

# فصل ۱۱

## طراحی جوشی

طراحی کاربردی سازه های فولادی (جلد دو) - محسن گرامی

در این فصل:	
پیشگفتار	۱۱-۱
انواع جوش	۱۱-۲
وضعیت های جوشکاری	۱۱-۳
علائم جوشکاری	۱۱-۴
معایب و نواقص جوش	۱۱-۵
آزمایش های جوش	۱۱-۶
مقاومت جوش ( $Rn$ )	۱۱-۷
طرح اتصال جوشی	۱۱-۸
تست های فصل یازدهم	۱۱-۹
مسائل فصل یازدهم	۱۱-۱۰

## ۱۱-۱ پیشگفتار

تحلیل علمی و فنی جوشکاری با تکیه بر فرآیندهای مختلف آن به ویژه در مورد اعضای فولادی و در راستای طراحی اتصالات همواره مورد توجه طراحان بوده است. روشهای گوناگون اتصال اعضای یک سازه به یکدیگر بر حسب نوع فرآیند و یا فن اتصال متفاوت است. بر این اساس می توان از روش مکانیکی از قبیل پیچ، پرچ، میخ و یا روشهای متالورژیکی مانند جوشکاری و لحیم کاری استفاده نمود. جوشکاری عبارت است از اتصال و یکپارچه کردن قطعات مختلف فلزی به طور اعم و فولادی به طور اخص به کمک حرارت، فشار و یا ترکیبی از حرارت و فشار. اتصال جوشی خوب و ایده آل به اتصالی اطلاق می شود که در آن خواص مکانیکی مصالح اولیه تحت تاثیر حرارت و ذوب شدن تغییری نکند. امروزه پیشرفتهای زیادی در روشهای جوشکاری حاصل شده که از جمله آنها می توان به جوش دادن فولادهای آلیاژی و جوشکاری در زیر آب برای سازه های دریایی اشاره کرد.

### ۱۱-۱-۱ روش های جوشکاری

با استفاده از روش های مناسب جوشکاری می توان خواص مکانیکی محل اتصال را آنچنان آماده سازی نمود که دست یابی به یک جوش ایده آل ممکن شود. فرآیندهای جوشکاری در سه رده عمومی زیر قرار می گیرند:

#### جوشکاری دستی

هدایت انبر در جوشکاری دستی توسط کارگر انجام می شود. در جوشکاری دستی از الکتروود روکش دار با طول محدود استفاده می شود

#### جوشکاری نیمه خودکار

در جوشکاری نیمه خودکار، هدایت انبر توسط جوشکار انجام می شود، اما طول الکتروود نامحدود است. در جوشکاری نیمه خودکار از الکتروود لخت (بدون روکش) با طول پیوسته که دور قرقره پیچیده شده، استفاده می شود.

#### جوشکاری خودکار

در جوشکاری خودکار از الکتروود بدون روکش با طول پیوسته که دور قرقره پیچیده شده، استفاده می شود. در جوشکاری خودکار، کلیه عملیات جوشکاری توسط دستگاه به صورت خودکار انجام می شود

انتخاب روش مناسب برای جوشکاری یکی از مهمترین اقدامات اولیه جوشکاری است. در این مرحله مسئولین طراحی و اجراء تصمیم می گیرند که از کدام یک از روش های جوش دستی، نیمه اتوماتیک و یا تمام اتوماتیک استفاده نمایند. این تصمیم گیری از نقطه نظر زمان و اقتصاد بسیار مهم و تاثیرگذار است. امروزه استفاده از جوشکاری نیمه و یا تمام اتوماتیک باعث افزایش قابل توجه در سرعت و کاهش هزینه ها می گردد، که البته مستلزم سرمایه گذاری اولیه بیشتر نیز می باشد. استفاده از جوش های نیمه اتوماتیک، باعث افزایش چشمگیر سرعت جوشکاری و در نتیجه کاهش هزینه آن می شود.

## ۱۱-۱-۲ انواع تکنولوژی جوش

قوس الکتریکی یکی از روشهای جوشکاری است که کاربرد بسیار وسیعی در جوشکاری ساختمانی دارد. در این روش اتصال بین قطعات فلز مادر با ذوب کردن لبه‌های درز و سخت شدن بعدی آنها صورت می‌گیرد. در حین ذوب، فلز پایه و فلز جوش با یکدیگر ممزوج شده و پس از سخت شدن، اتصال قطعات تامین می‌گردد. تکنولوژی های مهم جوشکاری که قوس الکتریکی تامین کننده حرارت برای ذوب در آنهاست و با روشهای دستی، نیمه خودکار و یا خودکار اجرا می‌شوند، عبارتند از:

جوشکاری به روش دستی با الکتروود روکش دار (SMAW)

جوشکاری زیر پودری (SAW)

جوشکاری با گاز محافظ (GMAW) یا جوش تحت حفاظت گاز (با الکتروود فلزی یا الکتروود تنگستن)

جوشکاری تحت حفاظت گاز با الکتروود تو پودری (FCAW)

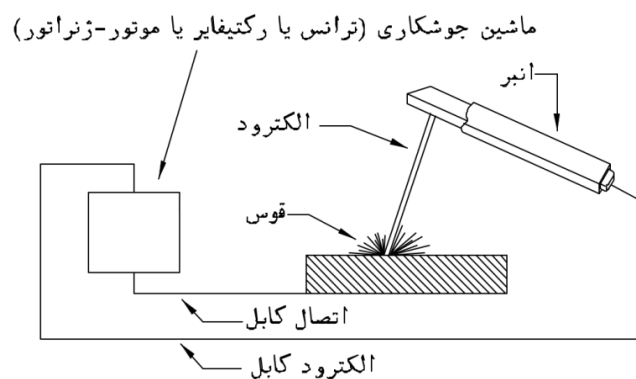
جوشکاری گاز الکتریکی (EGW)

جوشکاری سرباره الکتریکی (ESW)

از میان تکنولوژی‌های فوق، دو روش اول دارای کاربرد بیشتری در صنعت ساختمان سازی هستند که در این فصل مورد بررسی مختصر قرار می‌گیرند.

## ۱۱-۱-۳ جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار (SMAW)

جوشکاری دستی متداولترین فرآیند جوشکاری در کارگاه‌های ساختمانی است. این روش به نام جوشکاری با الکتروود دستی نیز نامیده می‌شود. این روش با ذوب فلز پایه، فلز الکتروود (فلز پرکننده) و روکش آن همراه است. در موقع برقراری قوس الکتریکی و ذوب شدن فلز مبنا و الکتروود، قسمتی از پوشش الکتروود به گاز محافظ و بخشی دیگر به گل یا سرباره تبدیل می‌شود. قوس الکتریکی بین یک مفتول فولاد که الکتروود نامیده می‌شود و فلز پایه تشکیل می‌گردد. با نزدیک کردن نوک الکتروود به فلز پایه، در فاصله‌ای حدود قطر الکتروود، هوا یونیزه شده و قابلیت هدایت الکتریکی پیدا می‌کند. اما به دلیل بالا بودن مقاومت الکتریکی در طول قوس، انرژی الکتریکی تبدیل به انرژی حرارتی می‌شود و حرارتی حدود ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ درجه سانتیگراد در محل قوس ایجاد می‌شود. این حرارت زیاد باعث ذوب فلز پایه و نوک الکتروود می‌شود و یک حوضچه مذاب از هر دو فلز در نوک الکتروود به وجود می‌آید. با حرکت الکتروود، حوضچه مذاب به سمت جلو حرکت کرده و حوضچه‌های مذاب پشتی سرد و منجمد شده و باعث امتزاج و یکپارچگی دو فلز در محل درز می‌شود. در شکل ۱-۱۱ مدار جوش قوس الکتریکی نشان داده شده است.



شکل ۱-۱۱ مدار جوش قوس الکتریکی

این مدار شامل اجزاء زیر است:

الف) ماشین جوشکاری که می تواند ترانس، رکتیفایر و یا موتور-مولد (دینام یا دیزل ژنراتور) باشد. امروزه انواع ماشینهای جوشکاری مدرنی در بازار موجود است که می توانند هر دو جریان مستقیم و متناوب را در دامنه وسیعی از ولتاژ و آمپر تامین کنند. جوشکاری تحت ولتاژ کمتر از ولتاژ برق شهر و در محدوده ۲۰ تا ۴۰ ولت و شدت جریان بیشتر از برق شهر و در محدوده ۶۰ تا ۴۰۰ آمپر انجام می گیرد. در جدول ۱-۱۱ شدت جریان لازم بر حسب قطر الکترود و ضخامت قطعه ارائه شده است.

ب) اتصال فلز پایه به ماشین جوشکاری

ج) اتصال انبر و الکترود به ماشین جوشکاری

د) برقراری قوس الکتریکی

جدول ۱-۱۱ شدت جریان لازم بر حسب قطر الکترود و ضخامت قطعه اتصال

شدت جریان (A)	ضخامت قطعه (mm)	قطر الکترود (mm)
۶۰-۱۰۰	۲-۴	۲-۲,۵
۱۰۰-۱۵۰	۴-۶	۳-۲,۵
۱۵۰-۲۰۰	۶-۱۰	۴-۵
۲۰۰-۴۰۰	>۱۰	۵-۸

#### ۱۱-۱-۴ الکترود

انتخاب الکترود تا حد زیادی بستگی به نوع جریان مصرفی قابل دسترسی دارد. عوامل و نکات موثر دیگر در انتخاب الکترود عبارتند از:

عبارتند از:

الف) ترکیب شیمیایی فلز جوشکاری از عوامل موثر در انتخاب نوع الکترود است.

ب) کیفیت مورد نظر در محل جوش نیز از نکات قابل توجه در انتخاب الکترود است. اگر فاصله درز اتصال عمیق باشد از

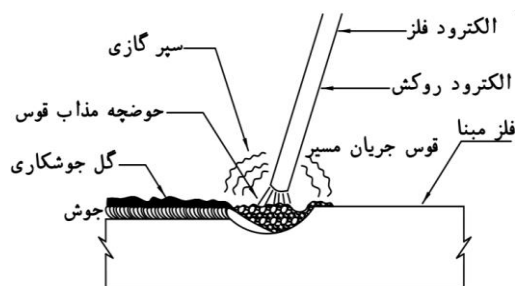
الکترودهایی که سرباره حجیم تولید می کنند استفاده می شود.

ج) میزان نفوذ جوش یا عمقی که برای جوش مورد نظر است را می‌توان به عنوان عاملی در انتخاب نوع و اندازه قطر الکتروود دانست.

د) وضعیت جوشکاری نیز در انتخاب الکتروود موثر است به گونه‌ای که در جوشهای تخت، افقی، قائم (سربالا) و سقفی نوع خاصی از الکتروودها قابل استفاده هستند.

ه) به عنوان یک قاعده کلی نباید از الکتروودی که اندازه آن بزرگتر از ضخامت قطعه است، استفاده نمود.

شکل ۱۱-۲ انجام عملیات جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار که همراه با ایجاد حوضچه مذاب و حفاظ گازی است را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۲ جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار (SMAW)

#### ۱-۴-۱-۱۱ روکش الکتروود

روکش الکتروود مخلوطی از سیلیکات سخت کننده مانند فلوراید، کربنات، مواد اکسیدی، آلیاژهای فلزی و سلولز است که سه وظیفه مهم را بر عهده دارد:

الف) با ایجاد محافظ گازی شکل، فضایی جهت پایداری قوس ایجاد می‌کند و از فلز مذاب در برابر اکسید شدن محافظت می‌کند، زیرا ممکن است در درجه حرارت بالا فلز مذاب با اکسیژن اکسیده شود.

ب) با ایجاد مواد دیگری نظیر احیا کننده‌ها، به تصفیه فولاد حین جوش می‌پردازد.

ج) پوشش مناسبی روی حوضچه مذاب و جوش سرد شده به منظور حفاظت جوش از تاخیر نامناسب اکسیژن و ازت طی عمل جوشکاری ایجاد کرده، به کمک سرباره از سرد شدن سریع فلز جوش جلوگیری می‌کند. این پوشش پس از سرد شدن توسط قطعه آهنی کنار زده می‌شود.

#### ۲-۴-۱-۱۱ نام گذاری الکتروود

آیین‌نامه AWS و آیین‌نامه جوشکاری ساختمانی ایران، الکتروودها را بر اساس مقاومت و نحوه مصرف آنها طبقه‌بندی و شماره‌گذاری کرده است. در این روش شماره‌گذاری الکتروود به صورت  $Eabxx$  است که در آن E معرف الکتروود قوس الکتریکی است و ab بیانگر مقاومت فلز الکتروود بر حسب ksi است. هر ksi معادل  $70.3 \frac{Kgf}{cm^2}$  می‌باشد. عدد دو رقمی (xx) نشان دهنده وضعیت گروهی و مصرفی الکتروود برای روشهای مختلف جوشکاری قوس الکتریکی است. در جدول ۱۱-۲ نمونه‌هایی از الکتروود براساس آیین‌نامه AWS با ذکر شرایط استفاده و کاربرد ارائه شده است.

جدول ۱-۱۱- مشخصات مکانیکی فولاد مغزه رده های اصلی الکتروود جوشکاری بر اساس استانداردهای مورد قبول مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان

کرنش نهایی ( $\epsilon_u$ ) (%)	تنش کششی نهایی مغزه الکتروود ( $F_{ue}$ ) (MPa)	AWS A5.1M	AWS A5.1	EN-ISO 2560	ISIRI 871
25	430	—	—	—	E-1
22	430	E43	E60	E43	E-2
18	490	E49	E70	E49	E-3
18	510	—	—	—	E-4
22	550	E55	E80	E55	E-5

مثال ۱۱-۱

نام الکتروود E-6013 بیانگر چه اطلاعاتی است؟

حل:

E = الکتروود

رقم اول و دوم: ۶۰ = این الکتروود دارای مقاومت کششی  $4200 \frac{Kg}{cm^2} = 60 \frac{kips}{in^2} * 70$  است.

رقم سوم: ۱ = قابلیت جوشکاری در همه موقعیت های تخت و افقی و سربالا و سقفی را دارد.

رقم چهارم: ۳ = جنس الکتروود روتیلی بوده و با جریان متناوب و یا یکسو با قطب آزاد قابلیت اجرا دارد.

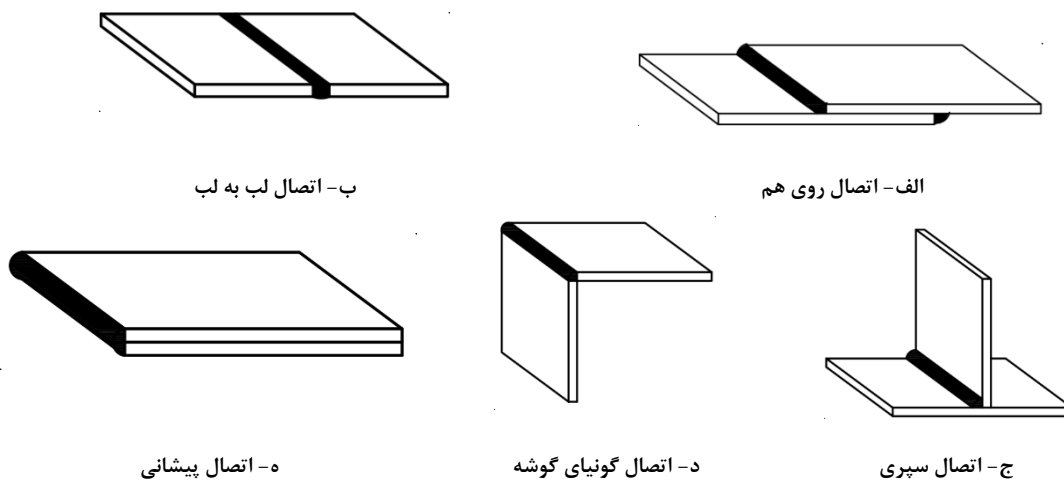
جدول ۱۱-۲ نمونه‌هایی از الکتروود بر اساس AWS

نوع	کد AWS	نوع جریان	وضعیت جوشکاری	نتایج جوش
فولاد معمولی Mild Steel	E6010 E6011 E6012	DCR DCR,AC DCS,AC	F,V,OH,H	سریع سرد شده، نفوذ عمیق، جوش تخت همه موارد جوشکاری
	E6015 E6014 E6020 E6024 E6027 E7014 E7024	DER,DCS,AC DCS,AC DCR,DCS,AC DCR,DCS,AC DCR,DCS,AC DCR,DCS,AC	F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H	به مقدار کافی سرد شده، نفوذ کم جوش خوب، حداقل جرقه و ترشح
کم هیدروژن	E6015 E6016 E6018 E7016 E7018 E7028	DCR DCR,AC DCR,AC DCR,AC DCR,AC DCR,AC	F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H F,H	نرخ رسوب بالا، شکاف عمیق، تک پلس بودر آهن دار، نفوذ زیاد، نرخ رسوب بالا بودر آهن دار، نفوذ کم، سرعت زیاد بودر آهن دار، نرخ رسوب بالا، تک پلسی و چند پلسی
	E308-15,16 E389-15,16 E310-15,16 E316-15,16 E347-16,16	DC,AC DC,AC DC,AC DC,AC DC,AC	F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H F,V,OH,H	جوشکاری فولادهای زنگ نزن ۳۰۴، ۳۰۳، ۳۰۲، ۳۱۰ و ۳۰۸ جوشکاری آلایز ۳۰۹ در کاربرد درجات خاص جوشکاری در فولادهای زنگ نزن ۳۱۰ و ۳۱۴ جاییکه خوردگی بالا و درجات سرویس خاص نیاز است جوشکاری فولادهای زنگ نزن ۳۱۶ و جوش با کیفیت بالا شامل کربن کم برای کاهش انتقال کربن به جوش و خوردگی مرز دانه ها برای جوشکاری همه فولادهای زنگ نزن
فولادهای کم آلیاژی	E7011-A1 E7020-A1 E8018-C E10013-G	DCR,AC DCR,DCS,AC DCR,AC DOS,AC	F,V,OH,H F F,V,OH,H F,V,OH,H	برای جوشکاری فولادهای کم کربن مولیبدن برای فولادهای کم آلیاژی استحکام بالا برای جوشکاری فولادهای کم آلیاژی استحکام خیلی بالا
		DCR = جریان یکنواخت قطب معکوس DCS = جریان یکنواخت قطب مستقیم	AC = جریان متناوب F = تخت V = قائم OH = بالای سر یا سقفی H = افقی	

## ۱۱-۱-۵ انواع درز در اتصالات جوشی

انتخاب نوع اتصال به اندازه، شکل قطعات مورد جوش، نوع بارگذاری، میزان سطوح جوشکاری و مسائل اقتصادی بستگی دارد.

انواع اتصالات جوشی در شکل ۱۱-۳ نشان داده شده است. این اتصالات عبارتند از:



شکل ۱۱-۳ انواع اتصالات جوشی

## ۱-۵-۱-۱۱ اتصال لب به لب

عموماً هر گاه اتصال ورقهای تخت با ضخامت یکسان مورد نظر باشد، از این نوع اتصال استفاده می‌شود. از مزایای این اتصال عدم خروج از مرکزیت است که عموماً در اتصالات روی هم وجود دارد. از معایب آن نیز می‌توان به ضرورت آماده سازی لبه‌های اتصال اشاره کرد.

## ۲-۵-۱-۱۱ اتصال روی هم

ساده‌ترین و معمولی‌ترین نوع اتصال، اتصال روی هم است. از مزایای آن می‌توان به سهولت تنظیم، سهولت اتصال، امکان اتصال ورقهای با ضخامت متفاوت و عدم نیاز به آماده‌سازی لبه‌ها اشاره کرد. جوش به کار رفته در این اتصالات عمدتاً جوش گوشه است و درکارهای ساختمانی کاربرد زیادی دارد.

## ۳-۵-۱-۱۱ اتصال T شکل

این نوع اتصال در ساخت قطعات I و T شکل، تیروورق‌ها، ورقهای تقویتی در جان تیرها و ... استفاده می‌شود. در این نوع اتصال امکان استفاده از جوش گوشه و شیاری فراهم است.

## ۴-۵-۱-۱۱ اتصال گونیا (کنج)

این اتصال برای ساخت قطعات قوطی شکل که دارای صلیبیت و مقاومت کافی در برابر لنگر پیچشی در تیرها و ستونها هستند، استفاده می‌شود.

## ۵-۵-۱-۱۱ اتصال پیشانی

این اتصال تنش سازه‌ای ندارد و برای ساخت قطعات موقت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

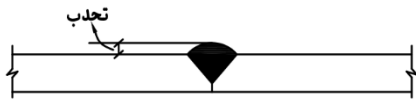


## ۱۱-۲ انواع جوش

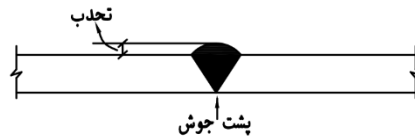
انواع جوش در کارهای ساختمانی عبارتند از جوش نفوذی یا شیاری، جوش گوشه، جوش انگشترانه، جوش کام و جوش سطحی که به شرح زیر می‌باشند:

### ۱۱-۲-۱ جوش نفوذی، جوش لب یا جوش شیاری<sup>۱</sup>

از این جوش بیشتر برای اتصال قطعاتی استفاده می‌شود که در یک صفحه قرار دارند و یا به عبارتی بهتر اتصال لب به لب دارند. در این حالت جوش باید مقاومتی برابر با مقاومت قطعه مورد نظر داشته باشد. جوش شیاری با نفوذ کامل اغلب به منظور انتقال کامل نیروی اعضای که به وسیله این نوع جوش متصل می‌شوند به کار می‌رود و در شیار ایجاد شده بین دو لبه اجرا می‌شود و آن را از ریشه تا سطح ورق طبق شکل ۱۱-۴-الف پر می‌کند. در صورتی که لزومی به انتقال کامل نیرو از یک عضو به عضو دیگر نباشد استفاده از جوش شیاری با نفوذ نسبی میسر است. این جوش نیز در شیار ایجاد شده بین دو لبه اجرا می‌شود ولی طبق شکل ۱۱-۴-ب تا ریشه نفوذ نمی‌کند.



