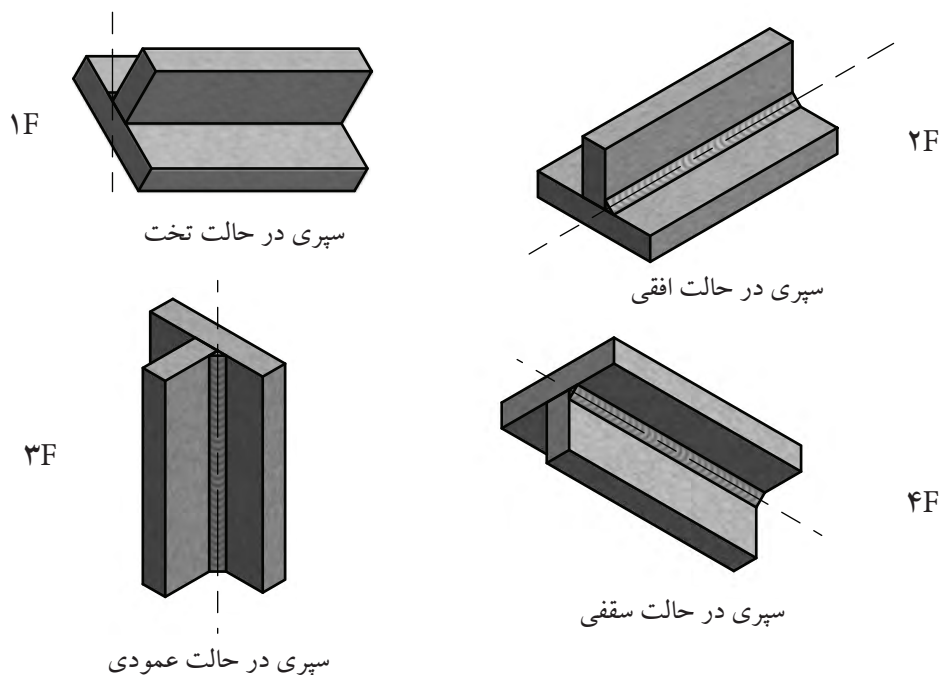
هم‌چنین در جوشکاری‌های تخت، افقی و بالای سر R=left to right یعنی جهت پیشروی جوش از چپ به راست باشد. و با L=Right to Left از راست به چپ نیز تعیین شده است.

همان‌طور که می‌دانیم Groove Weld به جوش‌هایی که در شیار ایجاد شده بین دو قطعه یا فاصله درز دو قطعه اجرا می‌شود گفته شده و با حرف G معرفی می‌گردد وقتی این نوع جوش در وضعیت‌های مختلف اجرا می‌شود ۱G تا ۶G نامگذاری می‌شوند. (شکل ۵-۱۷)



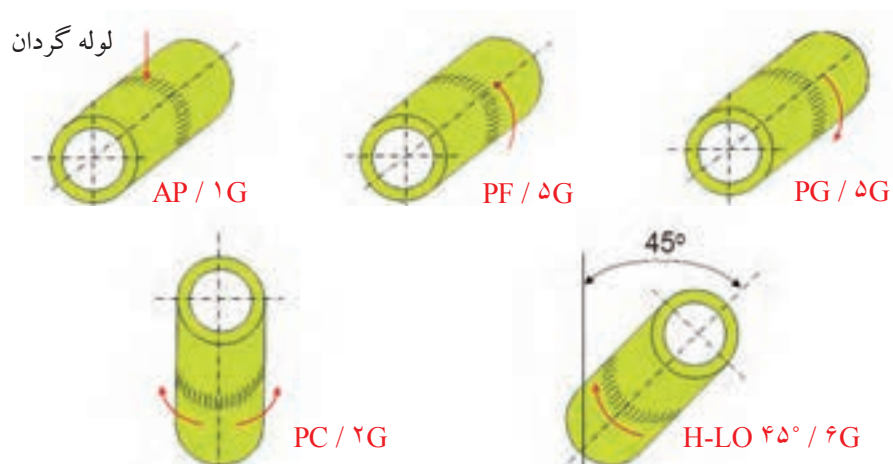
شکل ۵-۱۷

جوش ماهیچه‌ای یا Fillet Weld هم شامل یک یا چند گرده جوش است که در زاویه بین دو قطعه فلز جوش رسوب داده می‌شود و نیاز به آماده‌سازی قبلی نداشته و اقتصادی‌تر است و با حرف F معرفی می‌گردد، این گروه هم در وضعیت‌های مختلف از ۱F تا ۴F نام‌گذاری می‌شوند مطابق شکل (۵-۱۸).



شکل ۵-۱۸

مطابق شکل (۵-۱۹) اگر اتصال دو لوله به صورت سر به سر بوده و امکان گردش لوله وجود داشته باشد ۱G است و منطقه ذوب همواره در قسمت بالای لوله قرار دارد.



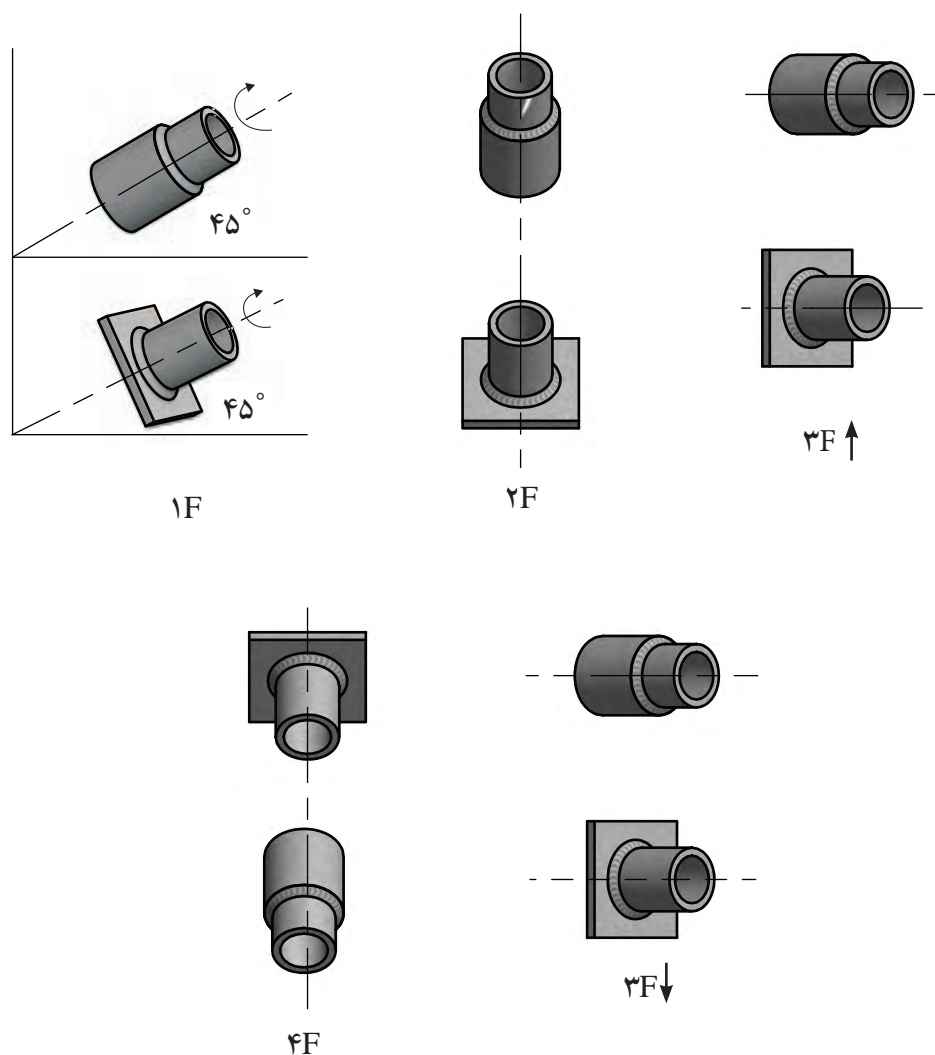
شکل ۵-۱۹

چنانچه در اتصال سر به سر، لوله در حالت عمودی بوده و حرکت گردشی هم امکان نداشته باشد جوشکاری افقی تلقی می شود و ۲G است.

اتصال قطعات لوله یا پروفیل ها که حالت گردشی نداشته و به صورت افقی یا با تغییر زاویه  $15^\circ$  ثابت باشند جوش را ۵G گویند.

