بسم الله الرحمن الرحيم

فصل دوم

تغییر شکلهای جوشکاری وعیوب جوش

اثرهای حرارتی " Thermal Effects "

- کیفیت منطقه جوشکاری شده (حوضچه جوش ومنطقه تحت تاثیر حرارت قرار گرفته Heat Affected Zone) به عوامل زیر بستگی دارد :
- نحوهٔ نفوذ حرارت " Thermal diffusivity "
- میزان حرارت تلف شده " Heat loss "
- ضریب انتقال حرارتی " Thermal conductivity coefficient "
- شدت انرژی اعمالی " Energy intensity "
- ظرفیت حرارتی " Thermal capacity "

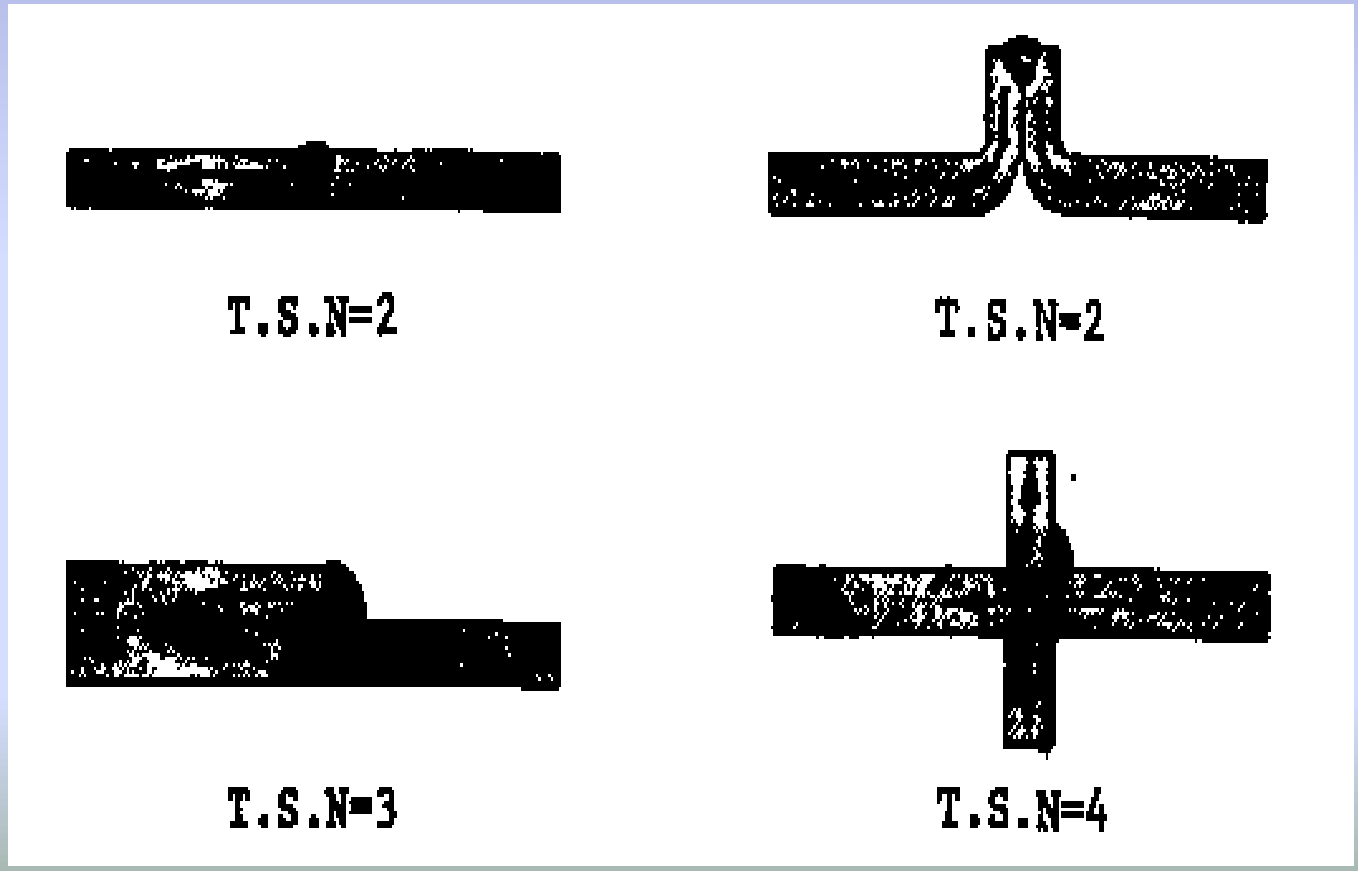
عوامل یاد شده بر روی شکل ایزوترمهای حرارتی ونحوهٔ سرد شدن وگستردگی منطقه HAZ تأثیر فراوانی می گذارد.بطور مثال در جوشکاری اکسی استیلن HAZ وسیعی ایجاد شده ، لذا راندمان انتقال حرارت کم است(حدود 30%).در صورتیکه در جوشکاری مقاومتی با فرکانس بالا منطقه HAZباریکتر،سرعت جوشکاری بیشتر وراندمان حرارتی بیشتر است.بطور مثال در جوشکاری با لیزر،بخاطر تمرکز حرارت وبالا بودن سرعت جوشکاری، منطقه HAZ بوجود نمی آیدو حتی اطراف منطقه جوشکاری شده گرم هم نمیشود.