ب- جوش نفوذی لب با نفوذ نسبی

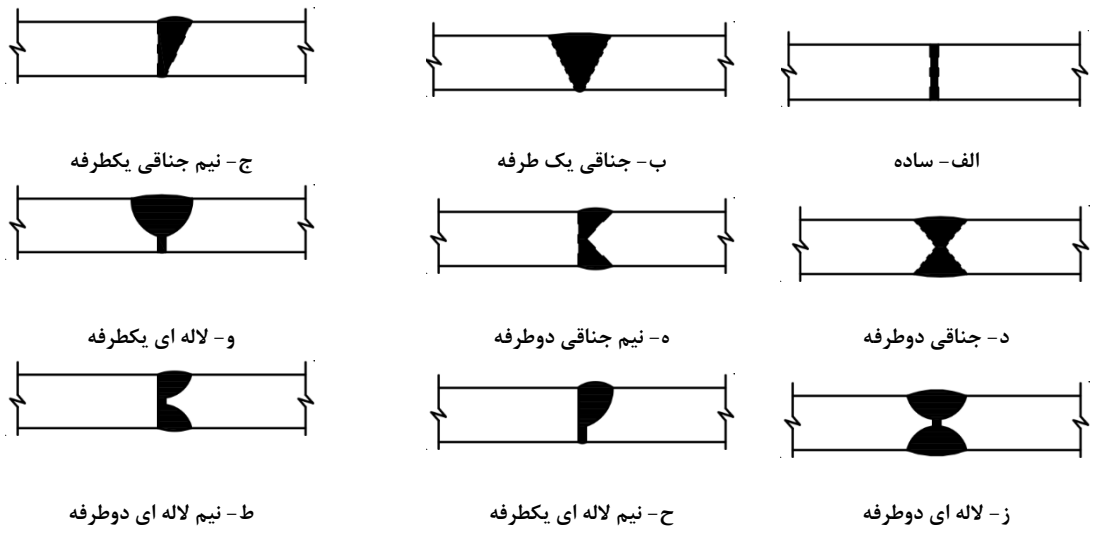


الف- جوش نفوذی لب با نفوذ کامل

شکل ۱۱-۴ جوش نفوذی (شیاری) در اتصال لب به لب

برای انجام جوش شیاری در دو لبه مجاور هم، لازم است لبه‌های کار به منظور نفوذ کامل جوش آماده گردند. در شکل ۱۱-۵ انواع آماده سازی لبه‌ها ارائه شده است.

<sup>1</sup> groove weld



شکل ۱۱-۵ انواع آماده سازی لبه ها

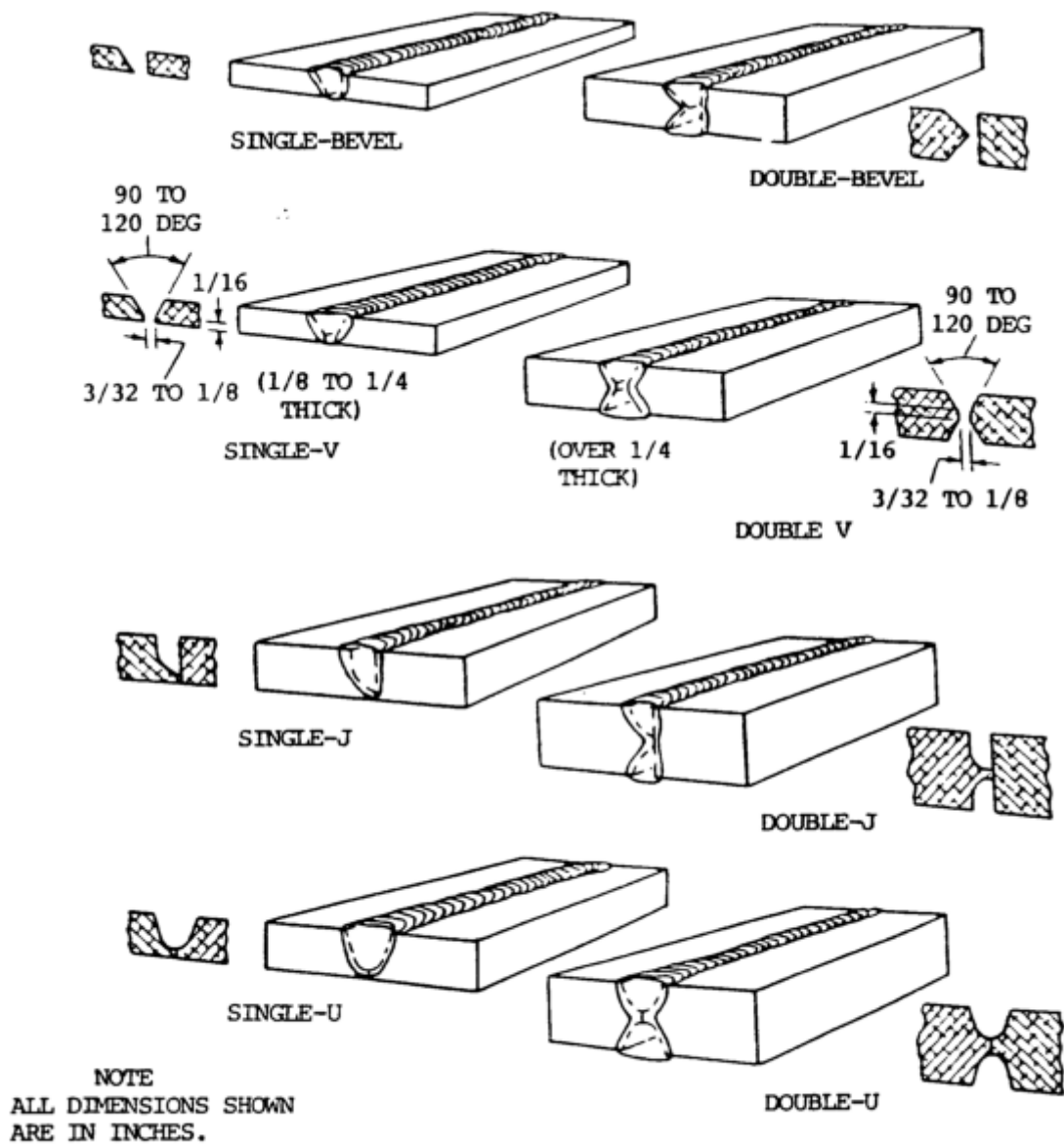
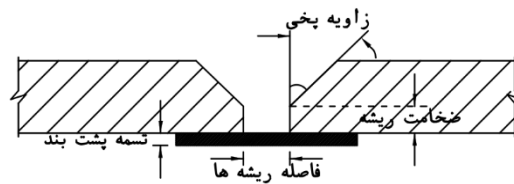


Figure 6-27. Types of groove welds.

شکل ۱۱-۵ (ادامه)

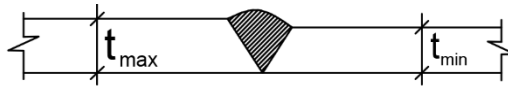
در نقشه‌های اجرایی، باید با استفاده از علائم جوشکاری و یا جزئیات اضافی، نحوه آماده سازی لبه‌ها، مشتمل بر شیب برش لبه، ضخامت ریشه، فاصله ریشه، اندازه تسمه پشت بند و یا جوش پشت طبق شکل ۱۱-۶ نشان داده شود.



شکل ۱۱-۶ نحوه آماده سازی لبه‌های ورق

## ۱۱-۲-۲ ضخامت و سطح مقطع موثر جوش نفوذی

بر طبق مبحث دهم مقررات ملی ایران سطح مقطع موثر در جوشهای شیاری عبارت است از حاصلضرب طول موثر جوش در ضخامت موثر جوش. طول موثر جوش برابر با طول جوش شده و ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ کامل مطابق شکل ۱۱-۷ برابر با ضخامت قطعه نازکتر در اتصال لب به لب و ضخامت قطعه جوش شده در اتصال کنج و سپری در نظر گرفته می شود.



شکل ۱۱-۷ جوش لب با نفوذ کامل ( $t_e = t_{min}$ )

ضخامت موثر در جوش نفوذی لب با نفوذ نسبی برابر با عمق شیاری جوش منهای ۳ میلیمتر خواهد بود. حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی از جدول ۱۱-۳ با توجه به ضخامت قطعه نازکتر تعیین می شود، از طرفی ضخامت جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

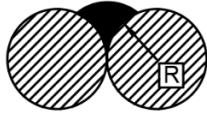
در صورتی که نتوان ضخامتهای حداقل فوق را با یک عبور تعیین نمود باید پیش گرمایش و یا فرآیندهای کم هیدروژن استفاده کرد. برای قطعات با ضخامت بزرگتر از ۴۰ میلیمتر، پیش گرمایش و دستورالعمل جوشکاری باید با مطالعه خاص مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱۱-۳ حداقل ضخامت موثر جوش شیاری با نفوذ نسبی با یک بار عبور

حداقل ضخامت موثر	ضخامت قطعه نازکتر
۳ میلی متر	تا ۶ میلی متر
۵ میلی متر	بیش از ۶ تا ۱۲ میلی متر
۶ میلی متر	بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی متر
۸ میلی متر	بیش از ۲۰ تا ۴۰ میلی متر
۱۰ میلی متر	بیش از ۴۰ تا ۶۰ میلی متر
۱۳ میلی متر	بیش از ۶۰ تا ۱۵۰ میلی متر
۱۶ میلی متر	بیش از ۱۵۰ میلی متر

ضخامت موثر جوش شیاری که بین دو لبه گرد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبه گرد و لبه تخت (مثل میلگرد در

مجاورت ورق) داده می شود، طبق شکل ۱۱-۸ می باشد.

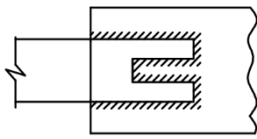
(الف)  $(t_e = 0.5R)$ (ب)  $(t_e = 0.3R)$ 

شکل ۸-۱۱ ضخامت موثر جوش شیاری بین دو لبه گرد یا یک لبه گرد و یک لبه تخت

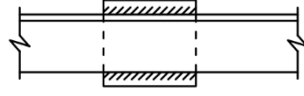
### ۱۱-۲-۳ جوش گوشه<sup>۱</sup>

به دلیل اقتصادی بودن، سهولت اجرا و امکان سازگاری با شکل درز از پرمصرف ترین انواع جوش است و باربری این نوع جوش برشی است. در این نوع جوش آماده سازی لبه قطعات لازم نیست و برای این جوش برش لبه قطعات با مشعل و قیچی قابل قبول است. جوش گوشه، جوشی است که در فصل مشترک دو سطح که با هم زاویه‌ای می‌سازند، اجرا می‌شود. این جوش در امتداد یک خط به طور پیوسته یا منقطع و یا در محیط سوراخ و شکاف قابل اجراست. شکل ۹-۱۱ انواع رایج از جوشهای گوشه و موارد کاربرد آنها را در اتصالات جوشی نشان می‌دهد.

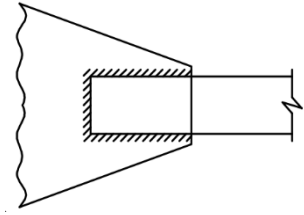
<sup>۱</sup> fillet weld



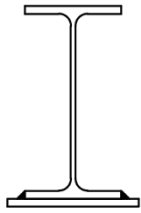
ج- اتصال کام



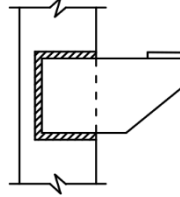
ب- ورقهای وصله



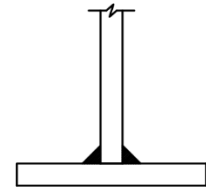
الف- اتصال روی هم



و- ورق زیر سری



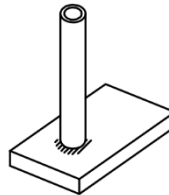
ه- اتصال نشیمن



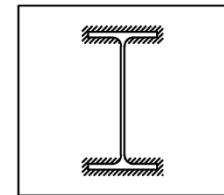
د- اتصال سپری



ط- اتصال نبشی جان



ح- اتصال لوله ای

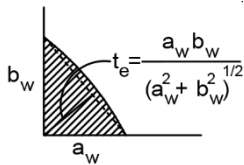


ز- صفحات زیر ستون

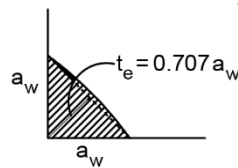
شکل ۹-۱۱ انواع رایج از جوش های گوشه

۱۱-۲-۴ بعد یا ساق جوش گوشه ( $a_w$ )

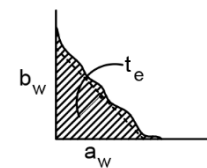
بعد جوش گوشه ( $a_w$ ) اندازه ساق مقطع جوش می باشد. در شکل ۱۰-۱۱ مثلث مقطع جوش نشان داده شده است.



ج- جوش با ساقهای نامساوی



ب- جوش با ساق های مساوی



الف- جوش با سطح ناصاف

شکل ۱۰-۱۱ مثلث مقطع جوش

با توجه به هندسه مثلث مقطع جوش، داریم:

$$t_e = \frac{a_w b_w}{\sqrt{a_w^2 + b_w^2}}$$

۱-۱۱

اگر  $a_w = b_w$  باشد:

$$t_e = \frac{a_w}{\sqrt{2}} = 0.707a_w$$

۲-۱۱

حداقل بعد جوش تابع ضخامت قطعه نازکتر می باشد و نباید از بعد مورد نیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و مقادیر جدول

۴-۱۱ کوچکتر انتخاب شود. از طرفی نباید بعد جوش از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

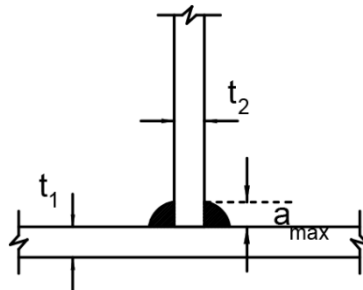
جدول ۴-۱۱ حداقل بعد جوش گوشه ( $a_w^{min}$ )

حداقل بعد جوش گوشه (با یک بار عبور)	ضخامت قطعه نازکتر
۳ میلیمتر	تا ۶ میلیمتر
۵ میلیمتر	بیش از ۶ تا ۱۲ میلیمتر
۶ میلیمتر	بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلیمتر
۸ میلیمتر	بیش از ۲۰ میلیمتر

\*\* در سازه‌های تحت بار دینامیکی با تکرار زیاد حداقل بعد جوش گوشه برابر ۵ میلی‌متر است.

در صورتی که همانند شکل ۱۱-۱۱ جوش گوشه از بعدی غیر از ضخامت ورق صورت گیرد، بعد حداکثر جوش آنها بر اساس

حداقل ضخامت قطعات متصل شونده تعیین می‌شود.



شکل ۱۱-۱۱ جوش گوشه از بعدی غیر از ضخامت

در این حالت لازم است ۳-۱۱ برقرار گردد.

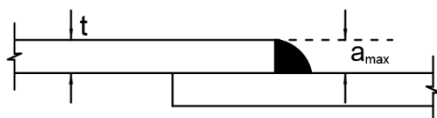
$$a_w^{min}(table) \leq a_w \leq a_w^{max} = \min(t_1, t_2)$$

۳-۱۱

حداکثر بعد جوش گوشه در لبه قطعات متصل شونده مطابق شکل ۱۱-۱۲ تعیین می‌گردد. در قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر

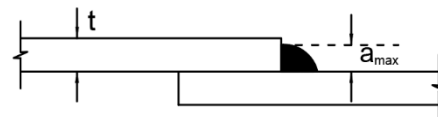
از ۶ میلیمتر، حداکثر بعد جوش گوشه برابر با ضخامت قطعه خواهد بود. در قطعات با ضخامت بیش از ۶ میلیمتر، حداکثر بعد جوش

گوشه برابر با ضخامت قطعه منهای ۲ میلیمتر خواهد بود.



الف- قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۶ میلیمتر

$$a_w^{max} = t$$



ب- قطعات با ضخامت بیشتر از ۶ میلیمتر

$$a_w^{max} = \max(t - 2, 6mm)$$

شکل ۱۲-۱۱ حداکثر بعد جوش گوشه در لبه قطعات متصل شونده

### ۱۱-۲-۵ ضخامت گلوگاه موثر ( $t_e$ ) در جوش گوشه

ضخامت گلوگاه موثر ( $t_e$ ) در جوش گوشه، برابر کوتاهترین فاصله بین عمیق ترین نقطه (ریشه) مقطع جوش تا سطح خارجی آن و به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می آید.

### ۱۱-۲-۶ طول موثر جوش گوشه ( $L_w$ )

طول موثر جوشهای گوشه (به جز جوشهایی که در سوراخ و شکاف قرار می گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمتهای برگشت خورده می باشد. برای جوشهای گوشه در سوراخ و شکاف، طول موثر برابر با طول محور (میان تار) است که از مقطع گلوگاه جوش می گذرد.

طول موثر جوش گوشه که برای تحمل تنش ها محاسبه می شوند نباید از ۴ برابر بعد جوش کمتر شود، به عبارت دیگر بعد جوش نباید از  $\frac{1}{4}$  طول آن تجاوز کند.

در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول مؤثر هر خط جوشی که به صورت طولی بارگذاری شده است، نباید از ۱۰۰ برابر بعد جوش تجاوز نماید. در صورت نیاز به طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بعد جوش، طول مؤثر آن باید به شرح زیر با ضریب  $\beta$  کاهش داده شود:

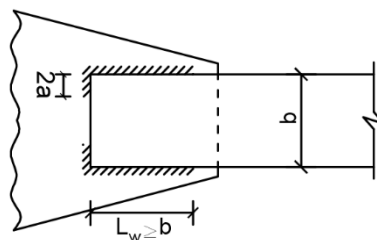
$$L_e = \beta L$$

$$0.6 \leq \beta = 1.2 - 0.002 \left( \frac{L}{a} \right) \leq 1.0$$

$$L_e = \beta L$$

$$\beta = 1.2 - 0.002(L/a) \leq 1.0 \geq 0.6$$

در صورتی که طبق شکل ۱۱-۱۳ از جوش گوشه در لبه های طولی و موازی در انتهای تسمه های کششی استفاده می شود، طول جوش هر طرف نباید از فاصله عمودی بین آنها (تقریباً عرض تسمه) کمتر باشد و این فاصله عمودی نباید از ۲۰ سانتیمتر تجاوز کند. همچنین کلیه جوشهای گوشه که در لبه کناری و یا ضلع انتهایی عضو انجام می شود باید در آخر ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که به آن قلاب می گویند و حداقل طول این برگشت ۲ برابر بعد جوش ( $2a_w$ ) می باشد.



شکل ۱۱-۱۳ ضوابط حداقل در طول جوش اتصالات انتهایی

استفاده از جوش های گوشه ی منقطع برای انتقال نیروها در اتصال جان به بال تیرهای ساخته شده از ورق (تیرورق ها)، اتصال ورق های تقویتی بال، اتصال قطعات سخت کننده به جان تیرورق و برای اتصال اجزای اعضای ساخته شده از ورق مجاز نیست. طول جوش مقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش و ۴۰ میلی متر کمتر باشد.

فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع نباید از مقادیر زیر بیشتر شود:



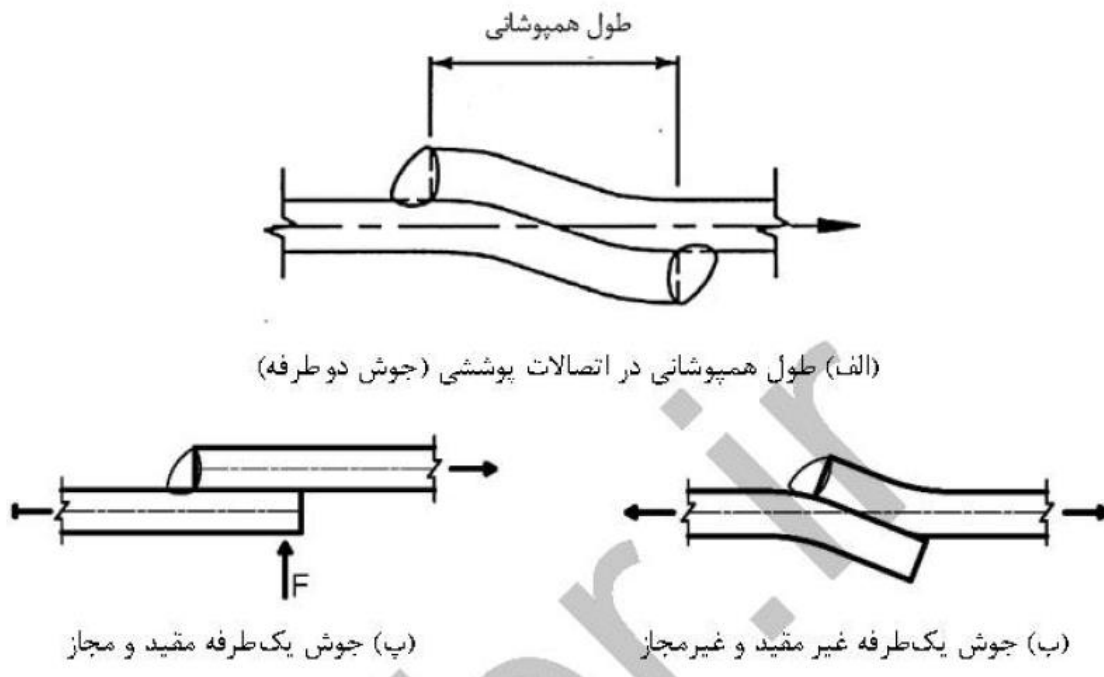
- در قطعات رنگ‌شده و قطعاتی که رنگ نمی‌شوند ولی احتمال زنگ‌زدگی و خوردگی ندارند، ۲۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۳۰۰ میلی‌متر
- در قطعات رنگ‌نشده که تحت اثر زنگ‌زدگی و خوردگی (حاصل از عوامل جوی) قرار گیرند، ۱۴ برابر ضخامت نازک‌ترین ورق یا ۱۸۰ میلی‌متر

در اتصالات پوششی (روهمی)، دو قطعه که تحت اثر تنش‌های محوری قرار دارند، اگر فقط از جوش گوشه‌ی عرضی استفاده شده باشد، باید انتهای هر دو قطعه به یکدیگر جوش شود و مطابق شکل ۱۱-۴ طول هم‌پوشانی دو قطعه نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازک‌تر و ۲۵ میلی‌متر کوچکتر باشد

در وضعیتی که اتصال به اندازه‌ی کافی مقید شده باشد یا از جوش حداقل دو ردیف طولی جوش انگشتی به کام و یا چند خط جوش گوشه‌ی طولی از تغییرشکل ناحیه‌ی هم‌پوشانی و در نتیجه از باز شدن اتصال تحت اثر تنش‌های محوری جلوگیری شود، می‌توان مطابق شکل ۱۱-۴-ب-پ از جوش گوشه‌ی مقطع فقط از یک طرف اتصال استفاده کرد و در این حالت نیازی به تأمین حداقل طول هم‌پوشانی نیست.

$$L_d \geq \max(5t_{min}, 2.5cm)$$

۴-۱۱



شکل ۱۱-۱۴ حداقل طول روی هم آمدگی دو قطعه

### ۱۱-۲-۷ سطح مقطع موثر جوش گوشه

سطح مقطع موثر در جوشهای گوشه برابر با حاصلضرب طول موثر در ضخامت گلوگاه موثر در نظر گرفته می‌شود.