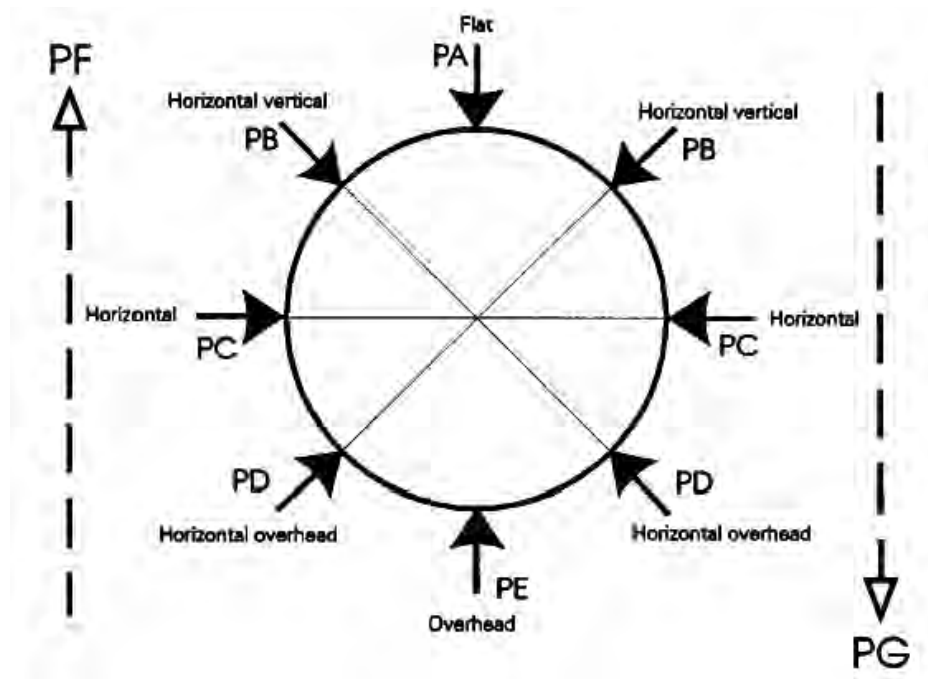
اگر قطعات لوله تحت زاویه  $45^\circ \pm 5^\circ$  به هم اتصال داده شود و امکان گردش هم وجود نداشته باشد جوش را ۶G گویند.

اتصال لوله به لوله که لوله ها درون یکدیگر جفت شده به دلیل اجرای جوش ماهیچه ای با حرف F معرفی می شود و شماره آنها بر اساس ۱F تا ۴F معرفی می شوند. به شکل (۲۰-۵) توجه کنید.



شکل ۲۰-۵

وضعیت‌های جوشکاری در استاندارد DIN و ISO با حرف P و به ترتیب از A تا G معرفی شده‌اند دایره توسط قطرهای چهارگانه تقسیم شده است چنانچه شعاع‌های ترسیم شده از خط مرکزی فلز جوش عبور کند تعیین کننده وضعیت بوده با حروف تعیین شده در شکل (۵-۲۱) معرفی می‌شوند.

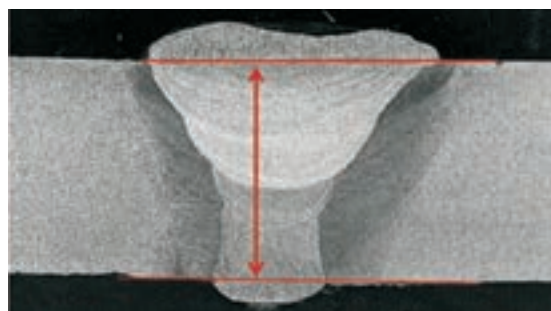


شکل ۵-۲۱

در این استاندارد جوش عمودی سر بالا را PF و جوش عمودی سرازیر را PG نامیده‌اند.

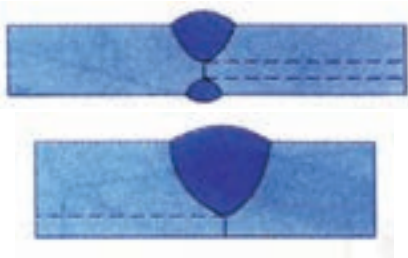
### ۵-۲- اندازه جوش

در یک جوش شیاری، اگر در جوش یک طرفه نفوذ کامل باشد (CJP) شکل (۵-۲۲) اندازه جوش با اندازه ضخامت قطعه نازک تر اتصال، بدون برجستگی تقویتی (Reinforcement) برابری می‌کند.



شکل ۵-۲۲

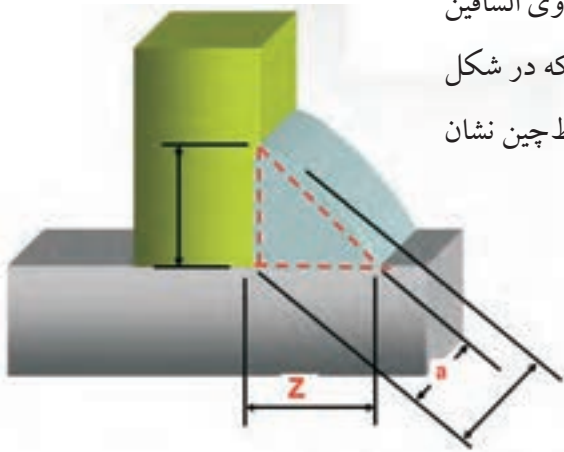
در صورتی که نفوذ کامل نباشد (PJP) یعنی نفوذ جزئی در جوش باشد، مجموع دو مقدار نفوذ در طرفین اتصال اندازه جوش به حساب می‌آید یعنی  $E_1 + E_2$  اندازه جوش خواهد بود. این موضوع در خصوص استانداردهای آمریکایی و اروپایی یکسان است. (شکل ۵-۲۳)



شکل ۵-۲۳

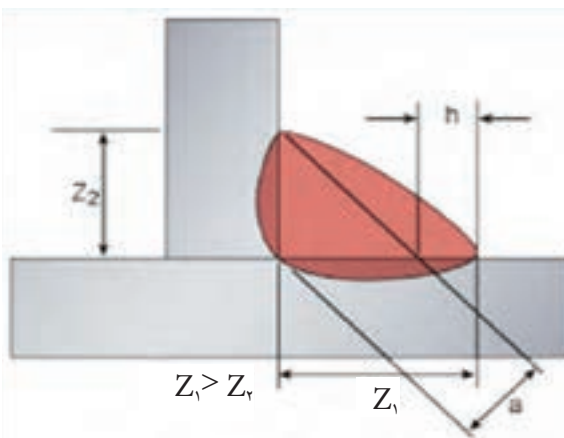
### ۱-۷-۵ اندازه جوش ماهیچه‌ای

طبق استاندارد (AWS) اندازه جوش برابر است با بزرگترین ضلع مثلث متساوی الساقین که در مقطع جوش ماهیچه‌ای (Fillet Weld) که در همان مقطع محاط گردد که در شکل (۵-۲۴) در جوش ماهیچه‌ای کاو و کوژ (مقعر و محدب) به صورت مثلث خط چین نشان داده شده است و ساق مثلث اندازه جوش می‌باشد.



شکل ۵-۲۴

طبق استانداردهای اروپایی در جوش ماهیچه‌ای اندازه گلوبی جوش، به عنوان اندازه جوش مورد محاسبه است، یعنی گلوبی همان مثلث خط‌چینی که به آن اشاره شد یعنی گلوبی تئوری (در عمل با توجه به نفوذ و برجستگی تقویتی جوش) اندازه گلوبی واقعی از گلوبی تئوری بزرگ‌تر خواهد بود. اندازه جوش اروپایی (a) و اندازه جوش آمریکایی را با (Z) نشان می‌دهند که با رابطه  $Z = \frac{1}{\sqrt{3}} a$  و یا  $a = \frac{\sqrt{3}}{1} Z$  به هم تبدیل می‌شوند.



شکل ۵-۲۵

در صورتی که طبق دستور طراح، ساق‌های جوش نامساوی باشند مطابق شکل (۵-۲۵) ساق بزرگ‌تر و ساق کوچک‌تر معین گردیده است.

نفوذ در پشت درز (نفوذ)  $E_2$     نفوذ روی سطح کار (نفوذ)  $E_1$



۸- علامت استاندارد جوش لوله که امتداد لوله افقی باشد و قابل گردش کدام است؟

الف) ۱ G (ب) ۲ G

ج) ۱ F (د) ۶ GR

۹- جوشکاری PF در استاندارد ISO مطابق کدام در استاندارد AWS است.

الف) UP hill (ب) Down Hill

ج) ۳ G (د) ۳ F

۱۰- در کدام صنعت امکان استفاده بیشتری از وضعیت دهنده وجود دارد؟

الف) ساختمان‌های فولادی (ب) پل سازی

ج) کشتی سازی (د) واگن سازی





# فصل ششم

## ساختار منطقه جوش

### هدف‌های رفتاری

پس از پایان این فصل از هنرجو انتظار می‌رود که:

۱. قسمت‌های مختلف یک اتصال ذوبی را نام ببرد.
۲. چگونگی حوضچه مذاب را شرح دهد.
۳. چگونگی سخت شدن فولاد با عملیات حرارتی را توضیح دهد.
۴. علت پیش گرمی را شرح دهد.
۵. عیوب ظاهری را نام ببرد.
۶. انواع ترک‌ها در اتصالات جوشکاری شده را معرفی کند.
۷. آخال متمایز در جوشکاری GTAW و دلیل به وجود آمدن آن را بیان کند.
۸. راه‌های جلوگیری از ترک گرم را شرح دهد.
۹. دلایل شکست سرد را شرح دهد.
۱۰. انواع پیچیدگی در جوش را نام ببرد.
۱۱. راه‌های جلوگیری از پیچیدگی را شرح دهد.

## — تعریف ساختار منطقه جوش

متداولترین انواع جوش‌ها، جوش ذوبی است که دارای ۳ قسمت کاملاً مجزا می‌باشد که به شرح زیر است:

۱- منطقه ذوب شده

۲- منطقه تحت تأثیر حرارت (HAZ)

۳- فلز مبنا (فلز مورد جوشکاری)

فلز جوش که از انجماد حوضچه مذاب به دست آمده تحت تأثیر گرما، سرعت سرد شدن، تغییرات نظم اتمی و امتزاجی در آن شکل می‌گیرد و ویژگی‌های زیر را به وجود می‌آورد.