اثر حرارت فروکش " Heat-Sink Effects "

- قطعات ضخیم قابلیت جذب حرارتی بیشتری از قطعات نازک تر دارند. ولی افت درجه حرارت در قطعات ضخیم در حوضچه جوش و یا اطراف آن به ازای هر گرم از مذاب ریخته شده در حوضچه بیشتر است.امکان ترک خوردن قطعات ضخیم در حین جوشکاری به علت بوجود آمدن فازهای ترد مثل مارتنزیت بیشتر می باشد.بخصوص در ابتدای شروع جوشکاری یا پاس اول اثرهای حرارت فروکش در موارد زیربیشترجلب نظرمی نماید.

- *درجوشکاری دو قطعه با ضخامت های متفاوت حوضچه جوش به طرف قطعه نازکتر متمایل می شود.*
- *در جوشکاری دو قطعه با جنسهای متفاوت ولی با یک ضخامت حوضچه جوش به طرف قطعه ای که ضریب انتقال حرارت کمتری دارد متمایل می شود.*
- بنابراین جوشکاری قطعات ضخیم به نازک و یا به ضریب انتقال حرارت متفاوت می تواند در حالتهای خاص سبب ذوب ناقص در یک طرف (Incomplete fusion) و درطرف دیگر پیشروی بیش از حد حوضچه جوش را به همراه داشته باشد.برای جلوگیری از چنین مشکلی تدابیر زیر را می توان اتخاذ نمود:
- *پیشگرم قطعه ای که حرارت فروکشی زیاد دارد .*
- *کاهش ضخامت قطعه ضخیم تر توسط ماشین کاری به گونه ای که بتوان حرارت فروکش قطعه ضخیم را پایین آورد.*
- *استفاده از مبرد درطرف قطعه نازکتر به گونه ای که حرارت فروکش قطعه نازکتر افزون گردد.در این حالت میزان حرارت داده شده به جوش را نیز باید افزایش داد.*
- *تغییر زاویه قوس یا (Torch)بطوری که بیشتر حرارت بطرف قطعه ضخیم منتقل شود.*
- *افزایش شدت منبع حرارتی که سبب افزایش سرعت جوشکاری و کمتر شدن حساسیت به غیر متعادل بودن حرارت فروکش می گردد.*

گاهی اوقات در محاسبات سرد شدن ازفاکتوری بنام " Thermal Severity Number " یا عدد شدت حرارتی استفاده می کنند.این عدد برابر است با مجموعه ضخامت ورق هائی که درموضع اتصال حرارت از آنها به بیرون منتقل می شود.