### ۱۱-۲-۸ جوش گوشه منقطع

اجرای جوش گوشه منقطع برای انتقال تنشهای محاسبه شده، هنگامی مجاز است که نیروی منتقله از مقاومتی که با جوش پیوسته (سرتاسری) و با حداقل بعد جوش تامین می‌شود، کمتر باشد. از این جوشها در صورتی می‌توان استفاده کرد که ۵-۱۱ در آنها برقرار باشد.

$$L_w \geq \max(4a_w, 4cm)$$

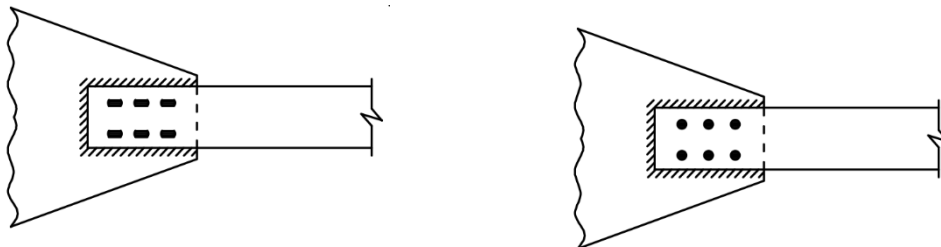
۵-۱۱

فاصله آزاد بین قطعات جوشهای منقطع نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده وقتی که در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است، بیشتر شود.

### ۱۱-۲-۹ جوش انگشتانه<sup>۱</sup> و جوش کام<sup>۲</sup>

از این جوشها برای انتقال برش در اتصال عناصری که روی هم قرار گرفته‌اند و یا برای جلوگیری از کمانش در عناصر روی هم آمده در اعضای مرکب ساخته شده، استفاده می‌شود. این جوشها عمدتاً در اتصال قطعاتی که دارای درز روی هم بوده و از نظر ابعاد محدودیت داشته باشند، کاربرد، مناسبی دارد. معمولاً این جوشها مستقیماً و به تنهایی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و معمولاً برای کمک به جوشهای دیگر به کار می‌روند. باربری این جوش، برشی است و استفاده از آنها به منظور جلوگیری از کمانش موضعی ورقهای اتصال نیز مفید خواهد بود.

جوش کام، جوشی است که درون شیار اجرا شده و سطح مقطع آن را پر می‌کند و جوش انگشتانه، درون سوراخ دایره اجرا شده و مقطع آن را پر می‌کند. در شکل ۱۱-۱۵ نمونه‌ای از کاربرد جوشهای انگشتانه و کام به همراه جوش گوشه نشان داده شده است.



ب- جوش کام همراه با جوش گوشه

الف- جوش انگشتانه همراه با جوش گوشه

شکل ۱۱-۱۵ کاربرد جوشهای انگشتانه و کام به همراه جوش گوشه

### ۱۱-۲-۱۰ ضخامت و سطح مقطع موثر در جوش انگشتانه و کام

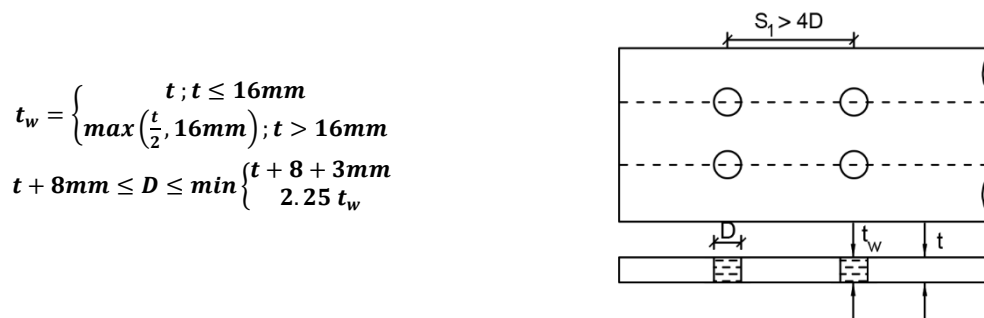
ضخامت جوش انگشتانه و کام در قطعاتی که ضخامت آنها ۱۶ میلیمتر و یا کمتر است، باید برابر با ضخامت قطعه باشد. در قطعاتی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلیمتر است، ضخامت جوش باید حداقل  $\frac{1}{2}$  ضخامت قطعه بوده و از ۱۶ میلیمتر نیز کمتر نشود. سطح مقطع موثر در برش برای جوش انگشتانه و کام برابر با سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحه برش به حساب می‌آید.

<sup>1</sup> plug weld

<sup>2</sup> slot weld

### ۱۱-۲-۱۱ قطر و فاصله سوراخ‌ها در جوش انگشتانه

در جوش انگشتانه قطر سوراخ نباید از ضخامت قطعه سوراخ شده به اضافه ۸ میلی‌متر کمتر باشد. همچنین قطر یاد شده نباید از مقدار حداقل به اضافه ۳ میلی‌متر و یا  $2\frac{1}{4}$  برابر ضخامت جوش بزرگتر شود. حداقل فاصله مرکز به مرکز سوراخ‌های جوشهای انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می‌باشد. در شکل ۱۱-۱۶ برخی ضوابط مربوط به جوشهای انگشتانه نشان داده شده است.



$$t_w = \begin{cases} t; t \leq 16\text{mm} \\ \max\left(\frac{t}{2}, 16\text{mm}\right); t > 16\text{mm} \end{cases}$$

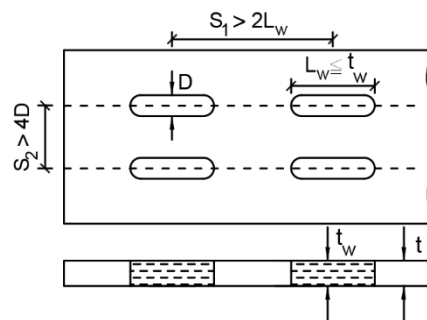
$$t + 8\text{mm} \leq D \leq \min\left\{ \begin{array}{l} t + 8 + 3\text{mm} \\ 2.25 t_w \end{array} \right.$$

شکل ۱۱-۱۶ ضوابط مربوط به جوش‌های انگشتانه

### ۱۱-۲-۱۲ طول و عرض و فاصله شکاف‌های جوش کام

در جوش کام پهنای شکاف ( $D_w$ ) نباید از ضخامت قطعه بریده شده ( $t_{pl}$ ) به اضافه ۸ میلی‌متر کمتر باشد. همچنین پهنای شکاف نباید از ۲٫۲۵ برابر ضخامت جوش ( $t_w$ ) بزرگتر شود. حداقل فاصله مرکز به مرکز دو شکاف مجاور در امتداد عمود بر طول، ۴ برابر پهنای شکاف و حداقل فاصله مرکز به مرکز دو شکاف متوالی در امتداد طول، ۲ برابر طول شکاف می‌باشد که طول شکاف ( $L_w$ ) نیز نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر شود. انتهای شکاف‌ها در جوش کام باید به صورت نیم دایره یا خطی مستقیم که در گوشه‌ها تبدیل به ربعی از دایره (با شعاعی بزرگتر از ضخامت قطعه) می‌شود، باشد. در شکل ۱۱-۱۷ برخی ضوابط مربوط به جوش کام نشان داده شده است.

$$\begin{cases} t_w = t \leftarrow \{t_{pl} \leq 16\text{mm}\} \\ t_w \geq \max\left(\frac{t}{2}, 16\text{mm}\right) \leftarrow \{t_{pl} > 16\text{mm}\} \\ t_{pl} + 8\text{mm} \leq D_w \leq 2.25 t_w \\ L_w \leq 10 t_w \\ S_2 \geq 4 D_w \\ S_1 \geq 2 L_w \end{cases}$$



شکل ۱۱-۱۷ ضوابط مربوط به جوش کام

### ۱۱-۲-۱۳ جوش سطحی<sup>۱</sup>

جوش سطحی معمولاً شامل یک یا چند خط جوش است که بر روی سطحی سالم (نا شکسته) انجام می گیرد تا سطح فلز با مصالح جدید جایگزین گردد. از کاربردهای این جوش می توان به اصلاح سطوح ساییده شده یا یکنواخت نمودن محل برخورد سطوح فلزی با یکدیگر اشاره نمود.

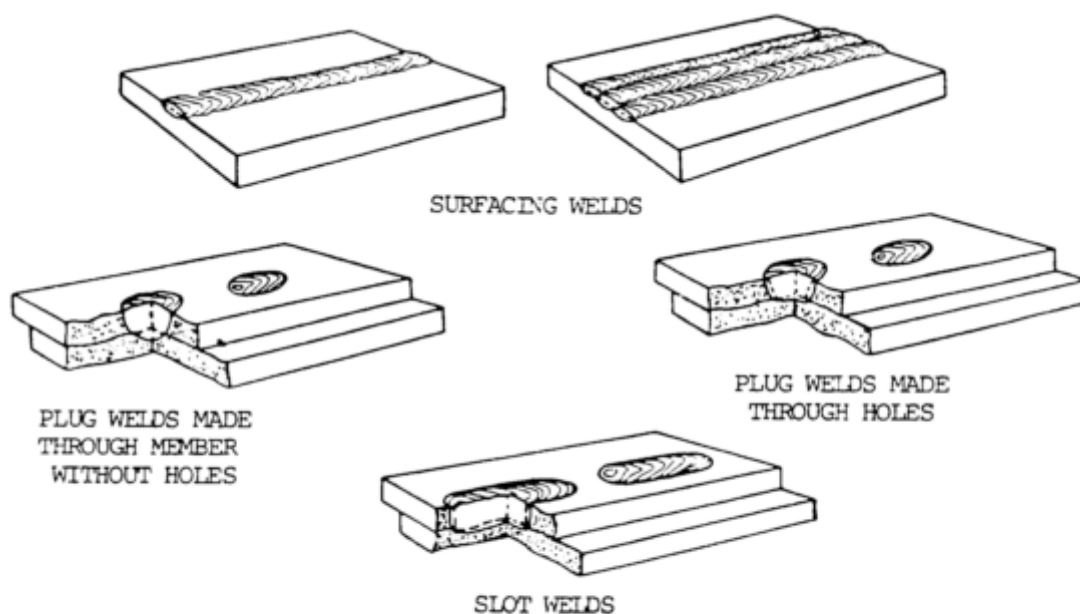


Figure 6-28. Surfacing, plug, and slot welds.

شکل ۱۱-۱۸ نمونه جوش سطحی، جوش انگشترانه و جوش کام

### ۱۱-۳ وضعیت های جوشکاری

بر حسب وضعیت قطعه مورد جوش و الکتروود نسبت به هم، چهار وضعیت جوشکاری وجود دارد:

الف) وضعیت تخت یا کفی<sup>۲</sup>

ب) وضعیت افقی<sup>۳</sup>

ج) وضعیت قائم یا سر بالا<sup>۴</sup>

<sup>1</sup> surface weld

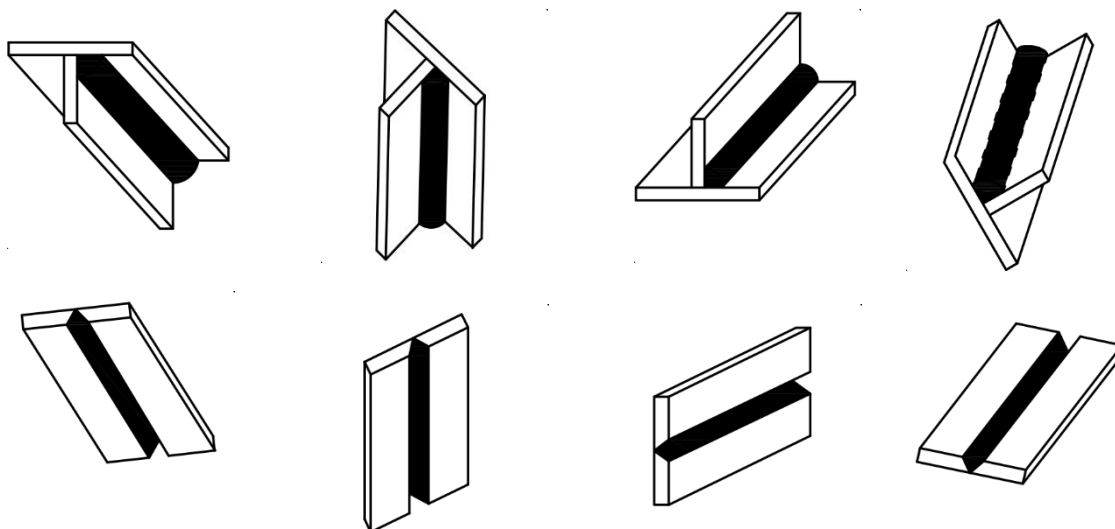
<sup>2</sup> flat welding position

<sup>3</sup> horizontal welding position

<sup>4</sup> vertical welding position

د) وضعیت سقفی<sup>۱</sup>

در شکل ۱۱-۱۹ انواع وضعیت جوشکاری نشان داده شده است. جوشکاری در وضعیت تخت مناسبترین و راحت ترین وضعیت برای جوشکار است که در آن جوشکار نسبت به موضع جوش احاطه دارد. جوشکاری در وضعیت افقی و قائم به جوشکار ماهر نیاز دارد. انجام جوش در وضعیت بالاسری یا سقفی نیاز به مهارت زیاد داشته و به دلیل مشکلات اجرایی به جز موارد ضروری توصیه نمی‌شود.



د- وضعیت سقفی

ج- وضعیت قائم

ب- وضعیت افقی

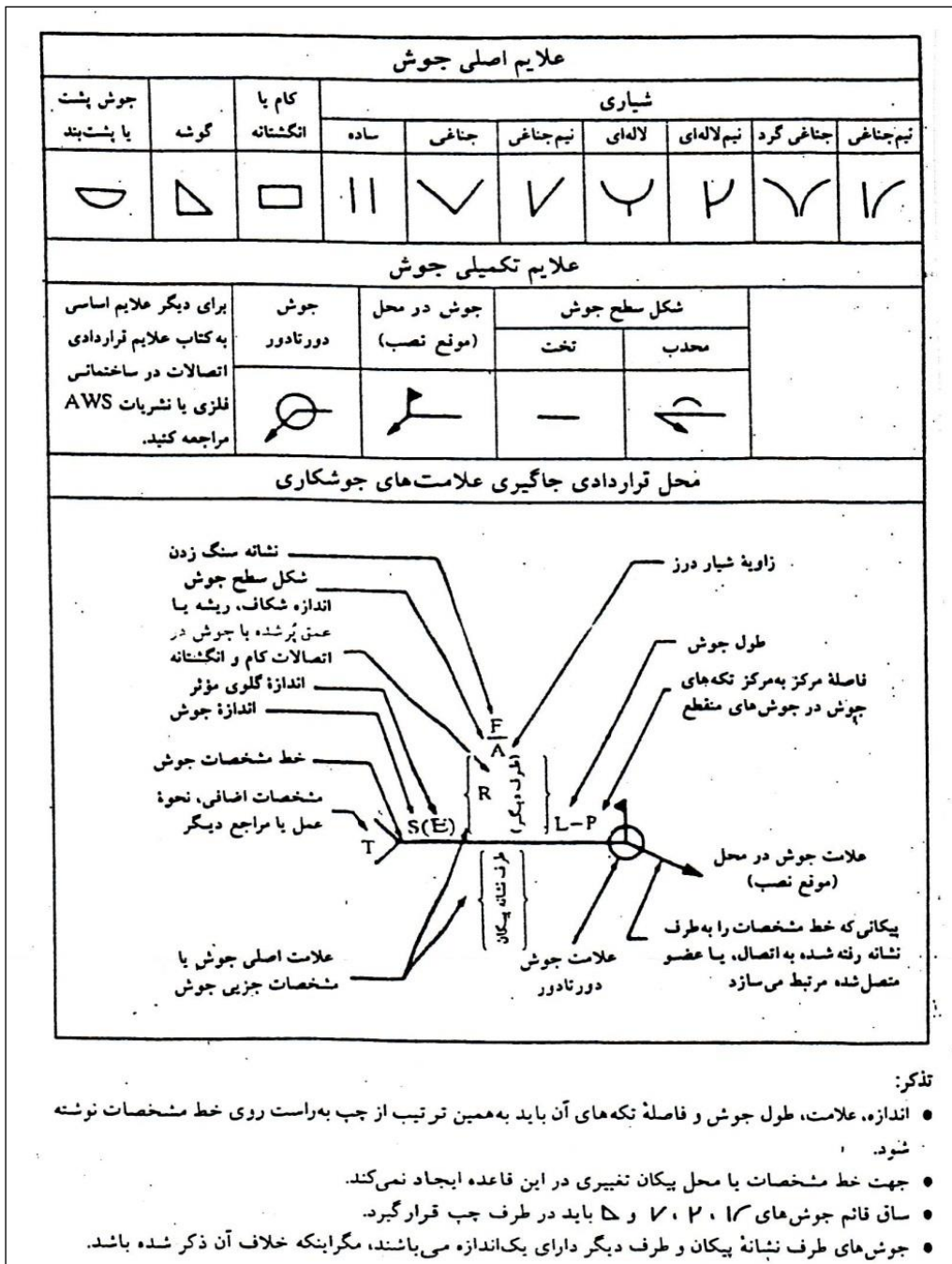
الف- وضعیت تخت

شکل ۱۱-۱۹ انواع وضعیت‌های جوشکاری در جوش‌های گوشه و شیار

## ۴-۱۱ علائم جوشکاری

قبل از اینکه یک درز یا اتصال جوش شود، طراح باید قادر باشد به طریقی دستورات خود را در مورد اندازه و نوع جوش لازم به نقشه کش و یا سازنده اتصال ارائه نماید. اگر برای ساخت هر اتصال جدید به دستورالعمل‌های اختصاصی و مشروحي احتیاج باشد، کار طراح در تهیه دستور ساخت یک اتصال، بسیار مشکل خواهد بود. نیاز به یک وسیله ساده و در عین حال دقیق برای برقراری تفاهم میان طراح، جوشکار و همچنین مهندس ناظر، به استفاده از علائم اختصاری که نمایشگر انواع جوشها و اندازه آنهاست، رواج بخشیده است. در شکل ۱۱-۲۰ علائم اصلی جوش که در نقشه‌های محاسباتی ارائه می‌گردد نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> overhead welding position

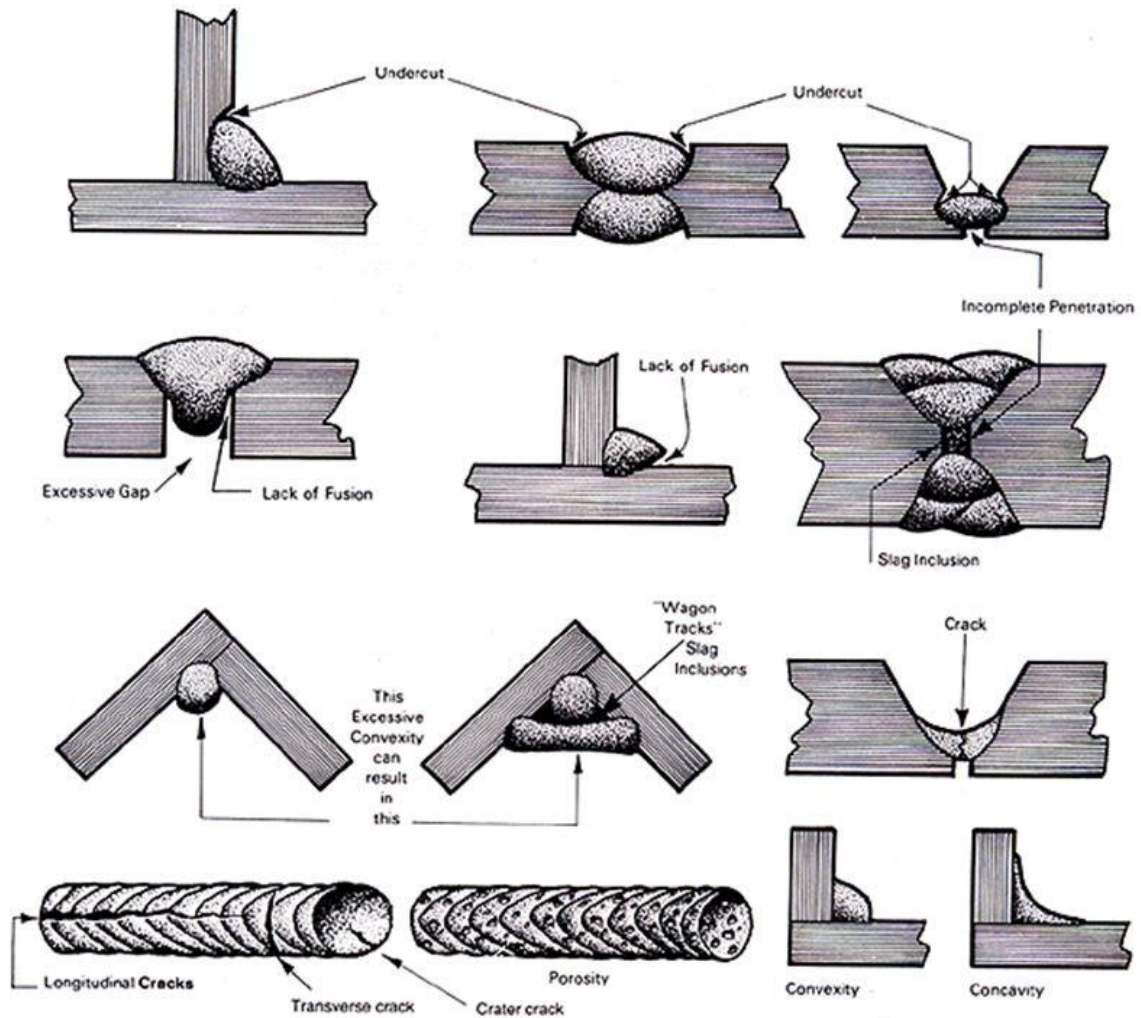


شکل ۱۱-۲۰ علائم اصلی جوشکاری

## ۱۱-۵ معایب و نواقص جوش

هر جوشکار باید با معایب اصلی جوشکاری که به گسیختگی اتصال جوش شده کمک می کند، آشنا باشد. این آشنایی به تولید جوش با کیفیت مقبول کمک کرده و مدت زمان بازرسی جوش را کاهش می دهد. عیوب اساسی در یک عملیات جوشکاری می توانند

در اثر عوامل مختلف در طرح اتصال، نامناسب بودن جنس مواد مصرفی، پارامترهای جوشکاری نظیر ولتاژ و آمپر دستگاه جوش، عدم مهارت جوشکار در نحوه عملیات جوش و ... باشد. معایب جوش که نمونه‌هایی از آنها در شکل ۱۱-۲۱ دیده می‌شود عبارتند از:



شکل ۱۱-۲۱ برخی معایب جوش

### ۱۱-۵-۱ نفوذ ناقص

این عبارت جهت توصیف امتزاج ناقص فلز پرکننده و فلز پایه با یکدیگر در ریشه اتصال به کار می‌رود. پدیده پل زدن در جوشهای شیاری زمانی اتفاق می‌افتد که فلز جوش و فلز پایه در ریشه اتصال کاملاً با یکدیگر ممزوج نشده‌اند. عمق نفوذ اتصال متأثر از عواملی چند از جمله حرارت داده شده به موضع جوش است. سرعت پیشرفت جوشکاری الکتروود، نوع پوشش الکتروود یا پودر جوش، نوع گاز محافظ، زاویه الکتروود با سطح کار و وضعیت نامناسب سطح لبه‌ها می‌تواند سبب نفوذ ناقص گردد.