تغییر خصوصیات مکانیکی

افزایش تردی فلز جوش

افزایش حساسیت در مقابل ترک خوردگی

کاهش مقاومت به خوردگی و زنگ زدگی

شدت این تغییرات و تأثیرات به نوع فرایند جوشکاری نیز وابسته است

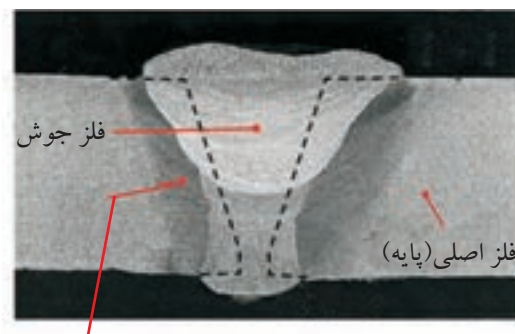
### ۱-۶ قسمت‌های مختلف منطقه جوش شده

مطابق شکل (۱-۶) عبارتند از:

۱- فلز جوش

۲- منطقه تحت تأثیر حرارت

۳- فلز اصلی (فلز پایه)



منطقه تحت تأثیر گرما

شکل ۱-۶

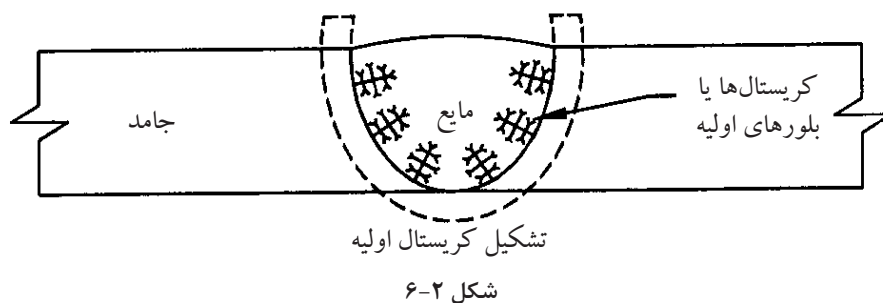
● **فلز جوش:** قسمت میانی فلز جوش، آلیاژی از مذاب لبه‌ها و مذاب فلز پرکننده، درز خواهد بود مثلاً زمانی که یک الکتروود نیکلی برای جوشکاری چدن خاکستری به کار می‌رود آلیاژی از فلز نیکل و فلز آهن و کربن خواهد بود که دارای ساختار FCC بوده و آستینیتی است و جذب آهن ربا نمی‌شود.

● **منطقه تحت تأثیر حرارت (HAZ):** به منطقه کنار فلز جوش که جزء فلز پایه می‌باشد و ذوب نشده ولی در اثر گرما تغییر ساختار داده است.

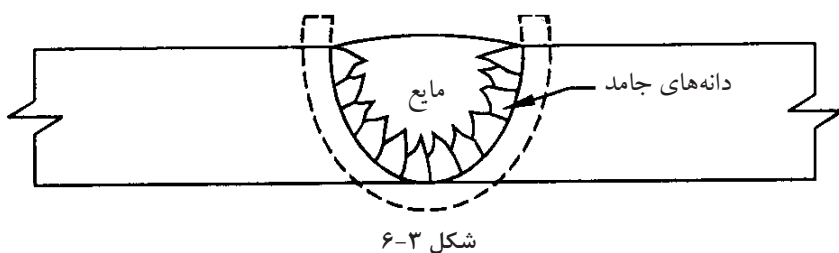
● **فلز پایه:** که تغییری در آن رخ نداده ولی در اثر انبساط و انقباض ناشی از حرارت، تنش در آن پدیدار شده است.

## ۶-۲ چگونگی انجماد حوضچه مذاب

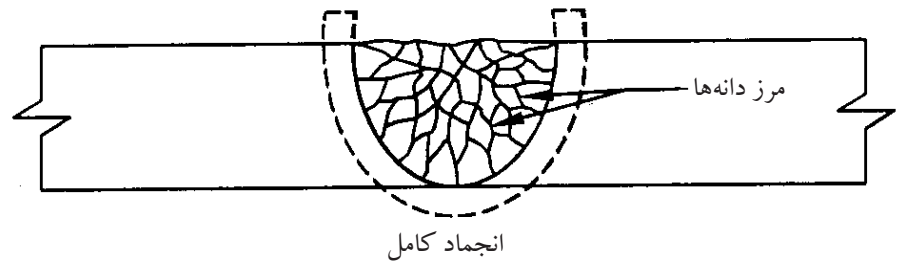
می‌دانیم اتم‌های مذاب فلزی بی‌نظم و آمورف (بی‌شکل) هستند ولی در اثر سرد شدن اتم‌ها با نظم خاص و تکرار شونده منجمد می‌شوند یعنی ساختار کریستالی دارند. انجماد با ایجاد هسته‌های کوچک جامدی شروع می‌شود (که به این عمل جوانه‌زنی می‌گویند) به شکل (۶-۲) توجه کنید که در یک حوضچه مذاب، بلورهای جامد چگونه و از چه منطقه‌ای شکل گرفته‌اند (جوانه‌ها از قسمت جامد ایجاد شده و رشد می‌کنند).



پس از شکل‌گیری هسته‌های اولیه جامد، اتم‌های دیگری به هسته اضافه می‌شوند و رشد کرده و بزرگ می‌شوند تا به ذرات جامد بزرگ‌تر تبدیل شوند که دانه یا بلور (کریستال) نامیده می‌شود. (شکل ۶-۳)



با پیشرفت جامد بلورها یا دانه‌ها به هم رسیده و مرز نا منظمی درست می‌کنند که به آن مرز دانه گویند که با میکروسکوپ قابل رؤیت هستند شکل (۴-۶) کامل شده انجماد را ملاحظه کنید.



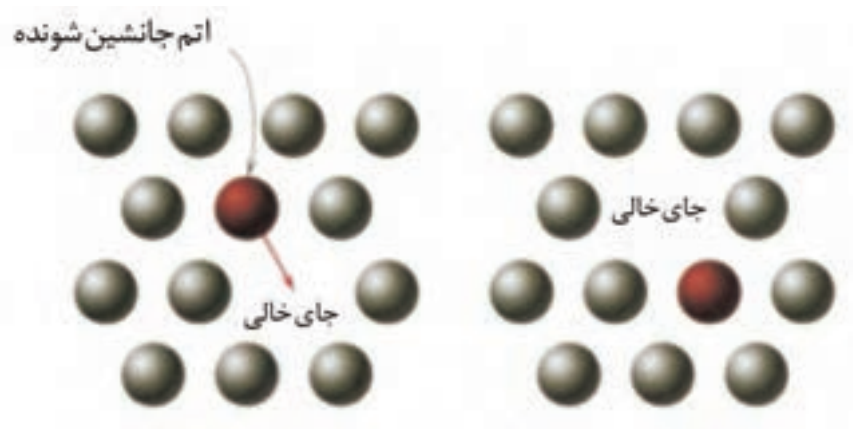
شکل ۴-۶

در مرکز فلز جوش به دلیل سرعت بالاتر انجماد دانه‌ها رشد کمتری دارند دانه‌های ریزتر شکل می‌گیرند.

وقتی عنصری به یک فلز خالص اضافه شود و آلیاژی تشکیل دهند اتم عنصر جدید به دو صورت در شبکه قرار می‌گیرد.

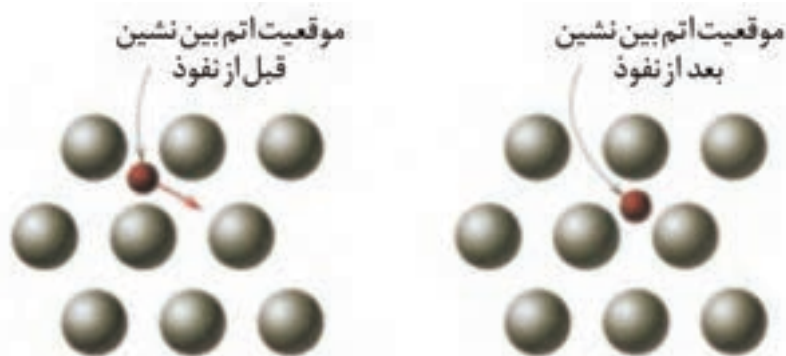
• **جانشینی مستقیم:** وقتی اتم فلز جدید اندازه‌ای نزدیک به اتم فلز پایه داشته باشد، می‌تواند در محلی که پیش از این اتم فلز پایه قرار داشته جایگزین شود.

شکل (۵-۶) نمونه‌ای از روش جانشینی مستقیم است که تشکیل آلیاژ داده‌اند مثل آلیاژ (مس، نیکل).



شکل ۵-۶

• **بین نشینی:** اگر اندازه اتم عنصر آلیاژی اضافه شده از اندازه اتم فلز پایه کوچکتر باشد می تواند بدون جا به جا کردن هیچ کدام از اتم های اصلی وارد شبکه فلز پایه شود و در بین آنها قرار گیرد شکل (۶-۶) و تشکیل آلیاژی دهد و استحکام کششی را زیاد کند مثل اتم کربن به عنوان اتم بین نشین در فولادها.



شکل ۶-۶

### ۳-۶ چگونه با عملیات حرارتی، فولاد سخت می شود؟

در کتاب متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی آموخته اید که فولاد ساده کربنی آلیاژی است از آهن و کربن که افزایش درصد کربن به استحکام و سختی فولاد می افزاید و عملیات حرارتی هم می تواند فولاد را سخت کند.