پیش گرمایش

- *پیش گرمایش عبارت است از گرم کردن قطعات مورد جوشکاری قبل از شروع عملیات جوشکاری.*
- عملیات پیش گرمایش جهت اهداف زیر انجام می گیرد.
- ***کنترل سرعت سرد شدن قطعه:*** *عملیات پیش گرمایش فلز پایه ،موجب کاهش شیب حرارتی بین ناحیهٔ جوش ومناطق اطراف شده ودر نتیجه سرعت سرد شدن ناحیهٔ جوش وناحیه HAZ کاهش می یابد.این امر باعث کاهش تردی وسختی ناحیه جوش وHAZ شده واز طرفی انعطاف پذیری را بالا برده واحتمال ایجاد ترک را کاهش میدهد.*
- ***جلوگیری از ترک خوردن قطعه :*** *در جوشکاری قطعات با شکل پیچیده، پیش گرمایش می تواند از ترک خوردن قطعه براثر تجمع تنشهای حرارتی جلوگیری کند.*

- ***کنترل میزان نفوذ هیدروژن در قطعه:*** *پیش گرمایش موجب خشک شدن قطعه(حذف رطوبت احتمالی قطعه) و کاهش تولید هیدروژن شده ودر نتیجه ازنفوذ هیدروژن به داخل جوش وایجاد ترک جلوگیری می نماید.*
- ***کاهش تنشهای حرارتی :*** *پیش گرمایش با عث کنترل میزان کرنش بوسیله کاهش اختلاف درجه حرارت وکاهش سرد شدن قطعه شده ودر نتیجه میزان تنش های حرارتی وپیچیدگی وتاب برداشتن قطعه کاهش می یابد.*
- ***تسهیل در عملیات جوشکاری :*** *بعلت سیلان بهتر وکم شدن حبس سرباره جوشکاری آسانتر می شود.*
- ***تقلیل از حرارت فروکش برای قطعات ضخیم وفلزات با هدایت حرارتی بالا:*** *عمداتا"برای قطعات با ضخامت بیش از 20 میلیمترکاربرد عملیات پیش گرم ضروری است.*

جدول زیرحداقل دمای پیش گرمایش برحسب ضخامت قطعات را برای انواع جوشکاری ها نشان می دهد.

کلاس	نوع فولاد	روش جوشکاری	مسخصات ورق	
			ضخامت ورق (mm)	حداقل درجهٔ حرارت ورق (سانتیگراد)
A	ST37 ST52	جوش دستی با الکترود روکشدار (غیر از الکترودهای کم هیدروژن)	≤ 20 $20 < t \leq 40$ $40 < t \leq 65$ $t \geq 65$	20 65 110 150
B	ST37 ST52	جوش دستی با الکترود روکشدارکم هیدروژن جوش زیر پودری جوش تحت حفاظ گاز(الکترود فلزی یاتنگستن) جوش با الکترود تو پودری	≤ 20 $20 < t \leq 40$ $40 < t \leq 65$ $t \geq 65$	10 20 65 110
C	$Fy \geq 4000 Kg/cm^2$	جوش دستی با الکترود روکشدارکم هیدروژن جوش زیر پودری جوش تحت حفاظ گاز(الکترود فلزی یاتنگستن) جوش با الکترود تو پودری	≤ 20 $20 < t \leq 40$ $40 < t \leq 65$ $t \geq 65$	10 65 110 150

Table 3.3
Prequalified Minimum Preheat and Interpass Temperature (see 3.5)