### ۱۱-۵-۲ اختلاط ناقص

این پدیده، نقص در اختلاط لایه‌های مختلف فلز جوش یا لایه‌های فلز جوش و فلز پایه در حین جوشکاری می‌باشد. این پدیده اغلب به نام سر رفتگی یا لوچه نامیده می‌شود. اختلاط ناقص به دلیل پاک نبودن فلز مینا، استفاده از شدت جریان نامناسب، سرعت نامناسب جوشکاری و نوع یا اندازه نامناسب الکتروود رخ می‌دهد.

### ۱۱-۵-۳ تخلخل جوش

خلل و فرجهای جوش همراه با ایجاد حفره دارای انواع و دلایل گوناگون است. این پدیده متفاوت از حبس سرباره می‌باشد، چرا که در پدیده تخلخل، فضاهای ایجاد شده حاوی هوا و در اختلاط سرباره، حاوی ناخالصی جامد سرباره می‌باشد. این حفره‌های گازی تحت شرایط زیر شکل می‌گیرند:

- الف) در هنگام سرد شدن فلز جوش، گاز آزاد می‌شود که این به خاطر کاهش قابلیت انحلال آن با افت درجه حرارت می‌باشد.
- ب) گازهایی که توسط واکنشهای شیمیایی در جوش تشکیل می‌شود.
- از بروز تخلخل با توجه به موارد زیر می‌توان به خوبی جلوگیری کرد:
- الف) خشک کردن الکتروود قبل از مصرف
- ب) استفاده از شدت جریان زیاد در جوشکاری
- ج) استفاده از قوس بلند

### ۱۱-۵-۴ حبس سرباره

حبس سرباره، حفره‌های طولی یا کروی هستند که با اکسیدهای فلزی و یا دیگر ترکیبات جامد سرباره پر شده‌اند. پر شدن حفرات با این ناخالصی‌ها، موجب ایجاد تخلخل در جوش خواهد شد. در جوشکاری قوس الکتریکی، این ناخالصی‌ها عموماً ناشی از ترکیبات روکش الکتروود و یا گدازآورها می‌باشند. در جوشکاری دارای چند پاس، عدم دقت کافی در پاک کردن سرباره حاصل از جوشکاری لایه قبل، موجب شکل گیری عیب حبس سرباره خواهد شد. جوشهای سربالا نیز عمدتاً مستعد چنین عیبی هستند.

این پدیده می‌تواند با اعمال موارد زیر جلوگیری شود:

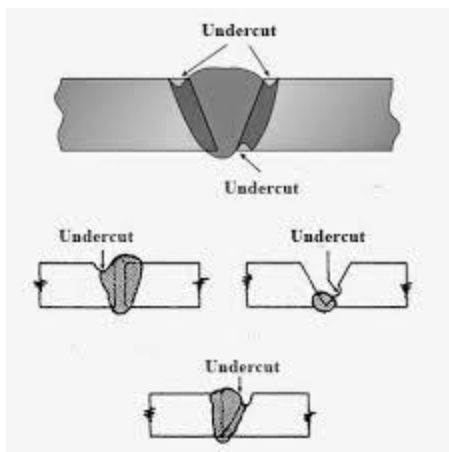
- الف) آماده سازی صحیح شیار و جوش در حین جوشکاری قبل از اینکه هر خط جوش رسوب نماید.
- ب) پاک کردن کامل سرباره
- ج) اطمینان از ور آمدن سرباره از سطح نوار جوشکاری
- د) اجتناب از حالتهایی که نفوذ کامل توسط قوس الکتریکی به دشواری صورت می‌گیرد.

### ۱۱-۵-۵ بریدگی کناره جوش (Undercut)

در انجام اتصالات جوشی با روشهای ذوبی به ویژه با قوس الکتریکی، فلز اصلی در سرتاسر درز در مسیر اتصال، ذوب شده که همراه با ذوب شدن الکتروود یا فلز پرکننده و انتقال قطرات مذاب از آن به طرف حوضچه جوش، شکاف پر می‌شود. برای بالا بردن مقاومت،



اغلب سطح فلز رسوب داده شده کمی بالاتر از سطح قطعه کار می‌باشد. پر نشدن کامل لبه محل اتصال، بریدگی یا شکافی را به وجود می‌آورد که موجب تمرکز تنش و شروع ترک اتصال از آن محل می‌شود.



شکل ۱۱-۲۲ بریدگی کنار جوش

#### ۱۱-۵-۶ ترک در جوش

ترک، گسیختگی طولانی تحت اثر تنش می‌باشد. هنگامی که بزرگ باشد به آسانی دیده می‌شود اما اغلب به صورت شکاف باریک است. ترک ممکن است در فلز جوش و یا در ناحیه تفتیده از فلز پایه اتفاق بیفتد. ترکهای عمومی در فلز جوش و فلز پایه در شکل ۱۱-۲۳ نشان داده شده‌اند. ترک خوردگی فلزات به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

#### ۱۱-۵-۶-۱ ترک خوردگی گرم

در درجه حرارت زیاد در خلال سرد شدن ناگهانی جوش، پس از آنکه فلز جوش رسوب کرده و شروع به انجماد نماید، این ترک خوردگی اتفاق می‌افتد. اکثر ترکهای جوشکاری، ترک خوردگی گرم هستند.

#### ۱۱-۵-۶-۲ ترک خوردگی سرد

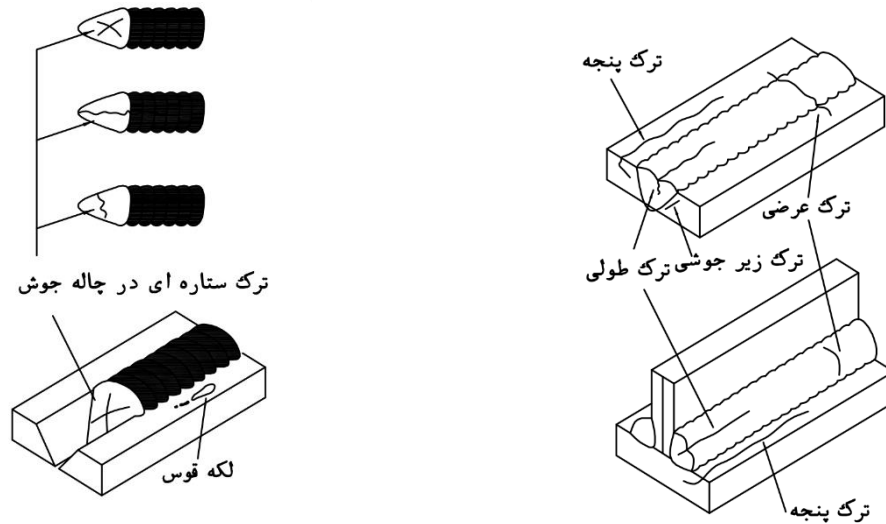
ترک خوردگی سرد به ترکهایی اطلاق می‌شود که در دمای معمولی اتفاق یا درجه حرارتی نزدیک به آن اتفاق می‌افتند. این ترکها ممکن است ساعتها و یا روزها پس از سرد شدن جوش حادث شوند. وقوع ترک خوردگی سرد در فولاد در مقایسه با سایر فلزات بیشتر است.

#### ۱۱-۵-۶-۳ ترکهای مویی

ترک های مویی ممکن است از نوع ترکهای گرم یا سرد باشند. این ترکها به قدری ریز هستند که با چشم غیر مسلح قابل دیدن نمی‌باشند و معمولاً عمر مفید سازه‌های معمولی را کاهش نمی‌دهند.

لکه قوس، لکه ای است که از برخورد تصادفی الکتروود با سطح کار به وجود می آید و حالتی آبله گونه روی سطح کار ایجاد می کند و ممکن است ترکهای ریزی را روی سطح کار به وجود آورد.

سایر معایب و نواقص جوش عبارتند از: گود افتادگی جوش، سوختن جوش، ترشح یا جرقه، سر رفتن جوش و ...



شکل ۱۱-۲۳ ترک های عمومی در فلز جوش و فلز پایه

## ۱۱-۶ آزمایش های جوش

آزمایش های جوش به دو دسته غیر مخرب و مخرب به شرح زیر طبقه بندی می شوند.

### ۱۱-۶-۱ آزمایش های غیر مخرب

آزمایش های غیر مخرب آزمایش هایی هستند که قطعه مورد آزمایش مورد تخریب قرار نگرفته و قابل استفاده می باشد. آزمایش های غیر مخرب جوش دارای انواع زیر است.

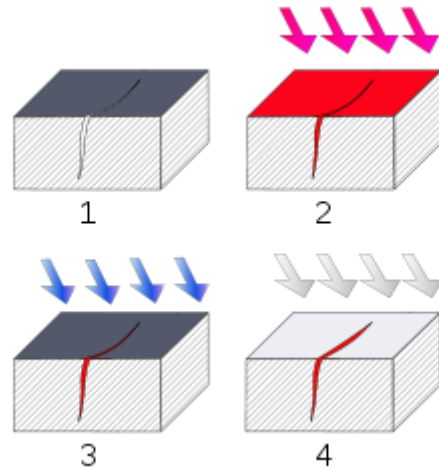
#### ۱-۱-۶-۱۱ بازرسی چشمی (VI)

بازرسی چشمی یعنی استفاده فرد بازرس از چشمان خود برای یافتن عیوب سطحی، به منظور بازرسی بهتر و دقیقتر قطعات تست می توان از ذره بین، آینه، بوریسکوپ و گیجهای مختلف بهره جست. در این روش سطح رویی جوش به وسیله چکش و برس فلزی تمیز می شود، این سطح باید یکنواخت و به صورت پیوسته زنجیره ای شکل و عاری از حباب و تخلخل، حفره، ترک، گود افتادگی، جابجایی قطعات و ... باشد.

#### ۲-۱-۶-۱۱ تست مایعات نافذ (PT)

در این روش ابتدا سطح مورد بازرسی باید از لکه های روغن، گریس و مواد ناخالص و خارجی تمیز شود. سپس ماده نافذ قرمز رنگی روی سطح پاشیده می شود که در داخل ترکها و سایر ناهمواریها نفوذ می کند. رنگ اضافی از روی سطح پاک شده و سپس یک

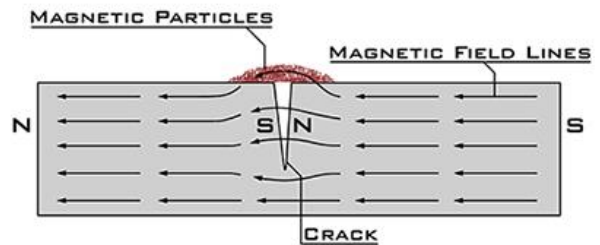
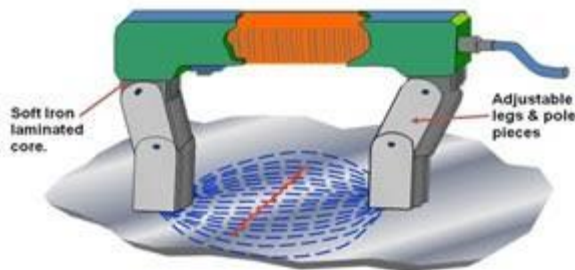
مایع فوق‌العاده فرار حاوی ذرات ریز سفید رنگ بر روی سطح پاشیده می‌شود. این ماده به نام ماده ظاهر کننده خوانده می‌شود. تبخیر مایع فرار باعث برجای ماندن گرد خشک سفید رنگ بر روی ماده قرمز نفوذ کرده در ترکها می‌گردد و بر اثر عمل مویینگی، ماده قرمز از ترک بیرون کشیده شده و پودر سفید کاملاً قرمز می‌شود. به همین جهت ترکهای سطحی به این روش با وضوح قابل شناسایی است. ابزار تست و نحوه انجام کار در شکل ۱۱-۲۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱-۲۴ تست مایعات نافذ (PT)

### ۳-۱-۶-۱۱ تست ذرات مغناطیسی (MT)

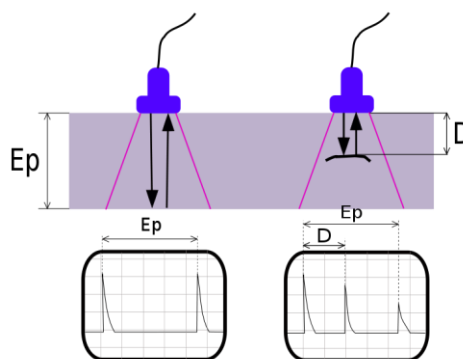
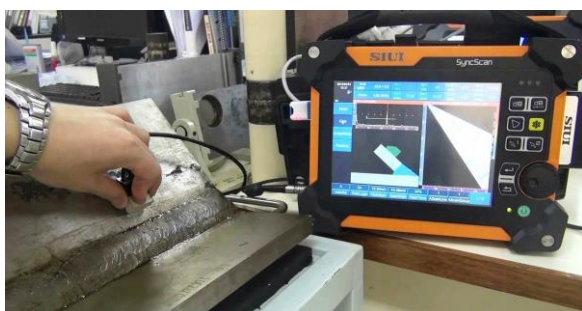
در این روش قطعه مورد آزمایش با استفاده از جریان الکتریکی جهت ایجاد میدان مغناطیسی در داخل مصالح، مغناطیسی می‌گردد. سطح مغناطیسی شده قطعه، با لایه نازکی از یک گرد مغناطیسی نظیر اکسید آهن قرمز پوشیده می‌شود. این لایه در صورت عدم وجود عیب در جوش یا فلز پایه می‌تواند از روی سطح برداشته شود ولی در صورت وجود یک عیب سطحی یا ناپیوستگی سطحی، گرد مورد نظر در داخل حفره یا ترک مربوطه فرو می‌رود و شکل میدان مغناطیسی را برهم می‌زند. ابزار تست و نحوه انجام کار در شکل ۱۱-۲۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱-۲۵ تست ذرات مغناطیسی (MT)

### ۴-۱-۶-۱۱ تست اولتراسونیک (UT)

آزمایش اولتراسونیک یا فرا صوتی از آزمایشهای نسبتاً پیشرفته در رده آزمایشهای غیر مخرب است. این روش بسیار سریع بوده و قادر به تشخیص معایب داخلی بدون نیاز به تخریب قطعه جوش شده می باشد. در این روش امواج از یک فرستنده با فرکانس بالا منتشر می شوند. این امواج فرا صوتی از داخل قطعه مورد آزمایش عبور داده می شوند و با هر گونه تغییر در تراکم داخلی قطعه منعکس می شوند. امواج منعکس شده توسط گیرنده جذب شده و پس از تقویت روی صفحه نمایشگر به صورت منحنی های ضربانی ظاهر می گردند. دو نوع ضربان بر روی صفحه نمایش ظاهر می شود. ضربان اول، انعکاس صدا از سطح رویی جسم و ضربان دوم انعکاس موج از سطح مقابل است. فاصله بین این دو ضربان با دقت کالیبره می شود. هنگامی که یک عیب یا ترک داخلی توسط واحد جستجو پیدا شود، ضربان سوم بین ضربان اول و دوم بر روی صفحه نمایش مطابق شکل ۱۱-۲۶ ثبت می شود. بنابراین مشخص می شود که محل این عیب بین سطوح بالا و پائین مصالح می باشد و می توان محل دقیق قرارگیری آن را تعیین کرد.



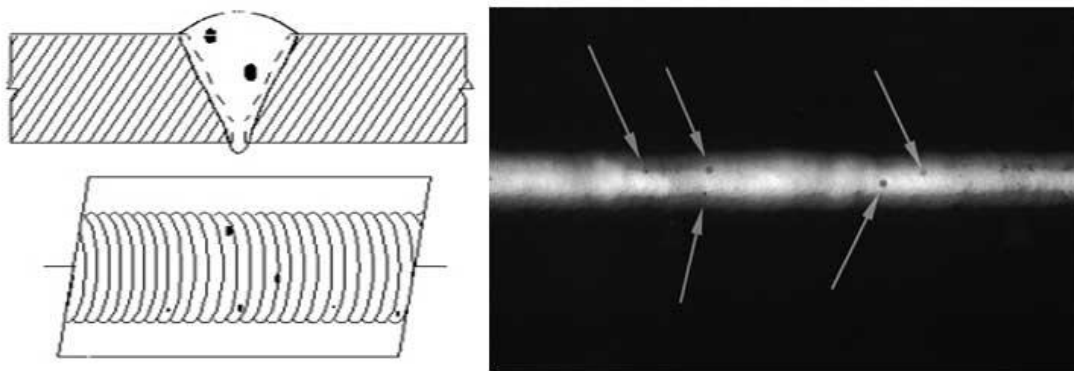
شکل ۱۱-۲۶ تست اولتراسونیک (UT)

### ۵-۱-۶-۱۱ تست پرتونگاری (RT)

آزمایش پرتونگاری یکی از آزمایشهای غیر مخرب است که نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز جوش را نشان می دهد. در این روش دو نوع پرتو X یا گاما مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش یک عکس از وضعیت داخلی فلز جوش گرفته می شود. در حین عکسبرداری فیلم در یک طرف و منبع پرتوزا در سمت دیگر قطعه قرار می گیرد. پرتو رادیویی در ضخامت فلز نفوذ کرده و پس از عبور از این ضخامت لکه ای بر روی صفحه فیلم ایجاد می کند. میزان جذب پرتوهای رادیویی توسط مواد مختلف متفاوت است. حبس سرباره، حفره گازی، ترکها، بریدگی های کناره جوش و قسمتهای نفوذ ناقص جوش، تراکم کمتری نسبت به فولاد سالم دارند. بنابراین در حوالی این قسمتها پرتو بیشتری به سطح فیلم می رسد و عیوب فلز جوش، به صورت لکه های تاریکی بر روی فیلم ثبت می شوند. این شیوه پرتونگاری حضور معایب مختلف در فلز جوش و فلز پایه را مسجل کرده و اندازه و شکل و محل آنها را ثبت می کند. ابزار تست و نحوه انجام کار در شکل ۱۱-۲۷ مشاهده می شود.



Radiographic Testing (RT) Level-II



شکل ۱۱-۲۷ تست پرتونگاری (RT)

## ۱۱-۶-۲ آزمایش‌های مخرب

در این روش نمونه‌هایی از جوش، خارج از موضع اصلی اتصال ساخته شده و مورد آزمایشات مکانیکی مورد نظر قرار می‌گیرند. این روش به علت ضرورت تخریب جوش و نمونه که منجر به آسیب رسانی عضو می‌شود باید در شرایط خاص و استثنایی انجام پذیرد.

## ۱۱-۷ مقاومت جوش ( $R_n$ )

چون نقش جوش انتقال نیرو از یک قطعه به قطعه دیگر است، بنابراین ابعاد آن باید متناسب با مقدار بار طرح شود و از الکتروود مناسب استفاده گردد.

توجه:

جوش گوشه در هر امتدادی که قرار گرفته باشد صرفاً به منظور انتقال تنش برشی در سطح موثر خود طراحی می‌شود. جوش نفوذی دقیقاً همان تنشی را منتقل می‌کند که در قطعات مورد اتصال وجود دارد.