هم اکنون کربن در فولاد به دو صورت وجود دارد:

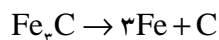
الف) کربن در فولاد به صورت اتمی و بین نشین که کمتر به این حالت یافت می شود.

ب) ترکیب کربن با آهن، به نام کاربید آهن که در درجه حرارت محیط در فولاد به

صورت  $Fe_3C$  وجود دارد و مقدار آن به درصد کربن در فولاد بستگی دارد.

حرارت دادن فولاد در دمای بیش از  $723^{\circ}C$  باعث می شود که، کاربید آهن  $Fe_3C$

تجزیه شده و به اتم کربن و اتم آهن تبدیل شود.



در شرایط فوق وقتی فولاد، گرم می شود از شبکه BCC به FCC هم تغییر شبکه

می دهد.

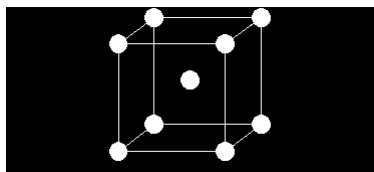


پس دو اتفاق با هم افتاده است هم اتم‌های کربن آزاد شده‌اند و هم شبکه اتمی FCC تشکیل شده است که به دلیل حجم بزرگتر فضای خالی این شبکه می‌تواند مقدار بیشتری اتم کربن در بین اتم‌های خود جای دهد، به صورت بین‌نشین.

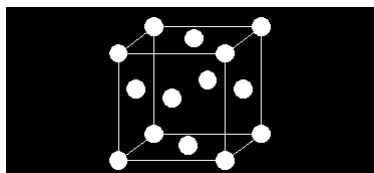
حال برای سرد کردن دو حالت در نظر می‌گیریم:

الف) سرد کردن آرام (تعادلی)

ب) سرد کردن تند (سریع)



شبکه BCC



شبکه FCC

اگر فولاد گرما دیده و سرخ شده را سریع سرد کنیم (به وسیله آب یا هوای فشرده) اتم‌های کربن بین‌نشین در شبکه FCC فرصت پیدا نمی‌کنند تغییر وضعیت داده و به کاربید آهن  $Fe_3C$  تبدیل شود. در حالی که تبدیل شبکه از FCC به BCC الزامی و حتمی است سرعت سرد شدن باعث می‌شود مقدار زیادی اتم کربن به صورت فشرده درون شبکه BCC باقی بماند و شبکه به شکل مکعب مستطیل می‌شود. لذا سختی زیاد می‌شود و فولاد حاصل شکننده‌تر است. شکل (۶-۷) شبکه BCC و FCC را نشان می‌دهد.

بر عکس اگر فولاد گرما دیده و سرخ شده آرام سرد شود سخت و شکننده نمی‌شود زیرا زمان لازم جهت تشکیل مجدد  $Fe_3C$  وجود دارد.

حرارت حاصل از جوشکاری می‌تواند تغییرات فوق را در منطقه ذوب و HAZ ایجاد کند. به علاوه گرمای جوشکاری باعث انبساط و انقباض می‌شود و تنشهای زیادی تولید می‌کند که این عوامل باید تحت کنترل باشد تا جوش با کیفیت مطلوب بدست آید.



شکل ۶-۷

#### ۴-۶ اشکالات و عیوب جوش

اجرای عملیات جوشکاری با کیفیت صد در صد و ایده‌آل و ایجاد یک اتصال بدون عیب به ندرت ممکن است و به طور معمول جوشکاری‌ها دارای معایب و ناپیوستگی‌هایی هر چند کوچک می‌باشند. ناپیوستگی‌هایی که مورد پذیرش استاندارد مرجع قرار گیرد عیب محسوب نمی‌شود.

استانداردها با در نظر گرفتن پارامترهایی مثل کیفیت، قابل اعتماد بودن از نظر تأمین نیازهای طراحی همراه با صرفه اقتصادی، محدوده پذیرش عیب را در جوش برای کاربردهای مختلف مشخص کرده‌اند.

ولی جوشکاران بدون در نظر گرفتن این ملاحظات همواره باید خود را موظف به اجرای جوشکاری بدون عیب و نقص دانسته و دائم تحت کنترل و بازرسی بوده و تشویق و ترغیب شوند.

جوش‌هایی که دارای ناپیوستگی در خارج از محدوده مجاز استاندارد باشند عیب‌دار به حساب آمده و بدون ملاحظات اقتصادی و سایر مسائل پروژه باید طبق دستورالعمل‌های تعمیراتی و با روش‌های اجرایی مورد تأیید، تخریب و مجدد بازسازی شوند. در خصوص ناپیوستگی‌ها در جوش ملاحظات زیر در قراردادها و پیمان‌های اجرای یک پروژه دیده می‌شود.

روش‌های بازدید عیب یا عیب‌یابی، روش‌های بازرسی‌های مخرب (DT) و غیر مخرب (NDT) خواهد بود.

• **روش‌های پیشگیری:** پیشگیری جدا از تعمیرات است حتی اگر این روش‌ها پرهزینه بوده و زمان‌گیر باشد باز هم اقتصادی‌تر و اصولی‌تر از هزینه‌های سرسام‌آور تعمیرات جوش که شامل عیب‌یابی، بریدن یا شکافتن جوش و جوشکاری مجدد آن است.

• **علل بروز عیب:** دانستن علل بروز عیب جوش مستلزم آگاهی از اصول کلی جوشکاری و فرایند اجرای آن است.

• **روش تعمیر و اصلاح جوش:** تهیه دستورالعمل تعمیر جوشکاری نیز بر اساس معیارهای قابل پذیرش استاندارد مرجع و توافق قراردادی و اقتصادی در قراردادها گنجانده می‌شود.

### **۱-۴-۶ عیوب متداول در جوشکاری:**

۱- عیوب ظاهری جوش

۲- عیوب داخلی جوش

#### **۱- عیوب ظاهری جوش:**

الف - عیوب ابعادی

ب- ناپیوستگی ظاهری

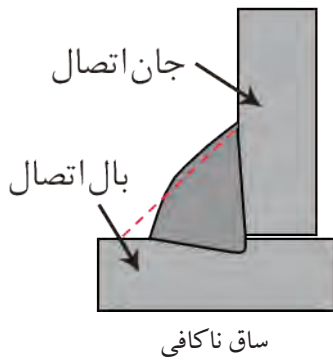
#### **الف- عیوب ابعادی:**

۱- عیوب ابعادی در اتصال سپری (Fillet)

## ۲- عیوب ابعادی در اتصال سر به سر (Butt)

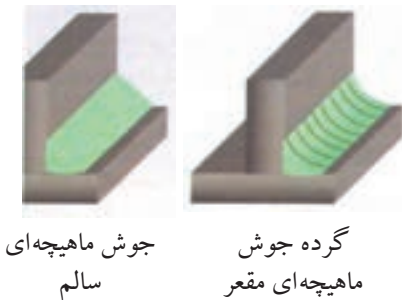
### ۱- عیوب ابعادی در اتصال سپری :

a. ساق ناکافی (z): در اتصالات سپری چنانچه در WPS اجرایی قید نشده باشد، معمولاً میزان ساق جوش مورد نیاز  $\frac{1}{4}$  ضخامت نازکترین قطعه در نظر گرفته می شود و چنانچه ساق جوش مورد نظر از حد مشخص شده کمتر باشد، عیب تلقی شده و باید ترمیم گردد.



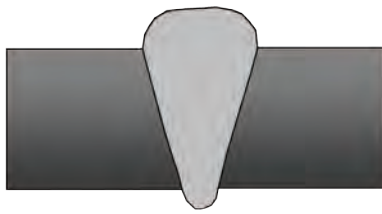
نکته مورد توجه این است که جوش (Fillet) در هر شرایطی باید دارای ساقهایی برابر بر روی دو بال و جان قطعه باشد مگر طبق دستور طراح.

b. گلویی ناکافی (تقعر گرده جوش): بهترین شرایط برای جوش Fillet، داشتن سطح جوش صاف و تخت می باشد. در این جوش چنانچه در WPS اجرایی مورد خاصی قید نشده باشد، معمولاً میزان این گلویی  $\frac{0.7}{t}$  ضخامت نازکترین قطعه مورد نظر گرفته می شود.



وجود جوش گوشه با ابعادی کمتر از این حد تقعر گرده جوش تلقی می گردد.

c. تحدب گرده جوش: چنانچه ابعاد گلویی جوش Fillet از حد مورد انتظار ( $\frac{0.7}{t}$ ) بیشتر باشد با ثابت ماندن ساق جوش مناسب، عیب تلقی می گردد، زیرا گرده جوش اضافی نه تنها در استحکام جوش نقشی ایفا نمی کند بلکه از آنجایی که می تواند زوایایی تیز در کناره جوش ایجاد کند، می تواند باعث ایجاد نقاط تمرکز تنش در قطعه گردد.



تحدب گرده جوش

میزان انحراف عیوب ابعادی از حد مجاز را می توان پس از رؤیت با استفاده از گیج های ویژه اندازه گیری و ثبت کرد.

## ۲- عیوب ابعادی در جوش سر به سر (Butt) :

a. تحدب گرده جوش: بیشترین حد برآمدگی گرده جوش برای اتصالات Butt  $\frac{1}{8}$  در حدود ۳mm می باشد و بیش از آن مجاز نمی باشد و عیب تلقی می گردد، زیرا باعث ایجاد نقاط تمرکز تنش در اتصال می گردد.