Category	Steel Specification		Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
				in	mm	°F	°C
A	ASTM A36		SMAW with other than low-hydrogen electrodes	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32[a]	0[a]
	ASTM A53	Grade B					
	ASTM A106	Grade B					
	ASTM A131	Grades A, B, CS, D, DS, E					
	ASTM A139	Grade B					
	ASTM A381	Grade Y35					
	ASTM A500	Grade A					
		Grade B					
		Grade C					
	ASTM A501	Grade A					
	ASTM A516						
	ASTM A524	Grades I & II					
	ASTM A573	Grade 65					
	ASTM A709	Grade 36		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
	ASTM A1008 SS	Grade 30					
		Grade 33 Type 1					
		Grade 40 Type 1					
	ASTM A1011 SS	Grade 30		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	225	110
		Grade 33					
		Grade 36 Type 1					
		Grade 40					
		Grade 45		Over 2-1/2	Over 65	300	150
		Grade 50					
		Grade 55					
	ASTM A1018 SS	Grade 30					
		Grade 33					
		Grade 36					
		Grade 40					
	API 5L	Grade B					
		Grade X42					
	ABS	Grades A, B, D, CS, DS					
		Grade E					
B	ASTM A36		SMAW with low-hydrogen electrodes, SAW, GMAW, FCAW	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32[a]	0[a]
	ASTM A53	Grade B					
	ASTM A106	Grade B					
	ASTM A131	Grades A, B, CS, D, DS, E					
		AH 32 & 36					
		DH 32 & 36					
		EH 32 & 36		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	50	10
	ASTM A139	Grade B					
	ASTM A381	Grade Y35					
	ASTM A441						
	ASTM A500	Grade A					
		Grade B					
		Grade C		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	150	65
	ASTM A501	Grades A and B					
	ASTM A516	Grades 55 & 60					
		65 & 70		Over 2-1/2	Over 65	225	110
	ASTM A524	Grades I & II					
	ASTM A529	Grades 50 & 55					

(Continued)

Table 3.3 (Continued)
Prequalified Minimum Preheat and Interpass Temperature (see 3.5)

Category	Steel Specification		Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
				in	mm	°F	°C
B (Cont'd)	ASTM A537	Classes 1 & 2	SMAW with low-hydrogen electrodes, SAW, GMAW, FCAW	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	32[a]	0[a]
	ASTM A572	Grades 42, 50, 55		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	50	10
	ASTM A573	Grade 65		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	150	65
	ASTM A588			Over 2-1/2	Over 65	225	110
	ASTM A595	Grades A, B, C					
	ASTM A606						
	ASTM A618	Grades Ib, II, III					
	ASTM A633	Grades A, B Grades C, D					
	ASTM A709	Grades 36, 50, 50S, 50W, HPS 50W					
	ASTM A710	Grade A, Class 2 (>2 in [50 mm])					
	ASTM A808						
	ASTM A913[b]	Grade 50					
	ASTM A992						
	ASTM A1008 HSLAS	Grade 45 Class 1 Grade 45 Class 2 Grade 50 Class 1 Grade 50 Class 2 Grade 55 Class 1 Grade 55 Class 2					
	ASTM A1008 HSLAS-F	Grade 50					
	ASTM A1011 HSLAS	Grade 45 Class 1 Grade 45 Class 2 Grade 50 Class 1 Grade 50 Class 2 Grade 55 Class 1 Grade 55 Class 2					
	ASTM A1011 HSLAS-F	Grade 50					
	ASTM A1018 HSLAS	Grade 45 Class 1 Grade 45 Class 2 Grade 50 Class 1 Grade 50 Class 2 Grade 55 Class 1 Grade 55 Class 2					
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grade 50					
	ASTM A1018 SS	Grade 30 Grade 33 Grade 36 Grade 40					
	ASTM 1085						
	API 5L	Grade B Grade X42					
	API Spec. 2H	Grades 42, 50					
	API 2MT1	Grade 50					
	API 2W	Grades 42, 50, 50T					
	API 2Y	Grades 42, 50, 50T					
	ABS	Grades AH 32 & 36 Grades DH 32 & 36 Grades EH 32 & 36					