مقاومت طراحی جوش در روش طراحی به روش LRFD مساوی  $\phi R_n$  و در طراحی به روش ASD مساوی  $R_n/\Omega$  بوده که در آن مقادیر  $\phi$  و  $\Omega$  مطابق جدول ۱۱-۵ تعیین می‌شود و ( $R_n$ ) مقاومت اسمی جوش بوده و مطابق رابطه ۱۱-۷ برابر کوچکترین مقدار

محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه ( $R_{nBM}$ ) و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش ( $R_{nw}$ ) در نظر گرفته می‌شود. در مراحل طراحی، لازم است مطابق رابطه ۶-۱۱ بار اعمال شده ضریب‌دار ( $R_u$ ) از مقاومت طراحی جوش بیشتر نباشد. لازم به ذکر است همه این مقادیر از جنس نیرو هستند.

$$R_u \leq \phi R_n \text{ or } R_n / \Omega \quad 6-11$$

$$R_n = \min \begin{cases} R_{nBM} = F_{nBM} A_{BM} \\ R_{nw} = F_{nw} A_{we} \end{cases} \quad 7-11$$

$\phi$  ضریب کاهش مقاومت طبق جدول ۵-۱۱

$\Omega$  ضریب افزایش مقاومت مجاز جدول ۵-۱۱

$R_u$  بار وارده ضریب‌دار

$\phi R_n$  مقاومت طراحی جوش

$R_n$  مقاومت اسمی جوش

$R_{nBM}$  مقاومت حدی گسیختگی فلز پایه

$R_{nw}$  مقاومت حدی گسیختگی فلز جوش

$F_{nBM}$  تنش اسمی فلز پایه مقاومت طبق جدول ۵-۱۱

$F_{nw}$  تنش اسمی فلز جوش مقاومت طبق جدول ۵-۱۱

$A_{BM}$  سطح مقطع فلز پایه

$A_{we}$  سطح مقطع موثر جوش برابر  $L_w \times t_e$

چنانچه در رابطه ۷-۱۱ مقاومت نهایی یک سانتیمتر طول جوش مد نظر باشد،  $L_w = 1$  لحاظ شده و مطابق رابطه ۸-۱۱ «ارزش جوش» با واحد نیرو بر طول مانند  $\frac{Kgf}{cm}$  محاسبه می‌گردد که در این فصل با نماد  $R_{nw}^*$  نشان داده شده است. معمولاً در مسائلی که ضخامت جوش مجهول است از این روش استفاده می‌گردد. بدیهی است از حاصلضرب ارزش نهایی جوش در طول موثر جوش، نیروی جوش بدست می‌آید.

$$R_{nw} = F_{nw} l_w t_e \rightarrow R_{nw}^* = \frac{F_{nw} l_w t_e}{l_w} = F_{nw} t_e \quad 8-11$$

جهت محاسبه تنش برشی ایجاد شده در واحد طول جوش و مقایسه آن با مقاومت برشی در واحد طول جوش (ارزش جوش) با ضریب کاهش مقاومت، می‌توان از رابطه ۹-۱۱ استفاده نمود. چنانچه اشاره می‌شود، مسائل طراحی جوش با فرض ضخامت جوش واحد محاسبه می‌گردند. چنانچه ضخامت جوش را واحد فرض کنیم نماد  $f_r^1$  مطابق رابطه ۱۰-۱۱ بدست می‌آید.

$$f_r^* = \frac{R_u}{t_e} \leq \phi R_{nw}^* = \phi F_{nw} t_e \quad 9-11$$

$$t_e = 1 \text{ cm} \rightarrow f_r^1 = f_r^* (t_e=1) = \frac{f_r}{1 \text{ cm}} \leq \phi F_{nw} \quad 10-11$$

\*\*\*\*\*

$f_r$  تنش محاسبه شده در جوش تحت بارگذاری، با واحد فشار مانند  $\frac{Kgf}{cm^2}$

$f_r^*$  نیروی واحد طول جوش تحت بارگذاری، با واحد نیرو بر طول مانند  $\frac{Kgf}{cm}$

$f_r^1$  نیروی واحد طول جوش با فرض ضخامت واحد تحت بارگذاری، با واحد نیرو بر طول مانند  $\frac{Kgf}{cm}$

لازم به ذکر است دو نماد  $f_r$  و  $f_r^1$  دارای دو دیمانسیون متفاوت بوده ولی معمولاً در مسائل، دارای مقادیر یکسانی هستند. توضیحات بیشتر در حل مثالها ارائه شده است. پارامترهای تعیین کننده تنش اسمی جوش و ضریب کاهش، در جدول ۱۱-۵ مشاهده می شوند.

جدول ۱۱-۵ پارامترهای تعیین مقاومت جوش

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت ( $\phi$ ) یا افزایش مقاومت مجاز ( $\Omega$ )	تنش اسمی ( $F_{nBm}$ یا $F_{nw}$ )
جوش شیاری با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کششی عمود بر محور جوش	مقاومت اتصال براساس فلز پایه تعیین می گردد		
	فشاری عمود بر محور جوش	مقاومت اتصال براساس فلز پایه تعیین می گردد		
	کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	طراحی ندارد		
	برشی	مقاومت اتصال براساس فلز پایه تعیین می گردد		

تنش اسمی ( $F_{nBM}$ یا $F_{nw}$ )	ضریب کاهش مقاومت ( $\phi$ ) یا افزایش مقاومت مجاز ( $\Omega$ )	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع جوش
$F_{nBM}=F_u$ *	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.0$	براساس فلز پایه	کششی در امتداد عمود بر محور جوش	جوش شیار با نفوذ نسبی
$F_{nw}=0.6F_{ue}$ *	$\phi = 0.8$ $\Omega = 1.88$	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)		
		طراحی ندارد	فشاری- ستون بر کفستون و وصله های ستون مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱-۳-الف	
$F_{nBM}=F_y$ *	$\phi = 0.9$ $\Omega = 1.67$	براساس فلز پایه	فشاری- در اعضای یا سطوح در تماس با هم	
$F_{nw}=0.6F_{ue}$	$\phi = 0.8$ $\Omega = 1.88$	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	(به غیر از ستون ها و مطابق بند ۱۰-۲-۹-۱-۳-ب)	
$F_{nBM}=F_y$	$\phi = 0.9$ $\Omega = 1.67$	براساس فلز پایه	فشاری- اتصالات اعضای بدون سطوح در تماس با هم	
$F_{nw}=0.9F_{ue}$	$\phi = 0.8$ $\Omega = 1.88$	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)		
		طراحی ندارد	کششی یا فشاری موازی با محور جوش	
		براساس فلز پایه		
$F_{nw}=0.6F_{ue}$	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.0$	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	برشی	
		براساس فلز پایه	برشی	جوش گوشه
$F_{nw}=0.6F_{ue}$	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.0$	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)		
		طراحی ندارد	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	
		براساس فلز پایه	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع مؤثر)	جوش انگشترانه و کام
$F_{nw}=0.6F_{ue}$	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.0$	براساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)		

انتخاب الکتروود مصرفی بر حسب ضخامت فلز پایه و جهت سازگاری با آن، مطابق با مقادیر جدول ۱۱-۶ انجام می شود.

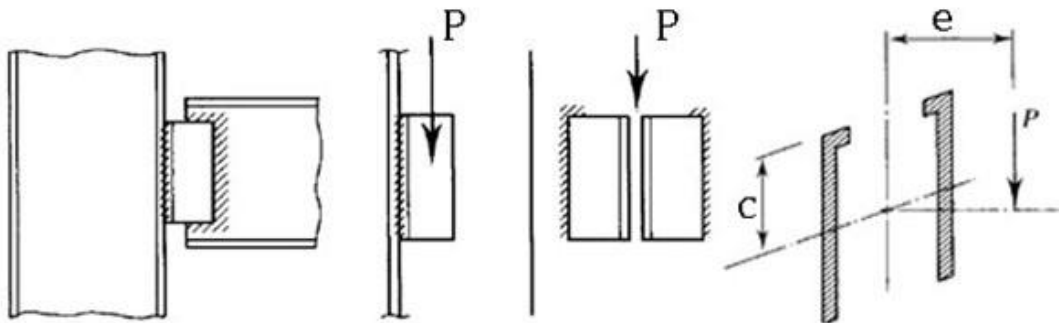


جدول ۱۱-۶ سازگاری تنش تسلیم و تنش نهایی الکتروود جوش

نوع الکتروود سازگار	تنش تسلیم مشخصه مصالح فلز پایه ( $F_y$ )
E60 یا معادل آن	تا 300 MPa و $t \leq 20$ mm
E70 یا معادل آن	( $t =$ ضخامت فلز پایه)
E70 یا معادل آن	تا 300 MPa و $t > 20$ mm
E70 یا معادل آن	از 300 MPa تا 380 MPa
E80 یا معادل آن	از 380 MPa تا 460 MPa

در مسائل کنترل جوش، که ضخامت جوش مشخص است، محاسبه نیروی مقاومت جوش میسر است. از طرف دیگر در مسائل طراحی جوش، از آنجا که مقاومت جوش گوشه به مساحت آن بستگی دارد، جهت سادگی محاسبات، معمولاً ضخامت جوش برابر واحد فرض می‌شود و در انتهای محاسبات، این تاثیر مد نظر قرار می‌گیرد. توضیحات بیشتر در حل مثالهای این فصل ارائه شده است.

به عنوان مثالی دیگر، شکل ۱۱-۲۸ مد نظر است.



شکل ۱۱-۲۸ بارگذاری برشی و خمشی

در این اتصال نیز بارگذاری  $P$  همراه با خروج از مرکزیت، معادل بارگذاری بدون خروج از مرکزیت به همراه لنگری است لنگر در جوش ایجاد خمش می‌نماید. بدین معنا که بخشی از مقطع جوش در فشار و بخشی در کشش قرار خواهد گرفت. تنش برشی ناشی از بار  $P$  برابر  $f_v^{(P)} = \frac{P}{L}$  است (ضخامت جوش واحد فرض شده است).

تنش کششی و فشاری ناشی از لنگر  $M = P \cdot e$  در هر نقطه از جوش، با استفاده از فرمول خمش  $f_t^{(M)} = \frac{M \cdot c}{I}$  قابل محاسبه

است (I لنگر اینرسی مقطع جوش است) که این تنش در راستای عمود بر صفحه می‌باشد. نهایتاً تنش برشی حاصل از رابطه ۱۱-۱۱ بدست می‌آید.

$$f = \sqrt{f_v^2 + f_t^2}$$

توجه: روش اندیس گذاری در این متن:

از آنجا که تعداد پارامترهای داده مسئله، متغیرهای محاسباتی در روند حل مسئله و خواسته‌های مسئله، در فصول مختلف دارای تنوع است، سعی بر آن بوده است که نمادها از چنین روندی پیروی کنند:

- به عنوان یک قاعده کلی سعی شده تا حد امکان نمادهای معرفی شده در مبحث دهم، بدون تغییر بماند.
- برای نمایش تنش‌های ناشی از بارگذاری بحرانی از حروف کوچک مانند  $f$  و برای نمایش تنش ظرفیت باربری از حروف بزرگ مانند  $F$  استفاده گردیده است.
- برای نمایش تنش ناشی از بارهای ضریبدار از اندیس زیرنویس  $u$  استفاده می‌شود (مانند  $f_u$  برای تنش ناشی از بارهای ضریبدار). بدیهی است علائمی مانند  $F_u$  برای تنش نهایی فولاد دارای کاربرد جداگانه هستند.
- برای نمایش مولفه‌های در راستای محورهای  $X, Y$  از اندیس زیرنویس استفاده می‌شود مانند  $f_x$  و  $f_y$ . بدیهی است علائمی مانند  $f_y$  برای تنش جاری شدن فولاد دارای کاربرد جداگانه هستند.
- برای نمایش نیروها و تنشهای برشی از اندیس زیرنویس  $v$  استفاده می‌شود مانند  $f_v$ .
- برای نمایش نیروها و تنشهای کششی از اندیس زیرنویس  $t$  استفاده می‌شود مانند  $f_t$ .
- برای نمایش نیروها و تنشهای پیچ و جوش ناشی از بار محوری  $P$  اندیس بالانویس  $(P)$  استفاده می‌شود مانند  $f_v^{(P)}$  برای تنش برشی پیچ و جوش ناشی از بار فشاری  $P$ .
- برای نمایش نیروها و تنشهای پیچ و جوش ناشی از بار خمشی  $M$  اندیس بالانویس  $(M)$  استفاده می‌شود مانند  $f_v^{(M)}$  برای تنش برشی پیچ و جوش ناشی از بار خمشی  $M$  و  $f_t^{(M)}$  برای تنش کششی یا فشاری پیچ و جوش ناشی از بار خمشی  $M$ .
- برای نمایش نیروها و تنشهای پیچ و جوش ناشی از بار پیچشی  $T$  اندیس بالانویس  $(T)$  استفاده می‌شود مانند  $f_v^{(T)}$  برای تنش برشی پیچ و جوش ناشی از بار پیچشی  $T$ .
- در صورت نیاز به تاکید بیشتر از ترکیب اندیس‌های فوق استفاده می‌گردد مانند  $f_{uv}^{(M)}$  برای تنش برشی پیچ و جوش ناشی از بار خمشی ضریبدار  $M$  یا  $f_{vx}^{(M)}$  برای تنش برشی پیچ و جوش ناشی از بار خمشی  $M$  در راستای  $X$ .

## مثال ۲-۱۱

ارزش جوش برای جوش گوشه تحت اثر برش با الکتروود  $E60 \left( F_{ue} = 4200 \frac{Kgf}{cm^2} \right)$  همراه با بازرسی چشمی و جوشکاری در کارگاه را محاسبه نمایید.

حل:

برای جوش گوشه تحت اثر برش با توجه به رابطه ۱۱-۱۰

$$\phi = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6F_{ue} = 0.6 * 4200 \frac{Kgf}{cm^2} = 2520 \frac{Kgf}{cm^2}$$

$$t_e = 0.707a_w$$

در نتیجه:

$$\phi R_{nw}^* = \phi F_{nw} t_e = \phi \times 0.6 F_{ue} \times 0.707 a_w = 0.75 * 2520 * 0.707 a_w \cong 1336.23 a_w \frac{Kgf}{cm}$$

## مثال ۱۱-۳

برای جوش گوشه با الکتروود E6013، تنش اسمی مقاوم برشی را محاسبه نمایید.

حل:

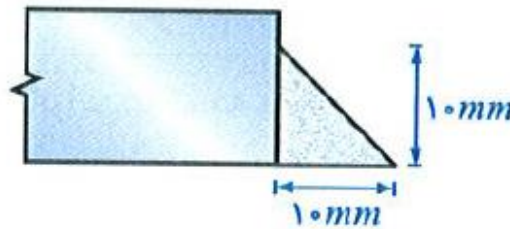
$$E6013 \rightarrow F_{ue} = 4200 \frac{Kgf}{cm^2}$$

با توجه به رابطه ۱۱-۱۰

$$F_{nw} = \times 0.6 F_{ue} = 0.6 \times 4200 = 2520 \frac{kg}{cm^2}$$

## مثال ۱۱-۴

با توجه به شکل ۱۱-۲۹ مطلوبست مقاومت اسمی جوش گوشه به طول ۲۰ سانتیمتر. جوشکاری در محل بوده و جوش توسط بازرس جوش، بازرسی چشمی می شود. الکتروود مصرفی از نوع E70 می باشد.



شکل ۱۱-۲۹ نمایش اتصال جوش گوشه مثال

حل:

با توجه به نوع الکتروود

$$E70 \rightarrow F_{ue} = 490 MPa \cong 4900 \frac{Kgf}{cm^2}$$

با توجه به ۱۱-۱۰ برای جوش گوشه تحت اثر برش در مقطع موثر

$$F_{nw} = 0.6 F_{ue}$$

$$A_{we} = t_e l_w = 0.707 a_w l_w = 0.707 * 1^{cm} * 20^{cm} = 14.14 cm^2$$

در نتیجه:

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we} = 0.6 F_{ue} * 0.707 a_w l_w$$

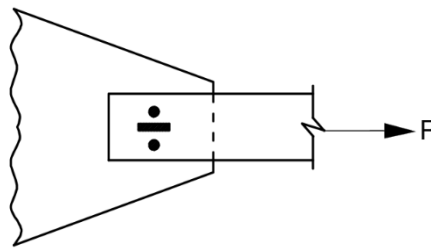
$$R_{nw} = \left( 0.6 * 4900 \frac{Kgf}{cm^2} \right) * (14.14 cm^2) = 41571.6 Kgf \cong 41.6 tonf$$

توجه: خواسته مسئله مقاومت اسمی جوش یعنی  $R_{nw}$  است. چنانچه مقاومت طراحی جوش مطلوب باشد، باید ضریب کاهش اعمال گردد.

$$\phi R_{nw} = 0.75 * 41571 \text{ Kgf} = 31178.7 \text{ Kgf} \cong 31.2 \text{ tonf}$$

### مثال ۵-۱۱

در اتصال شکل ۱۱-۳۰ در صورتی که از الکتروود E60 استفاده شده باشد و بازرسی به صورت چشمی و در کارخانه انجام شود، نیروی طراحی جوش را محاسبه کنید (قطر انگشتانه 20mm، طول کام 70mm، عرض کام 15mm است).



شکل ۱۱-۳۰ نمایش اتصال جوش مثال

### حل:

سطح جوش مساوی مساحت کام + دو برابر مساحت هر انگشتانه می باشد.

$$A_{w1} = 7 \text{ cm} * 1.5 \text{ cm} = 10.5 \text{ cm}^2$$

$$A_{w2} = 2 * \frac{\pi * 2^2}{4} = 6.28 \text{ cm}^2$$

$$A_{we} = A_{w1} + A_{w2} = 10.5 + 6.28 = 16.78 \text{ cm}^2$$

با توجه به نوع الکتروود

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 420 \text{ MPa} \cong 4200 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

تنش مقاوم اسمی جوش انگشتانه و کام تحت اثر تنشهای برشی با توجه به ۱۱-۹

$$\phi = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 F_{ue} = 0.6 * 4200 = 2520 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

در نتیجه نیروی اسمی قابل تحمل توسط جوش برابر است با:

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we} = 0.6 F_{ue} * A_{we}$$

$$R_{nw} = \left( 0.6 * 4200 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \right) * (16.78 \text{ cm}^2) = 42285.6 \text{ Kgf} \cong 42.3 \text{ tonf}$$

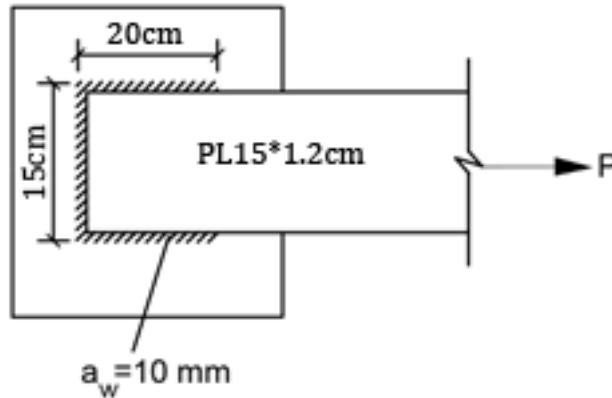
محاسبه نیروی طراحی جوش با اعمال ضریب کاهش

$$\phi R_{nw} = 0.75 * 42.3 \text{ ton} \cong 31.8 \text{ ton}$$

توجه: در طراحی چنین اتصالات جوشی، لازم است شکل هندسی سوراخها و فواصل جوش مطابق با آیین نامه کنترل گردند. این موضوع مدنظر این مسئله نبوده است.

## مثال ۱۱-۶

ظرفیت اتصال شکل ۱۱-۳۱ را با فرض فولاد ورق از نوع ST37، الکتروود مصرفی از نوع E60 و بررسی جوش در محل توسط افراد مجرب، تعیین کنید.



شکل ۱۱-۳۱ نمایش اتصال جوش مثال

حل:

با توجه به نوع الکتروود

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 420 \text{ MPa} \cong 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

الف) تعیین ظرفیت اتصال براساس مقاومت جوش ( $R_{nw}$ )

$$t_e = 0.707 a_w = 0.707 \times 1 = 0.707 \text{ cm}$$

تنش مقاوم اسمی جوش گوشه در برش با توجه به ۱۱-۹

$$\phi = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 F_{ue} = 0.6 \times 4200 = 2520 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{we} = t_e * l_w = (0.707 * 1 \text{ cm}) * (20 + 15 + 20 \text{ cm}) = 38.88 \text{ cm}^2$$

$$R_{nw} = F_{nw} A_{we} = \left( 0.6 * 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * (38.88 \text{ cm}^2) = 97977.6 \text{ Kgf} \cong 98 \text{ tonf}$$

ب) تعیین ظرفیت اتصال براساس مقاومت ورق ( $R_{nBM}$ )

$$P_1 = F_{n_{BM1}} A_{BM1} = 0.9 F_y A_g = 0.9 \times 2400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (15 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}) = 38880 \text{ kgf}$$

$$P_2 = F_{n_{BM2}} A_{BM2} = 0.75 F_u A_e = 0.75 F_u (u A_n) = 0.75 \times 3700 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (1 \times 15 \text{ cm} \times 1.2 \text{ cm}) = 49950 \text{ kgf}$$

$$R_{nBM} = \min(P_1, P_2) = \min(38880, 49950) = 38880 \text{ kgf}$$

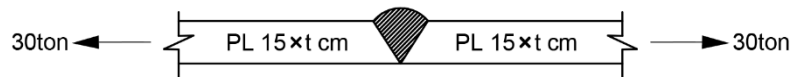
$$R_n = \min(R_{nBM}, R_{nw}) = \min(38880, 97977.6) = 38880 \text{ Kgf} \cong 38.9 \text{ tonf}$$

$$\phi R_n = 0.75 * 38880 \text{ Kgf} = 29160 \text{ Kgf} \cong 29.2 \text{ tonf}$$

توجه: بهتر است که مقاومت جوش بیشتر از ظرفیت باربری اعضاء جوش شده گردد، بدین ترتیب در این مثال با افزایش طول جوش ( $L_w$ ) یا بعد جوش ( $a_w$ ) می توان ظرفیت باربری جوش را تا حد باربری قطعه ارتقاء داد.

### مثال ۷-۱۱

ضخامت حداقل تسمه را با فرض استفاده از الکتروود مصرفی E60 در شکل ۱۱-۳۲ تعیین کنید.



شکل ۱۱-۳۲ نمایش اتصال مثال

حل:

طبق **Error! Reference source not found.** تنش مقاوم اسمی جوش شیاری در کشش عمود بر مقطع موثر، برابر با تنش نهایی فلز پایه است.

$$P_u \leq 0.9F_y A_g \rightarrow 30 \times 10^3 \text{ Kgf} \leq 0.9 \times 2400 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} * (15 \text{ cm} * t) \rightarrow t \geq \frac{30 \times 10^3}{0.9 \times 2400 \times 15} = 0.93 \text{ cm}$$

$$t \geq 0.93 \text{ cm} \rightarrow \text{use } t = 1.0 \text{ cm}$$

از ورق به ضخامت ۱۰ میلیمتر استفاده می شود.

### ۱۱-۸ طرح اتصال جوشی

در این بخش اصول طراحی اتصالات جوشی ارائه می گردد.

توجه: فولاد مصرفی در ساخت اعضاء سیستم باربر جانبی لرزه ای باید دارای مقاومت کششی نهایی حداقل ۱,۲ برابر مقاومت حد تسلیم

$$F_u \geq 1.2F_y \text{ باشد یعنی}$$

توجه: در طرح لرزه ای و ساخت اعضاء سیستم باربر جانبی، مشخصات مصالح جوش بکار رفته در اتصالات و وصله های اعضاء و نیز وصله های ستونهای غیر باربر جانبی باید مطابق شرایط زیر باشند:

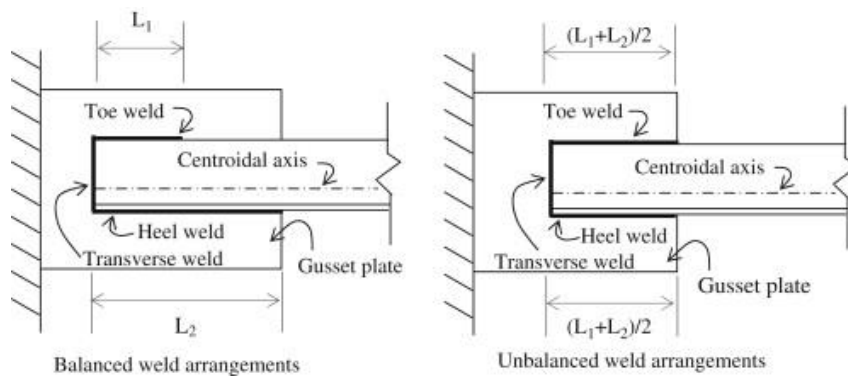
فلز جوش با فلز پایه سازگار باشد.