تقعر گرده جوش

### b. تقعر گرده جوش (عدم پرشدگی) :

حداقل میزان پرشدگی در جوشهای Butt باید در حد ضخامت قطعه باشد.



### c. تحدب ریشه جوش (نفوذ اضافی):

حداکثر میزان بیرون زدگی نفوذ جوش از پشت قطعه ۳mm می باشد و بیرون زدگی بیش از این حد مجاز نمی باشد و به عنوان عیب نفوذ اضافی تلقی می گردد.



### d. تقعر ریشه جوش:

نفوذ جوش باید به انتهای لبه قطعه در پشت کار برسد.



### e. عدم هم ترازی:

اگر در این اتصال (Butt) دو جزء اتصال در یک راستا نباشند، این عیب ایجاد می گردد.



### ب- ناپیوستگی ظاهری:

#### a. کناره (Under Cut):

عدم پرشدگی حوضچه مذاب در کناره های جوش و همچنین خوردگی کناره جوش روی قطعات اتصال را می گویند.



#### b. سر رفتگی جوش (Over Lap):

این عیب پرشدگی بیش از اندازه مجاز است و زمانی اتفاق می افتد که فلز جوش رسوب داده شده بیشتر از ظرفیت اتصال باشد و فلز پر کننده بدون ذوب کردن قطعه آن را بپوشاند.



#### c. عدم ذوب (Lack of Fusion (LOF):

حوضچه مذاب در هر مرحله باید با دیواره قطعات مورد اتصال و جوش پاسهای قبلی به طور کامل اقدام گردد، در غیر این صورت باعث ایجاد عیبی به اسم ذوب ناقص (LOF) می گردد. این عیب گاهی ممکن است در سطوح زیرین قطعه اتفاق بیافتد و قابل مشاهده نباشد.

#### d. نفوذ ناقص (Lack of Penetration (LOP):

این عیب در صورتی جزء عیوب ظاهری تلقی می گردد که دسترسی به دو طرف قطعه باشد در غیر این صورت این عیب جزء عیوب داخلی در نظر گرفته می شود.

جوش ذوبی در صورتی نفوذ کامل است که دو لبه اتصال از سطح بالا (ظاهری) تا سطح پائینی به طور کامل ذوب شده و درهم آمیخته شود. این عیب در دو حالت بررسی می شود.

الف: نفوذ ناقص در اتصالات شیاری یک طرفه:



نفوذ ناقص در اتصالات شیاری یک طرفه

جوش ذوبی باید در پشت قطعه اتصال یا هم سطح در قطعه باشد (در استفاده از پشت بند) و یا از پشت کار بیرون بزند (نهایتاً به اندازه ۳mm) و در غیر این صورت نفوذ ناقص است.

ب: نفوذ ناقص در اتصالات شیاری دو طرفه :



نفوذ ناقص در اتصالات شیاری دو طرفه

در این گونه اتصالات پاشنه کار و ریشه اتصال در مرکز ضخامت قطعه واقع می گردد که باید توسط جوش ذوبی به طور کامل ذوب و پر گردد و اگر این شرایط ایجاد نشود عیب در نظر گرفته می شود.

e. لکه قوس :

در اثر برخورد نوک الکتروود به اطراف درز جوش و قطعه در هنگام شروع جوشکاری ایجاد می شود.



لکه قوس

f. چاله جوش:

این عیب در نقاط انتهایی خط جوش دیده می شود که عبارت است از عدم پرشدگی انتهای جوش، که می تواند محل مناسبی برای بروز عیوب خطرناکی نظیر ترک باشد.



چاله جوش

g. پاشش و جرقه :

اگر در هنگام جوشکاری پارامترهای اساسی جوش رعایت نشود، جرقه و پاشش های ایجاد شده از حد طبیعی بزرگتر شده که در نتیجه به سطح قطعه و جوش چسبیده و بر روی کار باقی می مانند و از این نقاط می توانند محل مناسبی برای جوانه زنی ترک ها و شکست قطعه باشد.



پاشش و جرقه

## ۱- عیوب داخلی جوش:

### ۱- تخلخل (Parasity):

این عیب در اثر حبس شدن گاز در داخل جوش ایجاد می شود. بنابراین هر عاملی که باعث ایجاد گاز شود از قبیل چربی و رطوبت می تواند عامل ایجاد این عیب باشد. هم چنین اگر شرایطی پیش بیاید که گازهای ایجاد شده در داخل جوش فرصت خروج را پیدا نکنند. باز هم باعث ایجاد این عیب می گردند. این عیب می تواند در مدل‌های مختلفی مشاهده شود که عبارت است از:

a. تخلخل با پخش یکنواخت:

در این حالت حباب‌های گاز در تمام طول جوش وجود دارند که ناشی از مواد مصرفی کثیف و ناسالم می باشد.



تخلخل با پخش یکنواخت

b. تخلخل خوشه ای:

در این حالت حباب‌های گازی در نقاطی از خط جوش تجمع یافته‌اند که معمولاً ناشی از قطع و وصل شدن جریان جوشکاری در حین کار می باشد که باعث می شود حوضچه مذاب سریع سرد شود و حباب‌های ایجاد شده فرصت خروج پیدا نکنند.



تخلخل خوشه ای

c. تخلخل خطی:

این حالت ناشی از ایجاد حباب‌های گازی و کشیده شدن آن در طول مسیر جوشکاری می باشد.

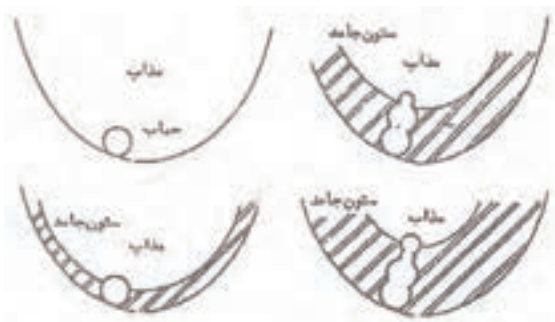


تخلخل خطی

d. تخلخل لوله ای :

این عیب ناشی از حرکت هم زمان حباب به سمت سطح قطعه و انجماد حوضچه

می باشد.



تخلخل لوله ای

## ۲- آخال (Inclusion):

هرگاه در داخل جوش ذرات جامدی باقی بماند این عیب ایجاد می شود. عموماً

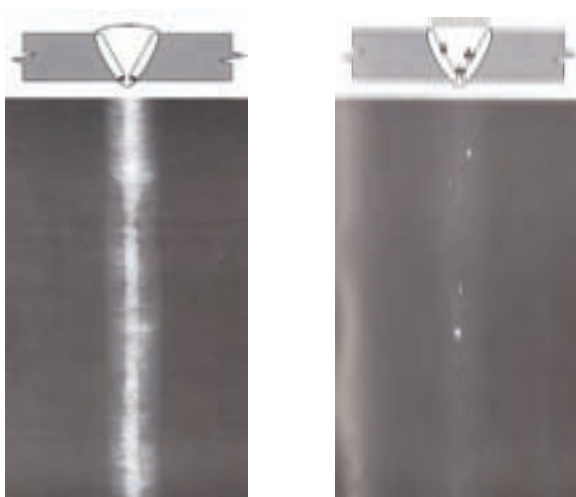
آخال های جوشی به یکی از دو صورت زیر می باشد :

a. آخال سرباره : ناشی از جا ماندن سرباره جوش قبلی می باشد که در جوشهای

الکترو دستی و زیرپودری می تواند رخ دهد.

b. آخال تنگستنی: این عیب در جوشکاری TIG ای رخ می دهد و ناشی از برخورد

الکترو دستی تنگستنی به حوضچه مذاب در حین جوشکاری می باشد.



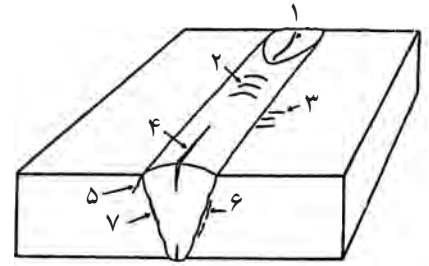
آخال سرباره

آخال تنگستنی

### ۳- ترک (Crack):

این عیب انواع گوناگونی دارد و معمولاً جزء خطرناکترین عیوب موجود در جوش و قطعه به حساب می آید که در زیر به آنها اشاره می گردد.

ترک ها بر حسب محل وقوع و دمای ایجاد به صورت های مختلفی دسته بندی می گردد.



### • انواع ترک از نظر محل بروز عیب:

۱. ترک ستاره ای : محل بروز این ترک در چاله انتهایی جوش می باشد.
۲. ترک عرضی : در جهتی عمود بر جهت جوش رخ می دهد و می تواند در قطعه و یا جوش واقع گردد.
۳. ترک طولی : این ترک در امتداد طولی جوش رخ می دهد.
۴. ترک زبانه (گوشه)
۵. ترک زیر خط ذوب
۶. ترک در منطقه HAZ
۷. ترک در ریشه جوش

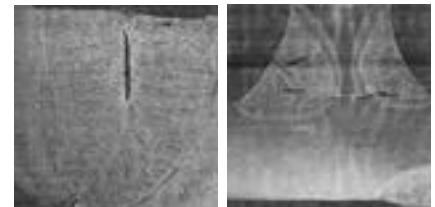
### • دلیل ایجاد ترک در جوش:

هرگاه تنش های انقباضی ناشی از سرد شدن جوش بیشتر از تنش تحمل قطعه در آن درجه حرارت باشد، شکست اتفاق می افتد. این موضوع در تمام دماها ( از لحظه انجماد تا پایان سرد شدن و حتی مدتی پس از سرد شدن) در هنگام بارگذاری امکان پذیر است.