(Continued)

Table 3.3 (Continued)
Prequalified Minimum Preheat and Interpass Temperature (see 3.5)

Category	Steel Specification		Welding Process	Thickness of Thickest Part at Point of Welding		Minimum Preheat and Interpass Temperature	
				in	mm	°F	°C
C	ASTM A572	Grades 60, 65	SMAW with low-hydrogen electrodes, SAW, GMAW, FCAW	1/8 to 3/4 incl.	3 to 20 incl.	50	10
	ASTM A633	Grade E					
	ASTM A913[b]	Grades 60, 65, 70					
	ASTM A710	Grade A, Class 2 (≤2 in [50 mm])					
	ASTM A710	Grade A, Class 3 (>2 in [50 mm])		Over 3/4 thru 1-1/2 incl.	Over 20 thru 38 incl.	150	65
	ASTM A709[c]	Grade HPS 70W					
	ASTM A852[c]						
	ASTM A1018 HSLAS	Grade 60 Class 2		Over 1-1/2 thru 2-1/2 incl.	Over 38 thru 65 incl.	225	110
		Grade 70 Class 2					
	ASTM A1018 HSLAS-F	Grade 60 Class 2					
		Grade 70 Class 2					
	API 2W	Grade 60		Over 2-1/2	Over 65	300	150
	API 2Y	Grade 60					
	API 5L	Grade X52					
D	ASTM A710	Grade A (All classes)	SMAW, SAW, GMAW, and FCAW with electrodes or electrode-flux combinations capable of depositing weld metal with a maximum diffusible hydrogen content of 8 ml/100 g (H8), when tested according to AWS A4.3.	All thicknesses ≥ 1/8 in [3 mm]		32[a]	0[a]
	ASTM A913[b]	Grades 50, 60, 65					

[a] When the base metal temperature is below 32°F [0°C], the base metal shall be preheated to a minimum of 70°F [20°C] and the minimum interpass temperature shall be maintained during welding.
[b] The heat input limitations of 5.7 shall not apply to ASTM A913.
[c] For ASTM A709 Grade HPS 70W and ASTM A852, the maximum preheat and interpass temperatures shall not exceed 400°F [200°C] for thicknesses up to 1-1/2 in [40 mm], inclusive, and 450°F [230°C] for greater thicknesses.

Notes:
1. For modification of preheat requirements for SAW with parallel or multiple electrodes, see 3.5.2.
2. See 5.11.2 and 5.6 for ambient and base metal temperature requirements.

- *وقتی که دمای محیط کمتر از 18- درجه سانتیگراد باشد،جوشکاری نبایدانجام شود.*
- *اگردرجه حرارت فلز پایه کمتر از مقادیر مندرج در جدول فوق باشد، برای هردو حالت جوش اصلی وخال جوش ،پیش گرمایش باید انجام شود.پیش گرمایش باید بطریقی باشد که دمای اطراف نوک الکترود در دایره ائی به شعاع ضخامت قطعه یا 75 میلیمتر (هرکدام که بزرگتر باشد)،ازمقادیر جدول فوق کمتر نباشد.*
- *در درزهائی که چند نوع فولاد وجود دارد،انتخاب درجه حرارت پیش گرمایش بر مبنای فولاد با مقاومت بزرگتر است.*
- *هر قدر گیرداری قطعهٔ مورد جوش بیشتر باشد،دمای پیش گرمایش باید افزایش یابد.*
- *دمای پیش گرمایش لازم نیست از230 درجه سانتیگراد بزرگتر باشد.*
- *درجوشکاری ورقها با ضخامت بزرگتر از 25 میلیمتر که تحت بارهای دینامیکی قرار دارند،فقط باید از الکترودهای کم هیدروژن استفاده نمود.*
- **پیش گرمایش خصوصا" برای پاس ریشه حائز اهمیت است بطوریکه هیچ جوشی نبایستی شروع شود ،مگر آنکه شیار جوش به حداقل درجه حرارت پیش گرمایش مقرر رسیده باشد.**