طاقة نمونه شیار داده شده شاریبی استاندارد فلز جوش در دمای ۱۸- درجه سلسیوس حداقل ۲۷ ژول باشد.

در اتصالات و وصله های با جوش نفوذی کامل در قاب خمشی ویژه و متوسط و تیر پیوند قاب مهاربندی شده واگرا، علاوه بر دو شرط فوق، طاقة نمونه شیار داده شده شاریبی استاندارد فلز جوش در دمای ۲۹- درجه سلسیوس حداقل ۲۷ ژول باشد.

### ۱۱-۸-۱ طرح اتصال متعادل<sup>۱</sup>

در برخی از موارد قطعاتی که متحمل نیروی محوری می شوند، دارای سطح مقطع غیر متقارن نسبت به این نیرو هستند و همین امر موجب برون محوری در اتصال جوشی می شود. نمونه اتصال جوشی متعادل و نامتعادل در شکل زیر مشاهده می شود.

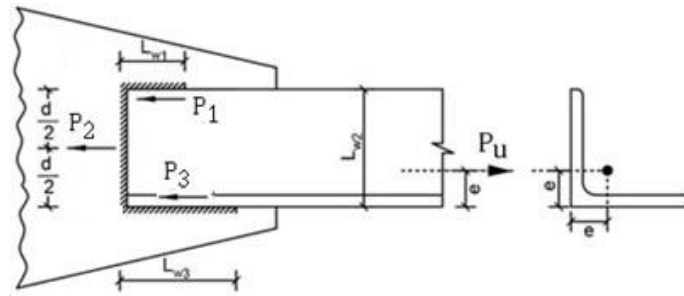


الف) طرح متعادل جوش

ب) طرح نامتعادل جوش

شکل ۱۱-۳۳ اتصال جوشی متعادل و نامتعادل

در شکل ۱۱-۳۴ اتصال جوشی نبشی به ورق گاست مشاهده می شود. نیروی  $P_U$  به مرکز ثقل این نبشی اثر می کند. این نیرو در اتصال جوشی توسط سه نیروی  $P_1$  و  $P_2$  و  $P_3$  به ورق اتصال منتقل خواهد شد. فرض می شود دو نیروی  $P_1$  و  $P_3$  در دو لبه خارجی نبشی اثر کرده و نیروی  $P_2$  در فاصله  $\frac{d}{2}$  از لبه نبشی اثر کند.



شکل ۱۱-۳۴ طرح اتصال متعادل در نبشی متصل به ورق

اگر حول نقطه A واقع در کنار تحتانی نبشی از نیروهای وارده لنگر گیری انجام شود، نتیجه می شود:

$$P_1 \times d + P_2 \times \frac{d}{2} = P_u \times e \rightarrow P_1 = \frac{P_u e}{d} - \frac{P_2}{2} \quad 11-12$$

$$P_2 = R_{nw}^* \times L_{w2} \quad 11-13$$

$P_u$  نیروی اعمالی ضربیدار  
 $d$  ساق نبشی  
 $R_{nw}^*$  ارزش جوش

تعدادل نیروهای افقی رابطه زیر را به دست می دهد:

$$\sum F_x = P_u - P_1 - P_2 - P_3 = 0 \quad 11-14$$

با جایگذاری ۱۱-۱۲ در ۱۱-۱۴ حاصل می شود:

$$P_3 = P_u \left(1 - \frac{e}{d}\right) - \frac{P_2}{2} \quad 11-15$$

با داشتن  $P_1$  و  $P_3$  می توان طول جوش  $L_{w1}$  و  $L_{w3}$  را طبق روابط زیر محاسبه کرد:

$$L_{w1} = \frac{P_1}{R_{nw}^*} \quad 11-16$$

$$L_{w3} = \frac{P_3}{R_{nw}^*} \quad 11-17$$

همانگونه که در شکل ۱۱-۳۴ ملاحظه می شود طول جوشها به گونه ای تعیین می گردد که خروج از مرکزیت جوش از بین برود و

اتصال متعادل باشد.

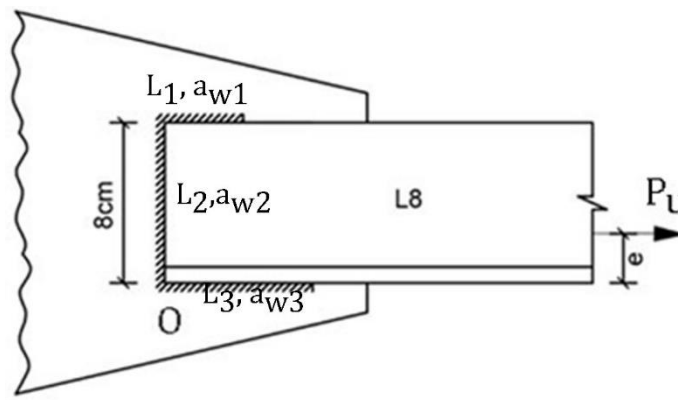
### مثال ۸-۱۱

چنانچه اتصال شکل ۱۱-۲۸ تحت اثر حداکثر ظرفیت کششی نبشی قرار گیرد جوش را به گونه ای طرح نمایید که

اتصال متعادل شود. از فولاد ST37 و الکتروود نوع E60 استفاده شده و بررسی جوش در محل توسط افراد مجرب انجام

شده است.





شکل ۱۱-۳۵ نمایش اتصال مثال

حل:

مشخصات هندسی L8 از جدول اشتال به شرح زیر می باشد:

$$L8 (A = 12.3 \text{ cm}^2, e = 2.26 \text{ cm}, t = 0.8 \text{ cm})$$

تعیین بعد جوش ضخامت بال نبشی به ورق

$$a_w^{\min} = 5 \text{ mm (from table)}$$

$$a_w^{\max} = \min(8_{\text{plate}}^{\text{mm}} - 2^{\text{mm}}, 8_{\text{plate}}^{\text{mm}}) = 6 \text{ mm}$$

$$a_w^{\min} = 5 \text{ mm} \leq a_w \leq a_w^{\max} = 6 \text{ mm} \rightarrow \text{use } a_w^{(1)} = a_w^{(3)} = 6 \text{ mm}$$

تعیین بعد جوش پشت بال نبشی به ورق (ضخامت ورق ۱۵ میلیمتر فرض می گردد).

$$a_w^{\min} = 5 \text{ mm (from table)}$$

$$a_w^{\max} = \min(15_{\text{plate}}^{\text{mm}} - 2^{\text{mm}}, 8_{\text{plate}}^{\text{mm}}) = 8 \text{ mm}$$

$$a_w^{\min} = 5 \text{ mm} \leq a_w \leq a_w^{\max} = 8 \text{ mm} \rightarrow \text{use } a_w^{(2)} = 6 \text{ mm}$$

برای حداکثر بعد جوش ساق نبشی به ورق (جوش عمودی) با توجه به اینکه ضخامت آن، جوش می شود از مقدار  $t - 2 = 8 - 2 = 6 \text{ mm}$  بدست می آید. از طرفی حداکثر بعد جوش بال نبشی به ورق (جوش طولی) با توجه به اینکه وجه کنار آن جوش می شود

از مقدار  $t_{\min} = 8 \text{ mm}$  بدست می آید.

با توجه به استفاده از الکتروود E60

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 420 \text{ MPa} \cong 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

طبق **Error! Reference source not found.** برای جوش گوشه برشی

$$\phi = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 F_{ue} = 0.6 \times 4200 = 2520 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

محاسبه ارزش جوش (هر سه جوش دارای مشخصات یکسانی هستند)

$$t_e = 0.707 a_w = 0.707 \times 0.6 \text{ cm}$$

$$R_{nw}^* = \phi F_{nw} t_e = 0.75 \times 2520 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times (0.707 \times 0.6 \text{ cm}) = 801.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

محاسبه ظرفیت کششی مقطع نبشی

$$P_u = 0.9F_y A_g = 0.9 \times 2400 \times 12.3 = 26568 \text{ kgf}$$

محاسبه نیروی  $F_2$  (به دلیل هندسه اتصال، طول جوش این نیرو مشخص است).

$$L_{w2} = 8 \text{ cm} \text{ برابر عرض نبشی}$$

$$P_2 = R_{nw}^* \times L_{w2} = 801.7 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}} \times 8 \text{ cm} = 6413.6 \text{ kgf}$$

معادلات اصلی تعادل

$$\Sigma M_O = 0 \rightarrow P_1 = \frac{P_u e}{d} - \frac{P_2}{2} = \frac{26568 \text{ kgf} \times 2.26 \text{ cm}}{8 \text{ cm}} - \frac{6413.6 \text{ kgf}}{2} = 4298.66 \text{ kgf}$$

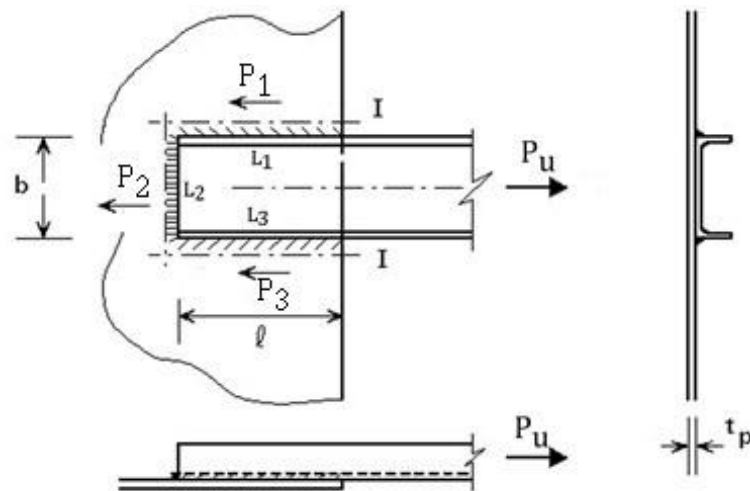
$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow P_3 = P_u \left(1 - \frac{e}{d}\right) - \frac{P_2}{2} = 26568 \text{ kgf} \times \left(1 - \frac{2.26 \text{ cm}}{8 \text{ cm}}\right) - \frac{6413.6 \text{ kgf}}{2} = 15855.74 \text{ kgf}$$

$$L_{w1} = \frac{P_1}{R_{nw}^*} = \frac{4298.66 \text{ kgf}}{801.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}} = 5.36 \text{ cm} \rightarrow \text{use } L_{w1} = 6 \text{ cm}$$

$$L_{w3} = \frac{P_3}{R_{nw}^*} = \frac{15855.74}{801.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}} = 19.78 \text{ cm} \rightarrow \text{use } L_{w3} = 20 \text{ cm}$$

## ۱۱-۸-۲ طراحی جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی خالص

اتصالات جوش گوشه معمولاً تحت اثر نیروی برشی خالص قرار می‌گیرند. برای محاسبه تنش برشی نهایی ایجاد شده در جوش گوشه ( $f_{uv}$ ) تحت اثر برش خالص، مطابق ۱۱-۱۸ نیروی برشی نهایی به سطح مقطع موثر جوش تقسیم می‌شود. البته برای آنکه مجموعه جوش‌های گوشه تحت برش خالص یکسان قرار گیرد، نیروی  $P_u$  باید از محل مرکز سطح جوشها عبور نماید، در غیر اینصورت تنش‌های اضافی در جوش ایجاد می‌شود. نمونه‌ای از اتصال با جوش تحت برش خالص در شکل ۱۱-۳۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۱-۳۶ جوش گوشه تحت اثر تنش برشی خالص

مطابق ۱۱-۱۰ برای جوش گوشه تحت اثر نیروی برشی خالص، کنترل جوش بر اساس مصالح فلز پایه و مصالح فلز جوش انجام می‌گردد. کنترل جوش بر اساس مصالح فلز پایه توسط روابط برش مقاطع انجام می‌شود. کنترل جوش بر اساس مصالح فلز جوش، توسط

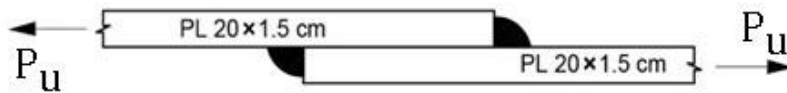
محاسبه نیروی برشی ضریب‌دار بر واحد طول جوش و مقایسه آن با ارزش جوش (مقاومت برشی اسمی واحد طول جوش)، مطابق ۱۱-۱۸ امکان‌پذیر است.

$$f_{uv}^* = \frac{P_u}{L_w} \leq \phi F_{nw} t_e \quad 11-18$$

در رابطه فوق  $L_w$  مجموع طول جوش‌های گوشه ( $L_w = L_1 + L_2 + L_3$ ) منظور می‌گردد.

### مثال ۹-۱۱

اتصال شکل ۱۱-۳۷ با استفاده از الکتروود مصرفی E60 و بررسی جوش در محل توسط افراد مجرب، انجام شده است. جوش اتصال را طراحی کنید.



شکل ۱۱-۳۷ نمایش اتصال مثال

حل:

تعیین ظرفیت اتصال بر اساس مقاومت تسلیم تسمه‌ها

$$P_u \leq 0.9 F_y A_g = 0.9 \times 2400 \frac{Kgf}{cm^2} \times (20^{cm} \times 1.2^{cm}) = 51840 \text{ kgf}$$

محاسبه سطح جوش

$$A_{we} = t_w l_w = (1)(2 \times 20) = 40 \frac{cm^2}{cm}$$

نیروی برشی در واحد طول جوش (با فرض ضخامت واحد)

$$f_v^* = \frac{P_u}{l_w} = \frac{64800 \text{ Kgf}}{40} = 1620 \frac{Kgf}{cm}$$

(جهت اطلاع) تنش برشی در جوش (با فرض ضخامت واحد)

$$f_v = \frac{P_u}{t_e l_w} = \frac{64800 \text{ Kgf}}{1 \times 40} = 1620 \frac{Kgf}{cm^2}$$

با توجه به استفاده از الکتروود E60

$$E60 \rightarrow F_{ue} = 420 \text{ MPa} \cong 4200 \frac{Kgf}{cm^2}$$

طبق **Error! Reference source not found.** برای جوش گوشه برشی

$$\phi = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 F_{ue} = 0.6 \times 4200 = 2520 \frac{kg}{cm^2}$$

محاسبه مقاومت جوش در طول واحد (ارزش جوش)

$$R_{nw}^* = F_{nw} t_e = F_{nw} \times 0.707 a_w = 2520 \frac{kg}{cm^2} \times (0.707 a_w)^{cm} = 1781.64 a_w \left( \frac{Kgf}{cm} \right)$$

$$f_v^* = 1620 \frac{Kgf}{cm} \leq \phi R_n^* = 0.75 \times 1781.64 a_w = 1336.23 a_w \rightarrow a_w \geq 1.21^{cm}$$

با توجه به اینکه ضخامت ورق اتصال ۱/۲ سانتیمتر است، بعد جوش به دست آمده قابل قبول نیست. بنابراین باید ظرفیت اتصال براساس حداکثر بعد جوش مجاز تعیین گردد و سپس اختلاف ظرفیت با استفاده از جوش انگشترانه و کام تامین شود.

$$a_w^2 \leq a_w^{max} = t - 2mm = 12 - 2 = 10mm$$

فرض می شود:

$$\rightarrow \text{try } a_w = 10mm$$

محاسبه نیروی طراحی جوش گوشه در واحد طول با نماد  $\phi R_{nw}^*$  و نیروی طراحی جوش انگشترانه با نماد  $\phi^{(plug)} R_{nw}^{(plug)}$

$$R_{nw}^* = 1781.64 a_w = 1781.64 * 1cm = 1781.64 \frac{Kgf}{cm}$$

$$P_u \geq f_v \times l_w \leq \phi R_{nw}^* \times l_w + \phi^{(plug)} R_{nw}^{(plug)}$$

$$\rightarrow 1620 \frac{Kgf}{cm} * 40cm \leq 1781.64 \frac{Kgf}{cm} * 40cm + \phi^{(plug)} R_{nw}^{(plug)}$$

$$\rightarrow \phi^{(plug)} R_{nw}^{(plug)} \geq 11352 Kgf$$

این اختلاف، باید به وسیله جوش انگشترانه تامین شود.

**Error! Reference source not found.** تعیین تنش مقاوم اسمی جوش انگشترانه طبق

$$\phi^{(plug)} = 0.75$$

$$F_{nw} = 0.6 F_{ue} = 0.6 * 4200 = 2520 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$R_{nw}^{(plug)} = F_{nw} A_w^{(plug)} = 0.75 * 2520 * \left( 2 * \frac{\pi D^2}{4} \right) = 2968.8 D^2 (Kgf)$$

$$\phi R_{nw}^{(plug)} \geq 11352 Kgf \rightarrow 0.75 * 2968.8 D^2 \geq 11352 Kgf \rightarrow D \geq 2.25 cm$$

از دو انگشترانه به قطر ۲۴ میلیمتر استفاده می شود.

کنترل های هندسی در جوش انگشترانه به شرح زیر صورت می پذیرد.  $t_w$  ضخامت جوش انگشترانه است.

$$t_{plate} < 16 mm \rightarrow t_w = t_{plate} = 15 mm$$

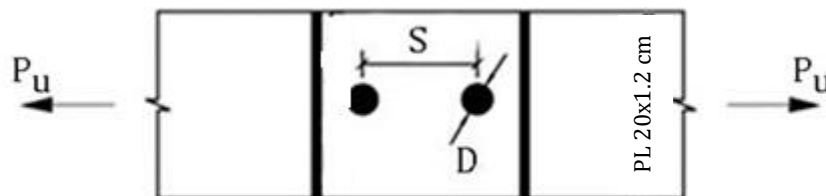
$$t_{plate} + 0.8cm \leq D \leq \max(2.25t_w, t_{plate} + 1.1cm) \Rightarrow 1.5 + 0.8 = 2.3cm \leq 2.4cm \leq 2.25 * 1.5 = 3.38cm$$

$$S \geq 4D = 4 * 2.4 = 9.6cm \rightarrow S = 10.0 cm$$

کنترل طول همپوشانی دو تسمه ( $L_d$ )

$$L_d \geq \max(5t_{min}, 2.5cm) \Rightarrow L_d \geq \max(5 * 1.2cm = 6cm, 2.5cm) = 6 cm ok$$

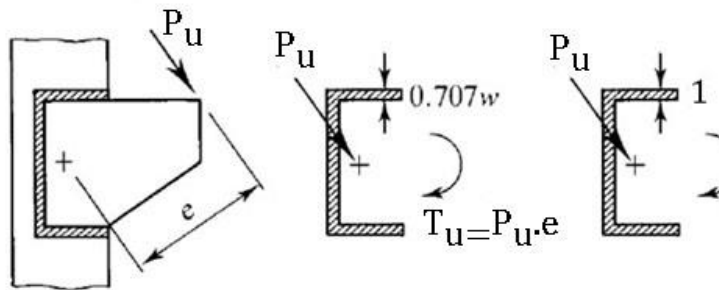
در شکل ۱۱-۳۸ نمایی از این اتصال نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۳۸ نمایش وضعیت قرارگیری جوشهای انگشترانه

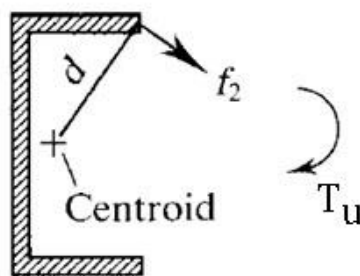
### ۱۱-۸-۳ طرح جوش تحت اثر برش و پیچش

در اتصال شکل ۱۱-۳۹ نیروی وارد شده بر مساحت هاشور خورده جوش اعمال می‌شود که دارای ضخامت جوش  $t_e = 0.707a_w$  می‌باشد. با فرض ضخامت جوش واحد ( $t_e = 1$ )، محاسبات طبق مراحل زیر ساده‌تر شده و نهایتاً برای بدست آوردن نیروی مقاومت واقعی جوش، مقاومت واحد ضخامت جوش در  $0.707a_w$  ضرب می‌گردد.



شکل ۱۱-۳۹ بارگذاری برشی و پیچشی و فرض بعد جوش واحد

نیروی اعمالی  $P_u$  با خروج از مرکزیت  $e$  (نسبت به مرکز جوش) معادل نیروی  $P_u$  بدون خروج از مرکزیت به همراه پیچش  $T_u$  می‌باشد. نیروی  $P_u$  بر کل جوش با مساحت  $A_w = L_w * t_e = l_w$  وارد می‌گردد (فرض ضخامت واحد جوش) و تنش برشی ایجاد شده برابر  $f_u^{(P)} = \frac{P_u}{L}$  است (ضخامت جوش واحد فرض شده است). این تنش دارای دو مؤلفه  $f_{ux}^{(P)} = \frac{P_{ux}}{L}$  و  $f_{uy}^{(P)} = \frac{P_{uy}}{L}$  می‌باشد. پیچش  $T_u$  در مقطع ایجاد تنش برشی می‌نماید که در هر نقطه قابل محاسبه است. چنانچه مشخص گردید ابتدا باید مختصات مرکز جوش (CG) محاسبه شود. جهت درک بیشتر به شکل ۱۱-۴۰ توجه شود.

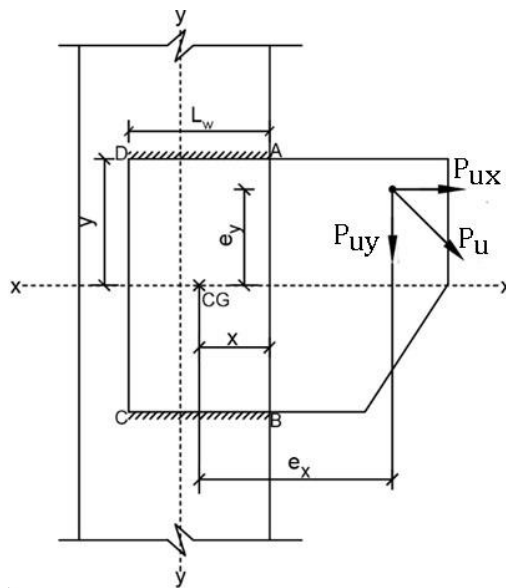


شکل ۱۱-۴۰ پیچش در جوش

تنش ناشی از پیچش  $T_u$  در هر نقطه از جوش، با استفاده از فرمول پیچش  $f_u^{(T)} = \frac{T_u \cdot d}{J}$  قابل محاسبه است (J لنگر اینرسی قطبی مقطع جوش با فرض ضخامت واحد است). این تنش نیز به طور مشابه، دارای مؤلفه‌های  $f_{ux}^{(T)} = \frac{T_u \cdot y}{J}$  و  $f_{uy}^{(T)} = \frac{T_u \cdot x}{J}$  می‌باشد. نهایتاً تنش برشی حاصل از ۱۱-۱۹ بدست می‌آید.

$$f_u = \sqrt{(\sum f_x)^2 + (\sum f_y)^2} \quad 11-19$$

شکل ۱۱-۴۱ نمونه دیگری از اتصال را نشان می‌دهد که تحت اثر نیروی مایل  $P_u$  قرار دارد.