انواع ترک از نقطه نظر دما:

#### a. ترک گوم (سرخ شکنی):

این ترک در شروع انجماد و تشکیل دانه ها اتفاق می افتد، زمانی که دانه های فلزی شکل می گیرند و استحکام بوجود می آید، تنشهای انقباضی باعث شکست می شود که علت آن وجود ذوب در مرز دانه هاست که مربوط به ترکیبات و آلیاژهای زود ذوب در قطعه می باشد. این ترک به سرخ شکنی معروف است و میل به ادامه ندارد و در فولاد خوش تراش که دارای گوگرد است و در آلیاژ آلومینیوم با سیلیس و در جوشهایی با عرض زیاد بیشتر به وقوع می پیوندد.



## راه های جلوگیری از شکست گرم:

برای جلوگیری از شکست گرم در فولادها از الکترودهایی که دارای منگنز زیادی هستند استفاده می کنیم تا از تشکیل سولفید آهن که یک ترکیب زود ذوب است و باعث ایجاد ترک گرم می شود جلوگیری به عمل می آوریم. ضمناً با استفاده از اقدامات دیگری نظیر استفاده از الکتروود با قطر بالاتر و پخ مناسب و پهنای جوش کمتر و هم چنین کاهش درجه مهار قطعه می توان جلوی ترک گرم را بگیریم.

## b. شکست سرد:

این ترک در درجه حرارت های پایین و زیر خط انجماد اتفاق می افتد و از دانه های فلزی جوش و ناحیه HAZ هم عبور می کند و میل به ادامه دارد و در اثنای سرد شدن جوش و یا چند روز و یا چند هفته پس از جوشکاری اتفاق می افتد. همراه شدن تردی در فلز جوش و منطقه ZAH و تجاوز تنش های کششی از حد تنش شکست قطعه موجب شکست سرد می شود.

این ترک معمولاً در اثر جمع شدن سه عامل زیر اتفاق می افتد:

۱- ترد و سخت شدن منطقه جوش

۲- افزایش تنش های پسماند حرارتی

۳- حفره های گازی و هیدروژن تردی

## راه های جلوگیری از شکست سرد عبارتند از:

الف: تمیز بودن سطح قطعه از آلودگی هایی نظیر چربی.

ب: استفاده از الکترودهای کم هیدروژن.

پ: خشک کردن الکتروود.

ت: پیش گرم کردن قطعه به منظور کاهش سرعت سرد شدن قطعه، جهت کاهش

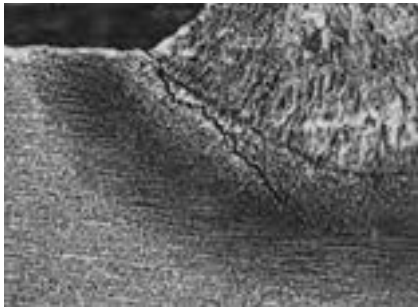
میزان تنش های پسماند و کاهش میزان ساختارهای ترد در جوش.

ث: عملیات تنش زدایی بعد از جوشکاری

ج: کنترل درجه حرارت بین پاسی

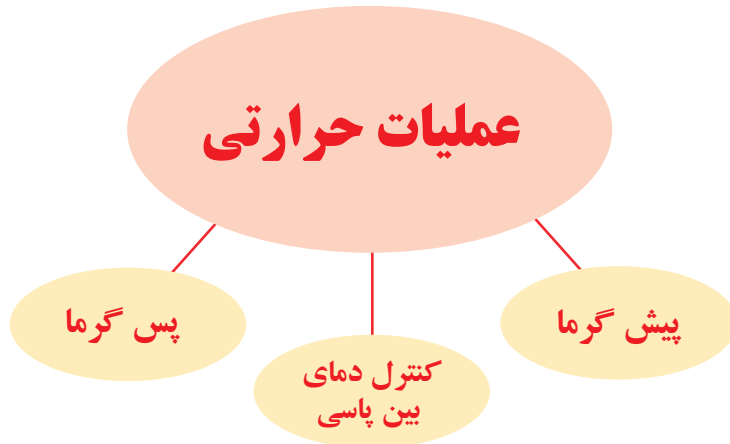
نکته ای که همواره باید مدنظر داشت این است که عیوب داخلی جوش نیز می تواند

به سطح قطعه راه پیدا کند و قابل مشاهده شود.



## ۵-۶ عملیات حرارتی در جوش

به منظور امکان جوشکاری مطلوب و جلوگیری از به وجود آمدن بعضی از انواع عیوب در جوشکاری عملیات حرارتی صورت می‌گیرد.



### ۱-۵-۶ پیش گرما (Preheating)

یعنی حرارت دادن فلز پایه قبل از جوشکاری که به منظور دستیابی به اهداف زیر عملی می‌شود:

- ◆ کاهش سرعت سرد شدن برای جلوگیری از تشکیل ساختار سخت در فولاد یعنی فولاد پیش گرم می‌شود تا پس از جوشکاری آرام سرد شود.
- ◆ رسیدن به درجه حرارت ماکزیمم: فلزاتی که هدایت حرارت بالا دارند مثل مس و آلومینیوم و قطعات ضخیم فولادی تا درجه حرارت معینی پیش گرم می‌شوند تا فلز راحت‌تر به درجه حرارت ذوب برسد درجه حرارت پیش گرمی در جدول ضمیمه کتاب مشاهده فرماید.

### ۲-۵-۶ کنترل درجه حرارت بین پاسی: بعضی از آلیاژها و فولادها و چدن‌ها

اگر از درجه حرارتی بالاتر روند یا مدتی در درجه حرارت بالا واقع شوند ترکیبات یا ساختارهای سخت در دمای مختلف آنها شکل می‌گیرد لذا کنترل دمای پیش گرما و کنترل دمای بین پاسی بسیار با اهمیت تلقی می‌شود همچنین سرد شدن قطعه به دلیل قطع جوشکاری و سرد بودن محیط یا ضخیم بودن قطعه نیز موجب سریع سرد شدن جوش می‌شود که باید همواره این مسائل گرمایی مد نظر بوده و به طور دقیق اجرا شود.

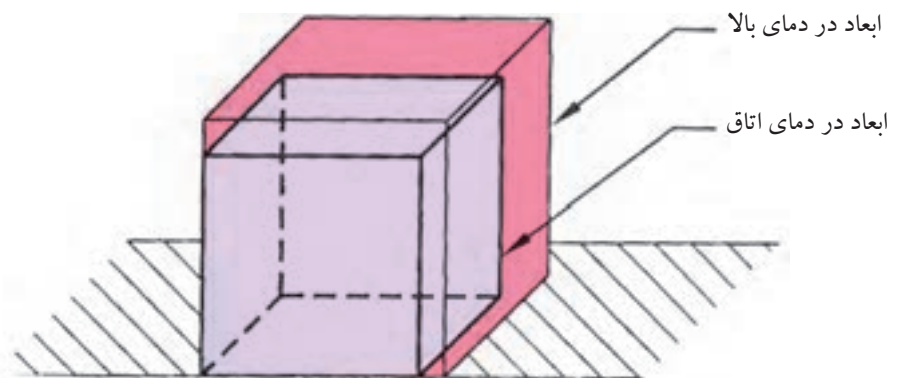
**۳-۵-۶ پس گرما Post Heating:** این عملیات در جوشکاری قطعات فولادی سختی پذیر و بعضی از آلیاژها اجرا می‌شود. پس گرما برای حذف تنش‌ها و حذف سختی و تردی و گاهی رسیدن به زیر ساختار مورد نظر اجرا می‌شود. نحوه این عملیات گرمایشی بسته به خواصی که از جوش انتظار داریم و هم‌چنین با توجه به نحوه سرد شدن قطعه متفاوت خواهد بود.

در حقیقت پس گرما ترک‌های به وجود آمده را اصلاح نمی‌کند ولی باعث می‌شود شکست اتفاق نیافتد کپسول‌های گاز خانگی و مخازن تحت فشار و قطعاتی که موقع بارگذاری تحت تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند و باید حالت ارتجاعی خود را حفظ کنند بنابراین پس از عملیات جوشکاری تنش‌زدایی می‌شوند.

برای اجرای تنش‌زدایی بعضی محصولات صنعتی کوره مخصوص پس گرما برای همان منظور طراحی و ساخته می‌شود. در جداول و ضمیمه کتاب دمای پس گرمایی را مشاهده می‌کنید.

### ۶-۶ پیچیدگی و دلایل آن در اتصالات جوشکاری شده

اگر یک مکعب فلزی را به صورت یکنواخت تا نزدیکی دمای ذوب گرم کنیم مشاهده می‌شود که مکعب گرما دیده دارای ابعاد بزرگتری است و پس از سرد شدن به ابعاد اولیه باز می‌گردد. شکل (۶-۸)

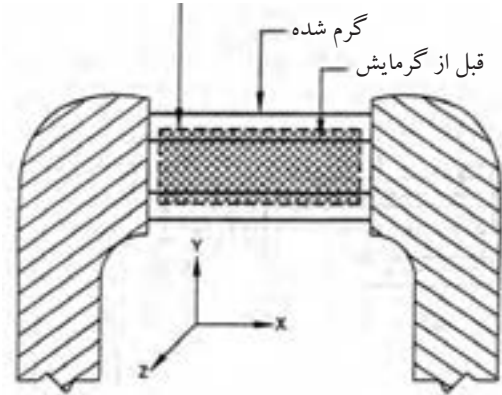


شکل ۶-۸

حال اگر میله استوانه‌ای را بین فک‌های ثابت قرار دهیم به نحوی که اندازه میله درست به اندازه فاصله فک‌ها از هم باشد و نیرویی از طرف فک‌ها به میله وارد نشود (تنش در



بعد از گرمایش (و بازگشت به دمای اتاق)



شکل ۹-۶

میله نباشد) مطابق شکل (۹-۶).