درجه حرارت بین پاسی "Interpass Temperature"

برای جوشهای چند پا سه جهت یکسان بودن خواص مکانیکی وشرایط برای کلیه پاسها درجه حرارت بین پاسی باید رعایت شود.درجه حرارت بین پاسی ودرجه حرارت پیشگرم معمولا" یکسان بوده وبه جنس وضخامت قطعه وحرارت داده شده بوسیله پروسهٔ جوشکاری بستگی دارد.افزایش درصد کربن ،عناصرآلیاژی وضخامت قطعه باعث افزایش درجه حرارت بین پاسی می شود.

حرارت القائی ناشی از جوشکاری

- حرارت تولید شده (داده شده) در عمل جوشکاری را حرارت القائی ناشی ازجوشکاری مینامند.با استفاده از حرارت تولیدی بزرگتر در هنگام جوشکاری ، می توان حرارت پیش گرمایش را کاهش داد.بعنوان مثل در جوشکاری در وضعیت سربالا با حرکت زیگزاگ نوک الکترود با سرعت 7.5 سانتیمتربردقیقه،بزرگتر از حرارت تولیدی در وضعیت تخت با سرعت 15 سانتیمتر در دقیقه است.
- حرارت داده شده (Input heat) برای یک روش جوشکاری مشخص از رابطه زیر بدست می آید:

$$J = \frac{60EI}{1000V}$$

- که درآن :
- J : heat input (kJ/in)
- E : arc voltage (V)
- I : welding current (A)
- V : arc speed (in/min)
- چون تمام حرارت تولید شده در قوس وارد فلز پایه نمی شود،معمولا" از ضرایب بازده حرارتی زیر در روابط استفاده می گردد.
- 75~80 در صد برای جوشکاری دستی
- 90~100 در صد برای جوش قوسی زیرپودری
- در صورت اطمینان از حصول حرارت کافی وپیوسته در حین جوشکاری،این وجود دارد که فقط قسمت ابتدائی کار پیش گرم شده وبا شروع جوشکاری،عمل پیش گرمایش قطع شده وتنها به حرارت تولیدی در جوشکاری اکتفا گردد.

پس گرمایش

- حرارت دادن یکنواخت قطعه پس از عملیات جوشکاری را پس گرمایش گویند.عملیات پس گرمایش به منظور آزاد کردن تنشهای پس ماند که در اثر شیبهای حرارتی ودماهای بالای ناشی از جوشکاری بوجود می آید،انجام می شود.
- همچنین عملیات پس گرم موجب ادامه عملیات پیشگرم شده وبا افزایش دمای قطعه بعد از جوشکاری، سبب سهولت انتقال هیدروژن به خارج قطعه وکاهش احتمال وقوع ترکهای سرد یا هیدروژنی میگردد.

تنش زدائی به کمک حرارت

- در قطعات جوش شده بعلت گرم شدن موضعی قطعات وممانعت فلز مبنأ حین انجماد جوش،تنشهای پس ماند زیادی بوجود می آید.حوضچه مذاب بسرعت منجمد میشودومقبض میگردد.فلز مبنإ با این انقباض مقابه کرده ودر نتیجه هم در جوش وهم در فلز مبنإ تنش بوجود می آید.این تنش ممکن است به اندازه تنش تسلیمی فلز اصلی برسد ووقتیکه با تنشهای ناشی از بارگذاری عادی ترکیب شود،تنش منتجه از تنش مجاز یا طراحی تجاوزکند.تنشهای پسماند (Residual Stresses) منشأ پیچیدگی قطعات هستند.متداولترین روش تنش زدائی، پس گرمایش یا عملیات حرارتی پس از جوشکاری است.
- بهترین راه تنش زدائی قطعات کوچک یا حتی ظروف تحت فشارساخته شده درکارخانه ،استفاده ازکوره های تنش زدائی است، یعنی در خاتمه عملیات جوشکاری قطعه یا ظرف در کوره قرارگرفته وبا حرارت یکنواخت ودرجه حرارت کنترل شده تنش زدائی مبگردد.