شکل ۱۱-۴۱ اتصال جوشی تحت برش و پیچش

در این اتصال جوشهای گوشه مجموعاً دارای مساحت  $A_w$  هستند. تحت اثر نیروی برشی نهایی افقی  $P_{ux}$  تنش برابر  $f_{ux}^{(P)}$  و تحت اثر نیروی برشی نهایی قائم  $P_{uy}$  تنش برابر  $f_{uy}^{(P)} = \frac{P_{uy}}{A_w}$  ایجاد می‌شود. با توجه به مؤلفه‌های نیرو و فاصله آنها تا مرکز جوش یعنی  $e_x$  و  $e_y$  لنگر پیچشی نهایی از رابطه  $T_u = P_{ux} \cdot e_y + P_{uy} \cdot e_x$  محاسبه می‌گردد. در نتیجه لازم است ابتدا مختصات مرکز جوش (CG) محاسبه شود.

پس از محاسبه لنگر پیچشی نهایی  $T_u$  مؤلفه‌های تنش ناشی از لنگر پیچشی در نقطه بحرانی توسط ۱۱-۲۰ و ۱۱-۲۱ محاسبه می‌شوند. نقطه بحرانی جوش، نقطه‌ای است که فاصله بیشتری نسبت به سایر نقاط از مرکز ثقل جوش دارد و همچنین تنشهای ناشی از برش و پیچش در آن هم جهت هستند. در شکل ۱۱-۴۱ نقطه بحرانی است.

$$f_{ux}^{(T)} = \frac{T_u Y}{I_p} \quad ۲۰-۱۱$$

$$f_{uy}^{(T)} = \frac{T_u X}{I_p} \quad ۲۱-۱۱$$

$Y$  فاصله از مرکز ثقل جوش تا نقطه بحرانی در راستای محور  $y$

$X$  فاصله از مرکز ثقل جوش تا نقطه بحرانی در راستای محور  $x$

$T_u$  لنگر نهایی پیچشی

$$I_p = I_x + I_y \text{ برابر اینرسی قطبی برابر}$$

در اتصال شکل ۱۱-۴۱ داریم:

$$I_x = 2 \left[ \frac{L_w (t_e)^3}{12} \right] + 2 [L_w t_e y^2] = 2 t_e L_w y^2$$

$$I_y = 2 \left[ \frac{t_e (L_w)^3}{12} \right] = \frac{1}{6} t_e L_w^3$$

$$I_p = \frac{t_e L_w}{6} [12 y^2 + L_w^2]$$

مقدار لنگر اینرسی قطبی  $I_p$  برای شکلهای متداول اتصالات جوشی با فرض ضخامت موثر واحد، در جدول ۱۱-۶ ارائه شده است. با توجه به روابط جدول خواهیم داشت:

$$b = l_w, d = 2Y$$

$$I_p = \frac{b}{6}[3d^2 + b^2]$$

برآیند تنشها با فرض ضخامت جوش واحد بدست می آید.

$$f_u^1 = f_{ur}^{(t_e=1)} = \sqrt{(f_{ux})^2 + (f_{uy})^2} = \quad ۲۲-۱۱$$



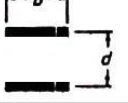
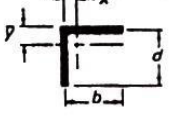
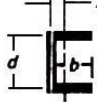
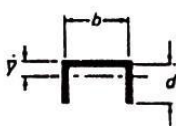
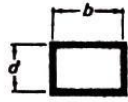



$$\sqrt{(f_{ux}^{(P)} + f_{ux}^{(T)})^2 + (f_{uy}^{(P)} + f_{uy}^{(T)})^2}$$

در صورت استفاده از مقدار دیگری برای ضخامت جوش، مقدار فوق بر  $t_e$  تقسیم می شود. با مقایسه برآیند تنشها در نقطه A (با ضخامت  $t_e$ ) با مقاومت جوش طبق ۱۱-۲۳ مجهول  $t_e$  محاسبه می شود.

$$f_u^1 = f_{ur}^{(t_e=1)} \times \frac{1cm}{t_e} \leq \frac{\phi R_{nw}^*}{t_e} = \phi F_{nw} \quad ۲۳-۱۱$$

لازم است بعد جوش بدست آمده  $a_w = \frac{t_e}{0.707}$  با مقادیر حداقل و حداکثر آیین نامه ای نیز مقایسه شود تا رابطه  $a_w^{min} \leq a_w \leq a_w^{max}$  برقرار باشد.

جدول ۱۱-۷ مشخصات هندسی جوش برای  $t_e = 1$ 

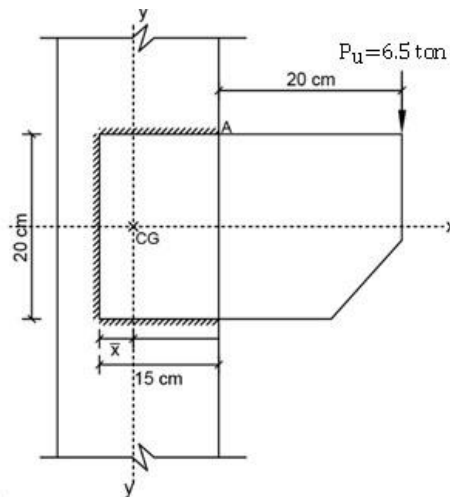
شکل مقطع b=(عرض) d=(ارتفاع)		اساس مقطع $\frac{I_x}{y}$	لنگر لختی قطبی $I_p$ حول مرکز ثقل (ارتفاع)
1. 		$S = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
2. 		$S = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 		$S = bd$	$I_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
4.  $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$ $\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$		$S = \frac{4bd + d^2}{6}$	$I_p = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
5.  $\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$		$S = bd + \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
6.  $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$		$S = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7. 		$S = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
8.  $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$		$S = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$
9. 		$S = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 3b^2d + d^3}{6}$
10. 		$S = \pi r^2$	$I_p = 2\pi r^3$

## مثال ۱۰-۱۱

اندازه جوش گوشه در اتصال شکل ۱۱-۴۲ را با فرض استفاده از الکتروود E60 و بررسی جوش در محل توسط افراد

مغرب محاسبه کنید.





شکل ۱۱-۴۲ نمایش اتصال مثال

حل:

محاسبه لنگر اینرسی قطبی به صورت مستقیم

$$A_w = (20 + 2 \times 15) t_e = 50 t_e \text{ cm}^2 \xrightarrow{t_e=1\text{cm}} A_w = 50 \text{ cm}^2$$

محاسبه مختصات مرکز جوش و خروج از مرکزیت نیروی اعمال شده نسبت به آن (با حذف جملات با ضرایب  $t_e^3$  به دلیل اثر ناچیز)

$$\bar{X} = \frac{\sum A_i \bar{X}_i}{\sum A_i} = \frac{2 \times 15 \times 7.5}{2 \times 15 + 20} = 4.5 \text{ cm} \Rightarrow e_x = 30.5 \text{ cm}$$

محاسبه لنگر اینرسی قطبی توسط روابط جدول

$$I_p = \frac{1}{12} \times 20^3 \times 1 + \frac{2}{12} \times 15 \times 1^3 + 2 \times 15 \times 1 \times 10^2 + \frac{2}{12} \times 1 \times 15^3 + 2 \times 15 \times 1 \times 3^2 + \frac{1}{12} \times 20 \times 1^3 + 20 \times 1 \times 4.5^2 = 4904 \text{ cm}^4$$

محاسبه لنگر اینرسی قطبی توسط روابط جدول

$$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d} = \frac{8 \cdot 15^3 + 6 \cdot 15 \cdot 20^2 + 20^3}{12} - \frac{15^4}{2 \cdot 15 + 20} = 4904 \text{ cm}^4$$

بار اعمالی  $T_u$  که دارای خروج از مرکزیت است، با دو بار  $P_u$  بدون خروج از مرکزیت و  $T_u$  پیچش ناشی از خروج از مرکزیت معادل است.محاسبه تنش برشی ناشی از بار قائم نهایی  $P_u$ 

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{P_{uy}}{A_w} = \frac{6500 \text{ Kgf}}{50 \text{ cm}^2} = 130 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

در این مثال نقطه A نقطه بحرانی است.

محاسبه لنگر پیچشی نهایی نسبت به نقطه A

$$T_u = P_{uy} \cdot e_x = 6500 \text{ Kgf} \cdot 30.5 \text{ cm} = 22750 \text{ Kgf.cm}$$

محاسبه مؤلفه‌های ناشی از پیچش  $T_u$  در نقطه A

$$f_{ux}^{(T)} = \frac{T_u Y_A}{I_p} = \frac{22750 \text{ Kgf.cm} \times 10 \text{ cm}}{4904 \text{ cm}^4} = 404.3 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{uy}^{(T)} = \frac{T_u X_A}{I_p} = \frac{22750 \text{ Kgf.cm} \times 10.5 \text{ cm}}{4904 \text{ cm}^4} = 424.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

محاسبه برآیند تنشها در نقطه A

$$f_u^1 = f_u^{(t_e=1)} = \sqrt{(f_{ux}^{(T)})^2 + (f_{uy}^{(P)} + f_{uy}^{(T)})^2} = \sqrt{(404.3)^2 + (130 + 424.5)^2} = 686.2 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

برآیند تنشها با فرض ضخامت جوش واحد بدست آمده است در صورت استفاده از مقدار دیگری برای ضخامت جوش، داریم:

$$f_u = f_u^1 \times \frac{1 \text{ cm}}{t_e} \leq \phi F_{nw} \rightarrow f_u^1 \leq \phi F_{nw} t_e \rightarrow f_u^1 \leq \phi R_{nw}^*$$

محاسبه تنش مقاومت جوش و مقایسه آن با برآیند تنشها در نقطه A

$$f_u^1 = 686.2 \leq \phi (0.6 F_{ue}) t_e = 0.75 \times (0.6 \times 4200) t_e = 1890 t_e$$

$$t_e \geq \frac{686.2}{1890} = 0.36 \rightarrow a_w = \frac{t_e}{0.707} \geq \frac{0.36}{0.707} = 0.51 \rightarrow use a_w = 6 \text{ mm}$$

بعد جوش لازم برای این اتصال ۶ میلیمتر در نظر گرفته می شود.

### مثال ۱۱-۱۱

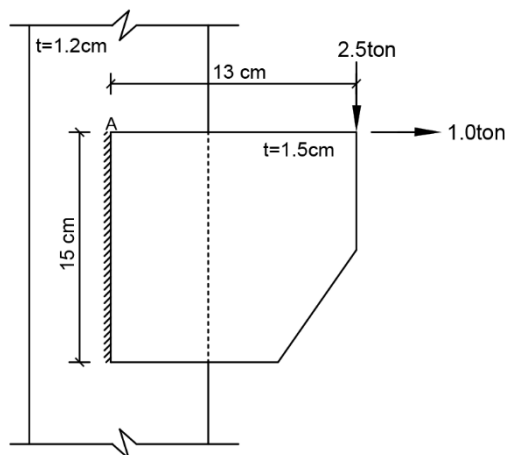
در اتصال شکل ۱۱-۴۳ از الکتروود E70 استفاده شده است. جوشکاری در کارگاه انجام شده و بازرسی چشمی نیز

صورت گرفته است. مطلوبست:

الف) تعیین اندازه جوش لازم

ب) چنانچه اندازه جوش گوشه به ۶ میلیمتر محدود شده باشد، جهت تحمل نیروهای مذکور چه راه حلی پیشنهاد

می نماید.



شکل ۱۱-۴۳ نمایش اتصال مثال

حل الف)

$$t_e = 1 \text{ cm} \text{ فرض می شود}$$

$$f_{ux}^{(P)} = \frac{P_{ux}}{A_w} = \frac{1000}{15} = 66.7 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{P_{uy}}{A_w} = \frac{2500}{15} = 166.7 \frac{kg}{cm^2}$$

$$T_u = P_{ux}e_y + P_{uy}e_x = 1000 \times 7.5 + 2500 \times 13 = 40'000 \text{ kg.cm}$$

از جدول ۷-۱۱،  $I_p$  برابر است با:

$$I_p = \frac{d^3}{12} = \frac{15^3}{12} = 281.25 \text{ cm}^4$$

نقطه A در شکل ۱۱-۴۳ بحرانی است.

$$f_{ux}^{(T)} = \frac{T_u y}{I_p} = \frac{40000 \times 7.5}{281.25} = 1066.7 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_u^1 = \sqrt{(f_{ux}^{(P)} + f_{ux}^{(T)})^2 + (f_{uy}^{(P)})^2} = \sqrt{(66.7 + 1066.7)^2 + (166.7)^2} = 1145.6 \frac{kg}{cm^2}$$

$$R_{nw}^* = (0.6F_{ue})t_e = 0.6 \times 4900 \times 0.707a_w = 2078.58 a_w$$

$$f_u^1 = 1145.6 \leq 0.75 * 2078.58 a_w \rightarrow a_w \geq 0.74 \text{ cm} \rightarrow \text{use } a_w = 8 \text{ mm}$$

$$a_w^{\min} = 5 \text{ mm} \leq a_w = 8 \text{ mm} \leq a_w^{\max} = \min(t - 2 = 13 \text{ mm}, 12 \text{ mm}) = 12 \text{ mm}$$

(حل ب)

وقتی بعد جوش به ۶ میلیمتر محدود شده است، می‌توان برای تحمل نیروهای مذکور از صفحه اتصال در طرفین ستون استفاده کرد که با این کار نیروهای موجود نصف می‌شود.

$$f_{ux}^{(P)} = \frac{1000}{2 \times 15} = 33.3 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{2500}{2 \times 15} = 83.3 \frac{kg}{cm^2}$$

$$T_u = 20000 \text{ kg.cm}$$

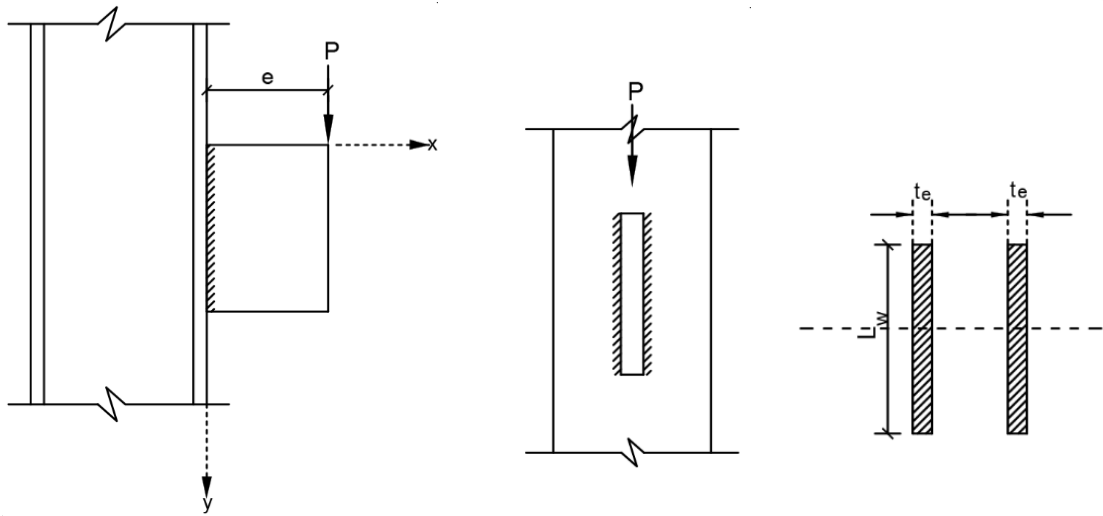
$$f_{ux}^{(T)} = \frac{T_u y}{I_p} = \frac{20000 \times 7.5}{281.25} = 533.3 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_u^1 = \sqrt{(33.3 + 533.3)^2 + 83.3^2} = 572.7 \leq 1169.2 a_w$$

$$\rightarrow a_w \geq 0.49 \text{ cm} \rightarrow \text{use } a_w = 6 \text{ mm}$$

#### ۱۱-۸-۴ طرح جوش تحت اثر برش و خمش

در بعضی اتصالات، جوشهای گوشه تحت اثر توام برش و خمش قرار می‌گیرند. شکل ۱۱-۴۴ اتصال یک ورق به بال ستون را نشان می‌دهد که تحت اثر نیروی P با خروج از مرکزیت e قرار دارد. جوشهای گوشه در محل اتصال باید نیروی برشی P و لنگر خمشی برابر P.e را تحمل نمایند. شکل ۱۱-۴۵ نمایشگر تغییرات برشی و خمشی در جوش است. باید توجه داشت که حداکثر تنش برشی و حداکثر تنش خمشی در یک محل از جوش اتفاق نمی‌افتند، اما به منظور ساده کردن محاسبات، فرض می‌شود تنش برشی همانند شکل ۱۱-۴۵-ج توزیع می‌گردد. سپس حداکثر تنش خمشی با تنش برشی جمع برداری می‌گردد.

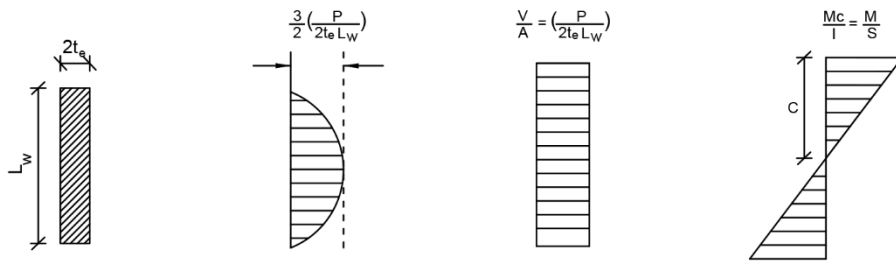


الف- نمایی از اتصال تحت برش و خمش

ب- مقطع اتصال

ج- وضعیت جوش ها

شکل ۱۱-۴۴ اتصال جوشی تحت اثر برش و خمش



الف) مقطع جوش (ب) توزیع واقعی تنش برشی (ج) توزیع فرضی تنش برشی (د) توزیع تنش خمشی

شکل ۱۱-۴۵ تنش روی خطوط قائم جوش تحت برش و خمش

تنش برشی قائم برابر است با:

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{P_u}{A_w} = \frac{P_u}{2L_w} \quad ۲۴-۱۱$$

تنش برشی افقی در جوش ناشی از خمش در ناحیه کششی عبارت است از:

$$f_{ux}^{(M)} = \frac{M_u}{S} = \frac{P_u e}{2 \left(\frac{L_w^2}{6}\right)} = \frac{3P_u e}{L_w^2} \quad ۲۵-۱۱$$

برآیند تنشها به صورت ۱۱-۲۶ بدست می آید:

$$f_u^1 = \sqrt{(f_{ux}^{(M)})^2 + (f_{uy}^{(P)})^2} \leq \phi R_{nw}^* = \phi F_{nw} t_e \quad ۲۶-۱۱$$

در این قسمت نیز مشابه اتصال تحت اثر برش و پیچش می‌توان با فرض  $t_e = 1^{cm}$  مقادیر اساس مقطع را برای شکل‌های معمولی جوش از جدول ۷-۱۱ استخراج نمود. سپس با تعیین  $f_u^1$  برای ضخامت واحد، آن را مساوی ارزش جوش قرار داده و ضخامت موثر مورد نیاز محاسبه شود.

لازم به ذکر است در حالتی که جوش تحت خمش قرار گیرد، کنترل تنش برشی در جوش گوشه (ناحیه کششی) صورت می‌پذیرد. بدیهی است در ناحیه فشاری دو سطح مورد نظر به یکدیگر فشار وارد می‌کنند و جوش در ناحیه فشاری تعیین کننده نخواهد بود.

### ۱۱-۸-۵ تخمین طول جوش تحت اثر لنگر خمشی

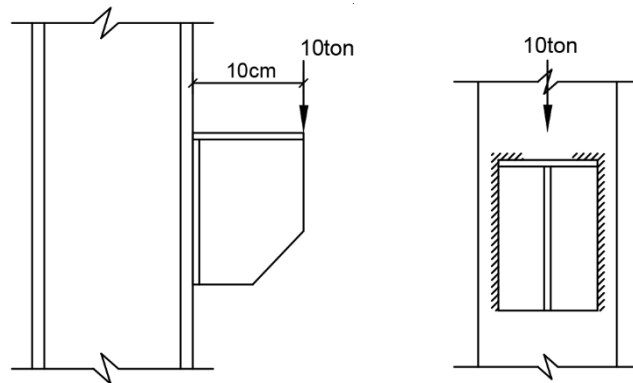
برای تخمین طول جوش گوشه مورد نیاز، در اتصالاتی که تحت اثر لنگر خمشی به علت نیروی خارج از مرکز می‌باشند، می‌توان روش زیر را به کار برد. اگر  $f_{T1}$  برآیند تنش‌های وارده بر جوش باشد، برای لنگری که تنها روی یک خط جوش اثر کرده، می‌توان نوشت:

$$f_u^{(1)} = \frac{M_u}{S} = \frac{M_u}{\frac{t_e l_w^2}{6}} \leq \phi R_{nw}^* = \phi F_{nw} t_e \quad ۲۷-۱۱$$

لازم به ذکر است که ۲۷-۱۱ فقط برای لنگر خمشی صادق است. بنابراین مقدار طول جوشی را که از این رابطه بدست می‌آید باید برای به حساب آوردن اثر برش مستقیم افزایش داد.

### مثال ۱۱-۱۲

در اتصال شکل ۱۱-۴۶ چنانچه بعد جوش ۱۰ میلی‌متر و الکتروود مصرفی E60 و بررسی جوش در محل توسط افراد مجرب در نظر گرفته شود، طول جوش لازم را تعیین نمایید.