سپس میله را حرارت داده تا گرم شود مثلاً  $200^{\circ}\text{C}$  چه اتفاقی می افتد؟ شاید بگویید میله گرم شده است.

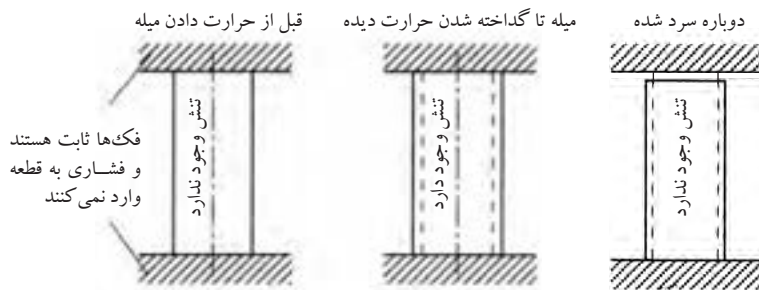
آیا میله گرم شده انبساط پیدا نمی کند؟ جواب بلی است.

پس به فک ها فشار می آورد و چون فک ها ثابت هستند، در میله تنش فشاری ایجاد می شود به چه دلیل؟ جواب: به دلیل انبساط حرارتی میله.

حالا اجازه می دهیم میله سرد شود و به درجه حرارت اتاق برسد آیا باز هم تنش در قطعه است و به فک ها فشار وارد می کند؟ پاسخ خیر است.

بار دیگر حرارت می دهیم تا  $400^{\circ}\text{C}$  که باعث افزایش تنش شده ولی هنوز قطعه در حالت ارتجاعی یا الاستیکی است ولی این بار مقدار تنش از دفعه قبل بیشتر است البته پس از سرد شدن میله باز هم تنش حذف شده و میله اندازه اولیه خود را خواهد داشت. دفعه سوم تا  $900^{\circ}\text{C}$  حرارت می دهیم ابتدا میله گرم شده و تنش ایجاد می شود سپس افزایش دما باعث می شود قطعه به حالت فرم پذیری (پلاستیک) درآید انبساط حرارتی باعث چاق تر شدن میله و تغییر شکل آن می شود ولی تنش در قطعه نمی ماند.

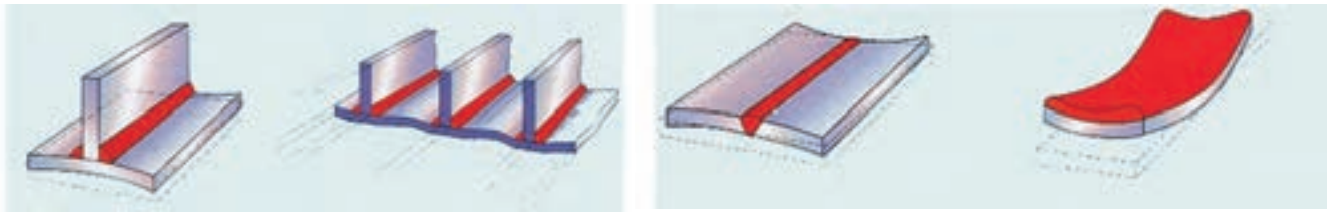
حال چنانچه قطعه سرد شود به دلیل انقباض میله کوتاه می شود و دیگر نمی تواند بین دو فک بماند و می افتد. (شکل ۱۰-۶)



شکل ۱۰-۶

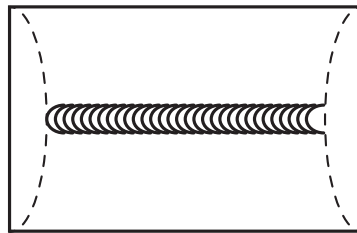
در جوشکاری هم همین اتفاق می افتد و منطقه جوش خورده و گرما دیده (فلز جوش و ناحیه HAZ) شباهت کامل به میله بین دو فک ثابت را دارد چون قسمت های سرد قطعه ثابت هستند و قسمت گرم شده در وسط قطعه کار قرار دارد و محصور است لذا پس از سرد شدن منقبض می شود، تنش های انقباضی باعث پیچیدگی می شود مطابق

شکل (۱۱-۶) یا به صورت تنش باقی مانده (تنش پسماند) در قطعه می ماند.



شکل ۱۱-۶

شکل ۱۲-۶ پیچیدگی طولی را نشان می دهد. شکلی که با خط چین رسم شده حالت قطعه را قبل از جوشکاری لبه نشان می دهد



### ۱-۶-۶ انواع پیچیدگی

#### ● پیچیدگی طولی

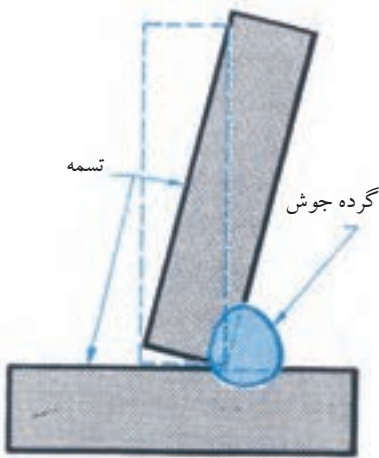
روی دیواره لبه یک تسمه فولادی مطابق شکل (۱۲-۶) جوشکاری شده است. تسمه آزاد و بدون مهار می باشد و علت خمیدگی پس از سرد شدن انقباضی است که گرده جوش برجسته روی دیواره تسمه ایجاد می کند و این پیچیدگی طولی است.



شکل ۱۳-۶ سوار شدن قطعات موقع جوشکاری در حالتی که در طرف دیگر جوش خال جوش ایجاد نکرده ایم

#### ● پیچیدگی عرضی

اگر دو پلیت به صورت لب به لب جوشکاری شود بدون این که دو سر ورق خال جوش شود و قید و بستی هم وجود نداشته باشد در هنگام جوشکاری انتهای ورق مطابق شکل (۱۳-۶) به هم نزدیک می شود و یا روی هم سوار می شود که به دلیل انقباض عرضی است و به آن پیچیدگی عرضی گویند.



شکل ۱۴-۶ پیچیدگی زاویه ای

#### ● پیچیدگی زاویه ای

در جوش هایی که قطعات ضخیم به هم جوش می خورند و زمانی که تعداد پاس های جوشکاری زیاد باشد در اثر انقباض فلز جوش قطعات کار به طرف پخ V یا U جمع می شوند و یا در جوشکاری سه پری (سپری) پیچیدگی های زاویه ای شکل می گیرد.

شکل (۱۴-۶)

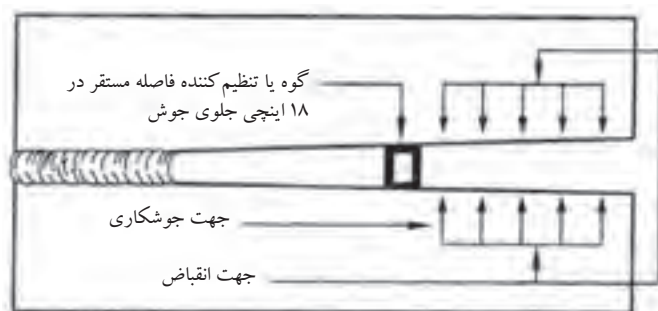
برای جلوگیری از پیچیدگی راه‌های مختلفی وجود دارد که به آنها اشاره می‌شود.

## ۶-۶-۲ روش‌های جلوگیری از پیچیدگی در جوشکاری

جوشکاران برای جلوگیری از پیچیدگی تدابیری به کار می‌گیرند و در اجرای جوشکاری نکاتی را رعایت می‌کنند تا پیچیدگی به وجود نیاید یا به حداقل برسد.

### ● استفاده از مهار مناسب

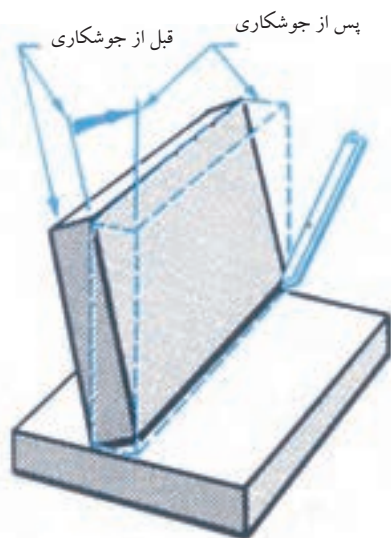
مهار کردن قطعات با استفاده از قیدها و گوه‌ها برای نگاه داشتن اتصال در موقعیت اصلی تا زمان سرد شدن جوش این روش به کاهش پیچیدگی کمک خواهد کرد. شکل (۶-۱۵)



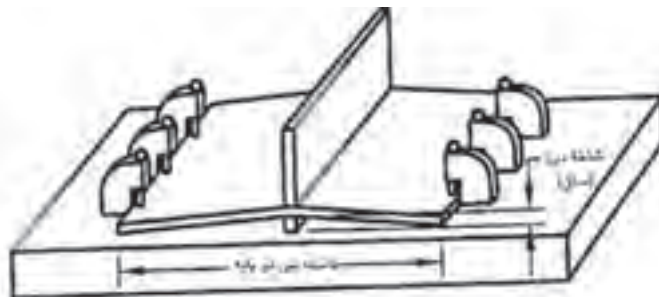
شکل ۶-۱۵

### ● پیش‌تنظیمی

خال جوش زدن خارج از وضعیت اصلی در جهت عکس پیچیدگی مطابق شکل (۶-۱۶) و (۶-۱۷) می‌باشد. به این روش پیش‌تنظیمی گویند، که پس از عملیات جوشکاری به حالت استاندارد درمی‌آید.



شکل ۶-۱۷ برگشت قطعه به حالت اصلی

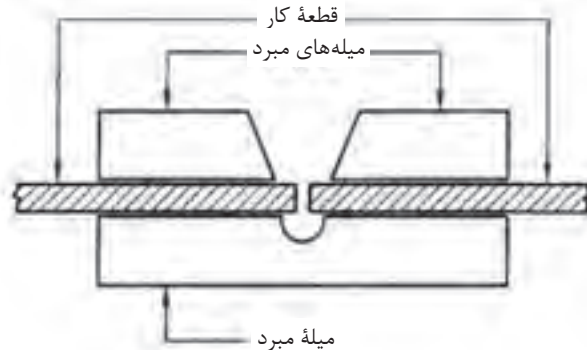


شکل ۶-۱۶

## ● کاهش گرمای قطعه در حین جوشکاری

در جوشکاری ورق‌های فولاد زنگ‌نزن می‌توان از تسمه‌های مبرد از جنس مس استفاده کرد که در مواردی هم جریان آب در این نگه‌دارنده‌ها جریان دارد تا گرمای قطعه بالا نرود و پیچیدگی کمتر باشد. (شکل ۱۸-۶)

**تعریف تسمه مبرد:** نوعی سیستم خنک‌کننده است که با گردش آب یا گازهای خنک‌کننده باعث می‌شود قطعه کار خنک شود.



شکل ۱۸-۶

## ● استفاده از خط جوش‌ها خلاف جهت پیچیدگی

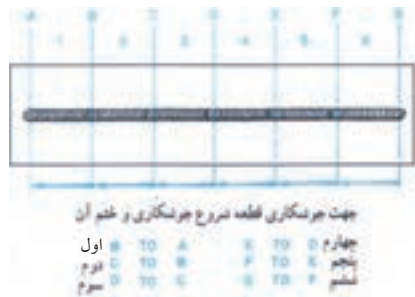
در این کار جوش یک طرفه به جوش دو طرفه تبدیل شده و در اتصال T شکل از گرده جوش مخالف جهت استفاده شده است.



شکل ۱۹-۶

## ● استفاده از جوش دو طرفه

جوش‌های منقطع نه تنها همدیگر را خنثی می‌کنند بلکه با کاهش طول جوش، تنش پسماند کاهش می‌یابد. (شکل ۱۹-۶)



شکل ۲۰-۶

## ● تغییر در طراحی

به جای یک گرده جوش پیوسته و طولانی می‌توان از یک گروه جوش متقارن بهره گرفت تا تنش‌های باقی‌مانده در قطعه متعادل شوند.

استفاده از روش جوش متوالی در این روش جوشکار طول درز را به چند قسمت تقسیم می‌کند و با یکی از دو روش زیر قطعه کار را جوش می‌دهد. (شکل ۲۰-۶)

♦ **روش بازگشتی:** در این روش جوشکاری از چپ به راست ولی حرکت دست از راست به چپ است.

♦ **روش جوش پرشی بازگشتی:** در این روش جهت پیشروی جوش از چپ به راست ولی گرده جوش ها یک در میان متوالی انجام می شود.

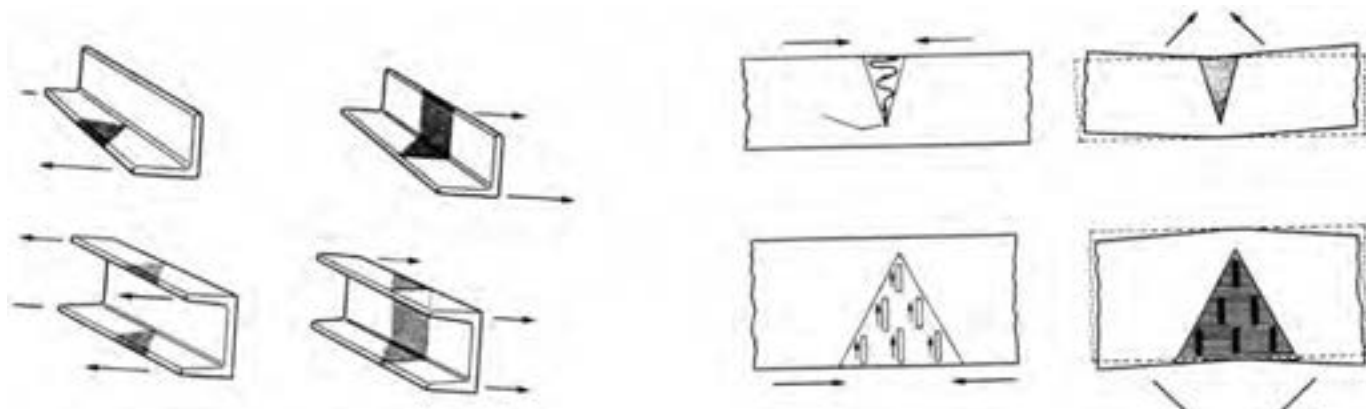
### روش های دیگر جلوگیری از پیچیدگی عبارتند از:

- ♦ **پیش گرما:** گرما دادن فلز پایه قبل از جوشکاری باعث کاهش پیچیدگی می شود.
- ♦ استفاده از تعداد پاس های کمتر.
- ♦ استفاده از فاصله ریشه بیشتر و زاویه پخ کمتر.
- ♦ استفاده از پشت بند.
- ♦ استفاده از پخ U شکل به جای پخ V شکل.

### ۶-۷ رفع پیچیدگی پس از جوشکاری

- ♦ استفاده از پرس و چکش های مناسب
- ♦ حرارت دادن موضعی

روش کار به این صورت است که مناطق تیره شده را حرارت می دهند تا کاملاً سرخ شود تا پس از سرد شدن، پیچیدگی برطرف شود. (شکل ۶-۲۱)



شکل ۶-۲۱

روش دیگر با استفاده از نیروی کششی است که باعث حذف تنش های انقباضی می شود.

## سوالات پایانی فصل هشتم



۱- کدام گزینه دارای اتم‌های بی‌نظم هستند؟

الف) فلز سرد جامد

ب) فلز جامد با دمای نزدیک به ذوب

ج) فلز مذاب

د) گزینه ب و ج

۲- ناحیه‌ی HAZ یعنی ناحیه ..... و چه تغییراتی در آن اتفاق می‌افتد؟

الف) متأثر از گرمای جوش و تغییر رنگ

ب) ناحیه تحت تأثیر گرما و رشد دانه‌ای و تغییرات ساختاری

ج) فلز جوش و مرز ذوب و انجماد تغییر ساختار

د) فلز جوش و ناحیه ذوب شده تغییر نظم اتمی

۳- چه قسمتی را مرزدانه گویند؟

الف) مرز ذوب و انجماد

ب) فضای کوچک بین دانه‌های جامد شده

ج) فصل مشترک فلز جوش و ناحیه HAZ

د) نوک دانه‌ها که رشد کرده‌اند

۴- کربن در فولاد به چه صورت‌هایی وجود دارد؟

الف) اتمی و ترکیب با آهن

ب) اتمی و گرافیت آزاد

ج) ترکیب با آهن و گرافیت آزاد

د) تمام موارد الف و ب و ج

۵- محدوده پذیرش عیب توسط ..... مشخص می‌شود.

الف) بازرس جوش

ب) استانداردها

ج) جوشکار

د) کارفرما

۶- کدام گزینه در مورد عیوب جوش اصولی‌تر است؟

الف) روش‌های پیشگیری از عیب

ب) انتخاب روش بازرسی حساب شده

ج) انتخاب بازرس با سابقه

د) گزینه ب و ج باهم

۷- در چه صورت در فلز جوش سوراخ راه به در ایجاد می شود؟

الف) حل گاز در جوش

ب) خروج گاز از جوش در لحظه انجماد

ج) باقی ماندن سرباره در جوش

د) استفاده از الکتروود قلیایی

۸- لکه قوس چیست و با کدام عیب نزدیک است؟

الف) طول قوس بلند و با جرقه

ب) عدم ذوب و با عدم نفوذ

ج) تماس الکتروود به کار خارج از منطقه جوش با جرقه های درشت

د) تماس الکتروود به داخل شیار (پیخ) و با عدم ذوب

۹- کدام اشکال در چاله جوش وجود ندارد؟

الف) سریع سرد شدن جوش

ب) وجود ناخالصی هایی در فلز جوش

ج) ناکافی بودن حفاظت

د) تحدب بیش از اندازه

۱۰- آخال یعنی چه؟

ب) تشکیل دانه در جوش

الف) حبس گاز در جوش

د) ترک در جوش

ج) باقی ماندن سرباره در جوش