شکل ۱۱-۴۶ نمایش اتصال مثال

حل:

$$M_u = P_{uy} \times e_x = 10000^{Kgf} \times 10^{cm} = 10^5 \text{ Kgf.cm}$$

$$f_u^{(1)} = \frac{M_u}{S} = \frac{M_u}{\frac{2t_e l_w^2}{6}} = \frac{10^5}{\frac{2 * 1^{cm} * l_w^2}{6}} \leq R_{nw}^*$$

$$R_{nw}^* = F_{nw} t_e = (0.6 \times 4200) \times (0.707^{cm}) = 1781.64 \frac{Kgf}{cm}$$

اگر جوش فقط تحت اثر خمش باشد طول جوش به صورت زیر تخمین زده می شود:

$$\frac{10^5}{2 * 1 \text{ cm} * l_w^2} \leq 1781.64 \rightarrow l_w^2 \geq \frac{6 * 10^5}{2 * 1 * 1781.64} = 224.5 \rightarrow l_w > 12.98 \text{ cm}$$

به دلیل اینکه اتصال تحت برش نیز قرار دارد، طول جوش تخمین زده شده مقداری افزایش می یابد.

با فرض  $t_e$  واحد،  $A_w$  محاسبه شده است.

$$L_w = 20 \text{ cm}$$

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{P_{uy}}{A_w} = \frac{10 * 10^3}{2 * 20} = 250 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S = \frac{2t_e L_w^2}{6} \xrightarrow{t_e=1 \text{ cm}} S = \frac{L_w^2}{3} = \frac{20^2}{3} = 133.33 \text{ cm}^3$$

$$f_{ux}^{(M)} = \frac{M_u}{S} = \frac{1 * 10^5}{133.33} = 750.0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_u^1 = \sqrt{(f_{uy}^{(P)})^2 + (f_{ux}^{(M)})^2} = \sqrt{(250)^2 + (750.0)^2} = 790.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_u^1 \leq \phi F_{nw} t_e = 790.6 \leq 1336.23 t_e \Rightarrow t_e \geq 0.59 \text{ cm}$$

$$a_w \geq \frac{t_e}{0.707} = 0.84 \text{ cm} \rightarrow a_w = 0.9 \text{ cm}$$

بنابراین طول جوش تخمین زده شده برای این اتصال مناسب است.

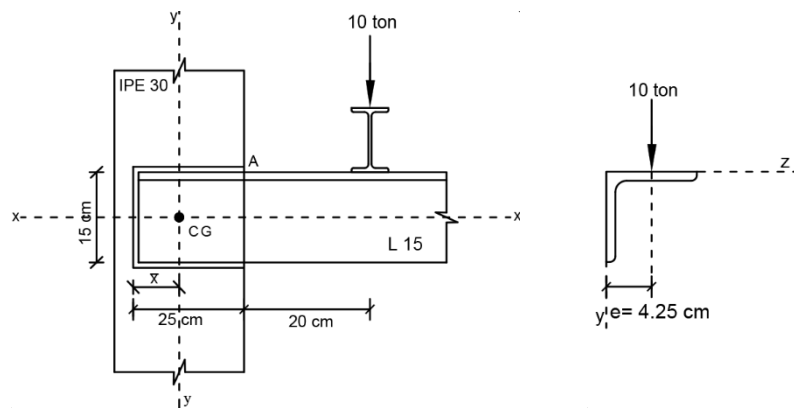
### مثال ۱۱-۱۳

در اتصال شکل ۱۱-۴۷ چنانچه از الکتروود E70 و جوش کارگاهی با بازرسی چشمی استفاده گردد، مطلوبست:

الف) تعیین اندازه جوش لازم

ب) تعیین اندازه جوش لازم در صورتی که از یک نبشی دیگر (با مشخصات مشابه) و اتصال به بال دیگر ستون

استفاده گردد.



شکل ۱۱-۴۷ نمایش اتصال مثال

## حل الف)

لنگر اینرسی قطبی مقطع جوش از جدول ۷-۱۱ فرض می شود (جدول ۷-۱۱)  $t_e = 1\text{cm}$

$$\bar{X} = \frac{b^2}{2b+d} = \frac{25^2}{2 \times 25 + 15} = 9.6\text{cm}$$

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{P_u}{A_w} = \frac{10 \times 10^3}{(25 \times 2 + 15)} = 153.85 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$e_x = (25 - 9.6) + 20 = 35.4\text{cm}$$

$$T_u = P_{uy}e_x = 10 \times 10^3 \times 35.4 = 3.54 \text{tof.m}$$

لنگر اینرسی قطبی مقطع جوش از جدول ۷-۱۱ برابر است با:

$$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$$

$$I_p = \frac{8 \times 25^3 + 6 \times 25 \times 15^2 + 15^3}{12} - \frac{25^4}{2 \times 25 + 15} = 7500.8\text{cm}^4$$

نقطه A، نقطه بحرانی برای محاسبه تنشهای ناشی از پیچش است:

$$f_{ux}^{(T)} = \frac{T \cdot y_A}{I_p} = \frac{3.54 \times 10^5 \times 7.5}{7500.8} = 354.0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{uy}^{(T)} = \frac{T \cdot x_a}{I_p} = \frac{3.54 \times 10^5 \times 15.4}{7500.8} = 726.8 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

اساس مقطع جوش از جدول ۷-۱۱ برابر است با:

$$S = bd + \frac{d^2}{6} = 25 \times 15 + \frac{15^2}{6} = 412.5\text{cm}^3$$

$$f_{uz}^{(M)} = \frac{M_u}{S} = \frac{0.425 \times 10^5}{412.5} = 103 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

در این قسمت از ناحیه فشاری نبشی در خمش صرفنظر شده است.

$$f_u^1 = \sqrt{(f_{ux}^{(T)})^2 + (f_{uy}^{(P)} + f_{uy}^{(T)})^2 + (f_{uz}^{(M)})^2} = \sqrt{(354.0)^2 + (726.8 + 153.85)^2 + (103)^2}$$

$$= 954.7 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$R_{nw}^* = (0.6F_{ue})t_e = 0.6 \times 4900 \times 0.707a_w = 2078.6 a_w$$

$$f_{ur} \leq \phi R_{nw}^* \rightarrow 954.7 \leq 0.75 * 2078.6 a_w \rightarrow a_w \geq 0.61\text{cm} \rightarrow \text{use } a_w = 8\text{mm}$$

$$a_w^{\min} = 5\text{mm} \leq a_w = 8\text{mm} \leq a_w^{\max} = t_f^{(IPE)} = 10.7\text{mm}$$

بعد جوش بدست آمده در محدوده مجاز قرار دارد.

## حل ب)

در صورت استفاده از دو نبشی در طرفین ستون، مؤلفه خمش از محاسبات حذف می شود زیرا خروج از محوری  $e=4.25\text{cm}$  برای بار

10ton از بین می رود و نیرو نیز بین دو نبشی تقسیم می شود:

$$f_{uy}^{(P)} = \frac{P_u}{A_w} = \frac{10 \times 10^3}{2 \times 65} = 76.9 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_{ux}^{(T)} = \frac{T_{uy}}{I_p} = \frac{3.54 \times 10^5 \times 7.5}{2 \times 7500.8} = 177.0 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_{uy}^{(T)} = \frac{T_{ux}}{I_p} = \frac{3.54 \times 10^5 \times 15.4}{2 \times 7500.8} = 363.4 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_u^1 = \sqrt{(f_{ux}^{(T)})^2 + (f_{uy}^{(P)} + f_{uy}^{(T)})^2} = \sqrt{(177.0)^2 + (76.9 + 363.4)^2} = 474.56 \frac{kg}{cm^2}$$

$$R_{nw} = 2078.6 a_w$$

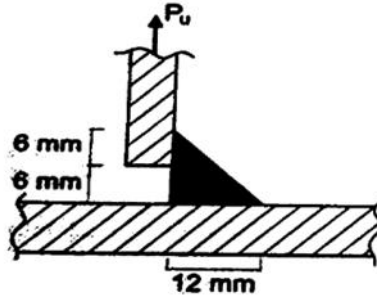
$$f_u^1 = 474.56 \leq \phi R_{nw} = 0.75 * 2078.6 a_w \rightarrow a_w \geq 0.30^{cm} \rightarrow use a_w = 6^{mm}$$

$$a_w^{min} = 5^{mm} \leq a_w = 6^{mm} \leq a_w^{max} = t_f^{(IPE)} = 10.7^{mm}$$



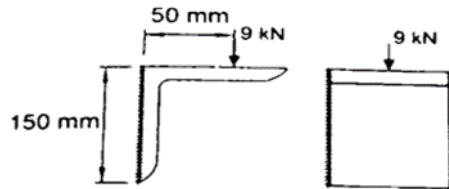
## ۱۱-۹ تستهای فصل یازدهم

۱. به لحاظ محاسباتی ، ضخامت گلوگاه موثر جوش گوشه نشان داده شده در شکل زیر بر حسب میلی متر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک است ؟ ( اردیبهشت ۹۲ )



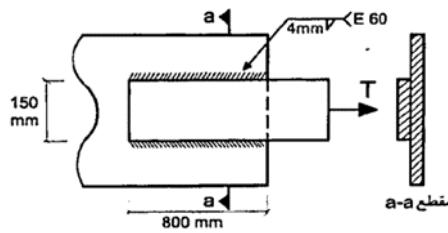
- (1) 8.5  
(2) 4.2  
(3) 5.4  
(4) 6

۲. حداکثر تنش بر اساس روش الاستیک ، بر حسب MPa در جوش اتصال ساده با نبشی نشیمن انعطاف پذیر به کدام یک نزدیک تر است ؟  $t$  برابر واحد فرض شود . همچنین در محاسبات فقط جوش در نظر گرفته شده و از تاثیر اتکا نبشی صرف نظر شود ( اردیبهشت ۹۷ )



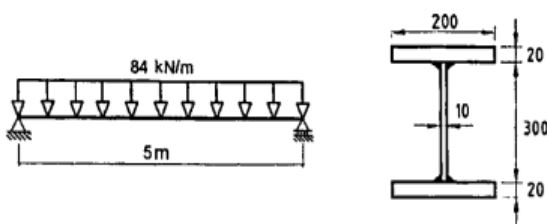
- (1) 134  
(2) 60  
(3) 67  
(4) 90

۳. مقاومت اسمی اتصال جوشی شکل زیر به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر است ؟ کنترل فلز پایه مد نظر نبوده و ضریب بازرسی جوش را واحد در نظر بگیرید. ( اسفند ۹۵ )



- (1) 912  
 (2) 1140  
 (3) 1290  
 (4) 1612

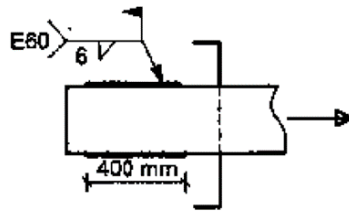
۴. در صورتی که جوش های گوشه دو طرفه اتصال جان به بال ها پیوسته و بعد ساق جوش برابر  $a$  باشد و مقاومت طراحی هر خط جوش برابر  $۸۰$  نیوتن بر میلی متر باشد، حداقل بعد جوش بر حسب میلی متر کدام است؟ بار وارد بر تیر ضریب دار فرض شود. (اسفند ۹۵)



- (1) 8  
 (2) 6  
 (3) 5  
 (4) 4

۵. برای اتصال انتهایی یک تسمه کششی که به صورت محوری بارگذاری شده است، در امتداد طول تسمه از دو ردیف جوش گوشه هریک به طول  $۷۵۰$  میلی متر و بعد  $۵$  میلی متر استفاده شده است. طول موثر هر ردیف جوش به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (محاسبات مرداد ۹۴)

۶. برای اتصال یک عضو کششی، با فرض انجام جوش در محل بازرسی چشمی توسط بازرس ذیصلاح جوش جزییات زیر ارائه شده است. در صورتیکه جوش در کارخانه وبا استفاده از الکتروود E70 انجام شود و سایر مشخصات بدون تغییر بماند، به جای  $L=400$  mm برای هر خط جوش حداقل طولی که میتوان در نظر گرفت به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ فرض کنید سایر محدودیت ها حاکم بر طراحی نمی باشد.



300 mm(1)

260 mm(2)

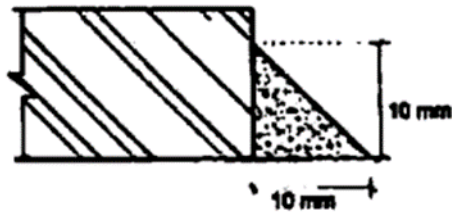
350 mm(3)

330 mm(4)

۷. در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت اسمی جوش گوشه نشان داده شده در شکل برای ۱۰ میلی متر

طول جوش کدام است؟ جوشکاری در محل بوده و جوش توسط بازرس جوش بازرسی چشمی میشود. الکتروود E70

است. (آذر ۹۲)



۲۲,۰۵ (د)

۲۰,۸ (ج)

۱۵,۶ (ب)

۱۳,۴ (الف)

## ۱۱-۱۰ مسائل فصل یازدهم

توجه:

- فولاد مصرفی پروفیلها ST37 می باشد.

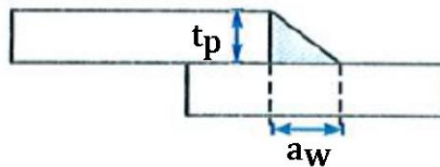
- پارامتر  $\kappa$  طبق مقادیر اعلام شده فرض می شود که در محدوده زیر قرار دارد:

$$15 \leq \kappa \leq 40$$

### تمرین ۱۱-۱

چنانچه در اتصال پوشی دو قطعه جوشی با شکل زیر در نظر گرفته شود، ضخامت موثر گلوگاه چقدر می باشد؟

$$t_p = \kappa \text{ (mm)}, a_w = 20 \text{ (mm)}$$

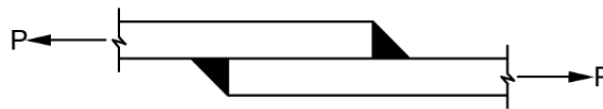


### تمرین ۱۱-۲

اتصال جوشی مطابق شکل زیر بین دو ورق با ابعاد PL 200\*20mm با نیروی کششی نهایی P بارگذاری شده است.

اندازه بعد جوش لازم را بدست آورید. از الکتروود E60 و جوش کارگاهی با بازرسی چشمی استفاده می شود.

$$P = \kappa \text{ (ton)}$$

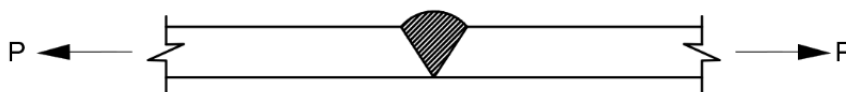


### تمرین ۱۱-۳

دو صفحه با عرض 300 mm و ضخامت  $t$  مطابق شکل زیر با جوش لب به هم متصل هستند. ظرفیت کششی نهایی

اتصال ( $P$ ) را بدست آورید.

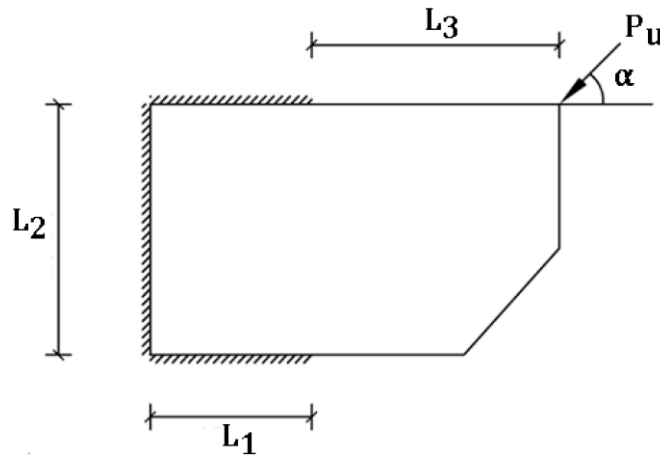
$$t = \kappa \text{ (mm)}$$



## تمرین ۱۱-۴

ورق لچکی منفرد جوش داده شده به ستون شکل زیر در نظر است. مطلوب است طرح جوش از الکتروود E70 و فرض جوش در محل.

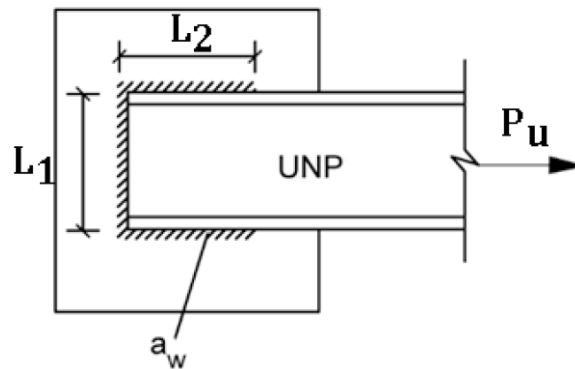
$$L_1 = 15\text{mm}, L_2 = \kappa(\text{mm}), L_3 = 25\text{mm}, \alpha = 45^\circ, P_u = \kappa(\text{ton})$$



## تمرین ۱۱-۵

مطلوب است محاسبه ظرفیت اتصال با الکتروود E60 و بازرسی چشمی در کارگاه.

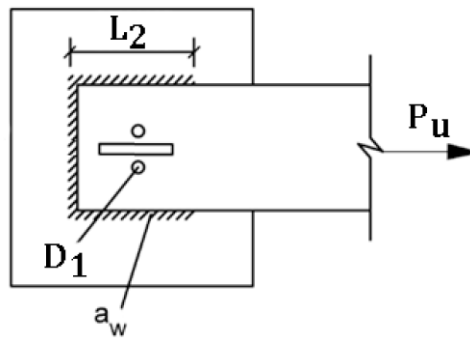
$$L_1 = 20\text{cm}, L_2 = \kappa(\text{cm}), a_w = 8\text{mm}$$



## تمرین ۱۱-۶

مطلوب است محاسبه ظرفیت اتصال ورق شکل زیر با عرض ورق  $b_p$  و ضخامت ورق  $t_p$  با الکتروود E70 و بازرسی چشمی در کارخانه. جوشهای انگشتانه به قطر  $D_1$  و جوش کام به طول  $L_w = 10\text{cm}$  و پهنای شکاف  $D_2 = 15\text{mm}$  می‌باشند. فاصله شکافهای جوش کام و سوراخ انگشتانه کنترل شود.

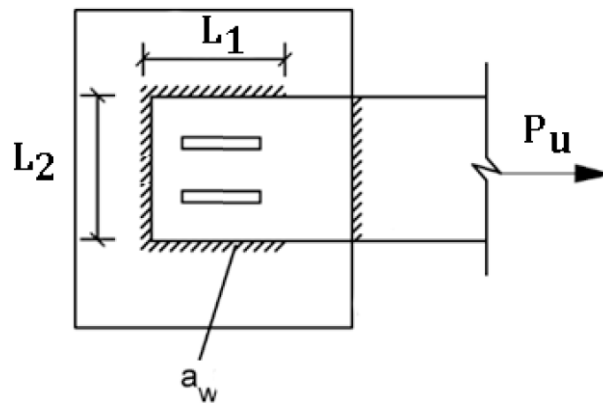
$$b_p = 20\text{cm}, t_p = 2\text{cm}, D_1 = \kappa(\text{mm}), L_2 = \kappa(\text{cm}), a_w = 10\text{mm}$$



## تمرین ۷-۱۱

مطلوب است محاسبه ظرفیت اتصال ورق با ضخامت  $t_p = 25\text{mm}$  با الکتروود E60 آزمایش غیر مخرب رادیوگرافی. جوشهای کام هر یک به طول  $L_3 = 10\text{cm}$  و پهنای شکاف  $D_w = 20\text{mm}$  می باشند.

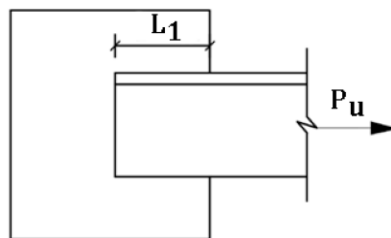
$$L_1 = \kappa(\text{cm}), L_2 = 15\text{cm}, a_w = 10\text{mm}$$



## تمرین ۸-۱۱

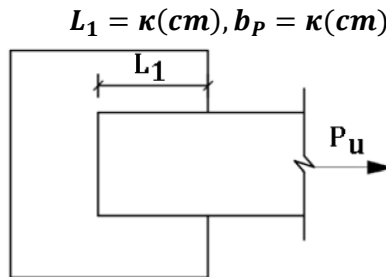
مطلوب است محاسبه جوش اتصال نبشی  $L12 \times 12 \times 1.2\text{cm}$  با استفاده از ظرفیت کششی. نوع الکتروود E60 و بازرسی چشمی در کارگاه مد نظر است.

$$L_1 = \kappa(\text{cm})$$



## تمرین ۱۱-۹

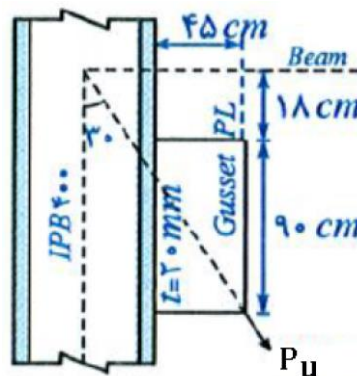
مطلوب است محاسبه جوش اتصال با استفاده از ظرفیت کششی ورق. عرض ورق  $b_p$  و ضخامت آن  $t_p = 10\text{mm}$  است. نوع الکتروود E70 و بازرسی چشمی در کارگاه مد نظر است.



## تمرین ۱۱-۱۰

در اتصال نشان داده شده حداقل بعد جوش لازم جهت اتصال ورق اتصال (Gusset plate) به بال ستون چقدر می باشد؟ نیروی نهایی موجود در مهاربند  $P_u$  و راستای آن مطابق شکل می باشد. برای ستون از نیمرخ IPB40 استفاده شده و اتصال ورق به بال ستون در کارخانه با نظارت چشمی انجام گرفته است. الکتروود مورد استفاده از نوع E60 می باشد.

$$P_u = 2\kappa(\text{ton})$$



## تمرین ۱۱-۱۱

جوش اتصال نشیمن مفصلی را برای نیروی نهایی  $P_u$  که با راستای قائم به اندازه ۲ درجه انحراف دارد، طرح نمایید. الکتروود E70 و بازرسی چشمی در کارگاه مدنظر است. فاصله محل اثر نیرو از پشت بال نبشی  $L_1$  است. مقطع نبشی  $L12x12x1.2\text{cm}$  بوده و طول نبشی  $L_2$  است.

راهنمایی: با توجه به زاویه انحراف نبشی، لازم است مقدار خروج از مرکزیت  $e$  برابر فاصله امتداد نیرو تا مرکز جوش محاسبه شود.

$$P_u = 0.25\kappa(\text{ton}), L_1 = 6\text{cm}, L_2 = 0.5\kappa(\text{cm}), d = 12\text{cm}$$