تنش زدائی حرارتی باید منطبق بر ضوابط زیر باشد:

- دمای کوره هنگامیکه قطعهٔ جوشکاری شده درآن قرارداده می شود،نباید از315 درجهٔ سانتیگراد بیشتر باشد.
- در بیش از 315 درجهٔ سانتیگراد،سرعت افزایش دما در داخل کوره نباید از5600Co/t بر ساعت بیشتر باشد،که درآن t ضخامت ضخیمترین ورق برحسب میلیمتر است.افزایش دما در هیچ حالت نباید از 220 درجهٔ سانتیگراد بر ساعت،بیشتر گردد.در حین افزایش دما،تغییرات دما در طول قطعه نباید بیش از 140 درجهٔ سانتیگراد در هر 4.5 متر طول باشد.
- بعد از آنکه دما به 590 درجهٔ سانتیگراد در فولادهای اصلاح شده و 590 تا 650 درجهٔ سانتیگراد در سایر فولادها رسید،قطعه به مدت مشخص طبق جدول صفحه بعد براساس ضخامت جوش ،در دمای ثابت نگه داشته می شود.طی مدت توقف اختلاف بین حداکثروحداقل دمای نقاط مختلف قطعه نباید بیشتر از 85 درجه سانتیگراد باشد.

ضخامت	$t \leq 6mm$	$6 < t \leq 50mm$	$t > 50mm$
زمان توقف	15 دقیقه	24 دقیقه برای هر 10 میلیمترضخامت	2 ساعت بعلاوه 5 دقیقه به ازای هر 10میلیمتر ضخامت بزرگتراز 50میلیمتر

- در درجه حرارتهای بیش از 315 درجهٔ سانتیگراد،خنک کردن قطعه باید در یک کوره یا محفظهٔ خنک ساز بسته با سرعتی کمتراز 7000 Co/t بر ساعت انجام شود که ، t ضخامت حداکثر قطعه بر حسب میلیمتر است.این سرعت نباید در هیچ حالت بزرگتر از 260 درجهٔ سانتیگراد بر ساعت باشد.در دمای کمتر از 315 درجه، قطعه میتواند در هوای ساکن خنک گردد.
- درصورتیکه نتوان قطعه را دردماهای ذکرشده در جدول فوق تنش زدائی نمود،میتوان ازدمای کمتر،لیکن زمان طولانی مطابق جدول صفحه بعد استفاده کرد.

کاهش درجهٔ حرارت نسبت به حداقل درجه حرارت مقرر	حداقل زمان توقف دردرجهٔ حرارت کاهش یافته بر حسب ساعت به ازای 10 میلیمتر ضخامت قطعه
28	0.8
56	1.6
84	4
112	8

اعوجاج و پیچیدگي و تاب برداشتن در جوشکاري (Distortion)

- در جوشکاری قوسی،قطعه کار در یک ناحیه محدودی به نقطه ذوب می رسد ولی بمحض اینکه قوس از نقطه حرارت دیده شده دور شود درجه حرارت بسرعت پایین می آید.این بعلت قابلیت هدایت حرارتی زیاد قطعه کار،دور شدن سریع منبع حرارت وکوچکی حجم فلز حرارت دیده است.
- این شرایط از انبساط یکنواخت فلز جلوگیری نموده وممکن است تغییرشکلهای داخلی ،پیچیدگی وتاب برداشتن شدید را بهمراه داشته باشد.

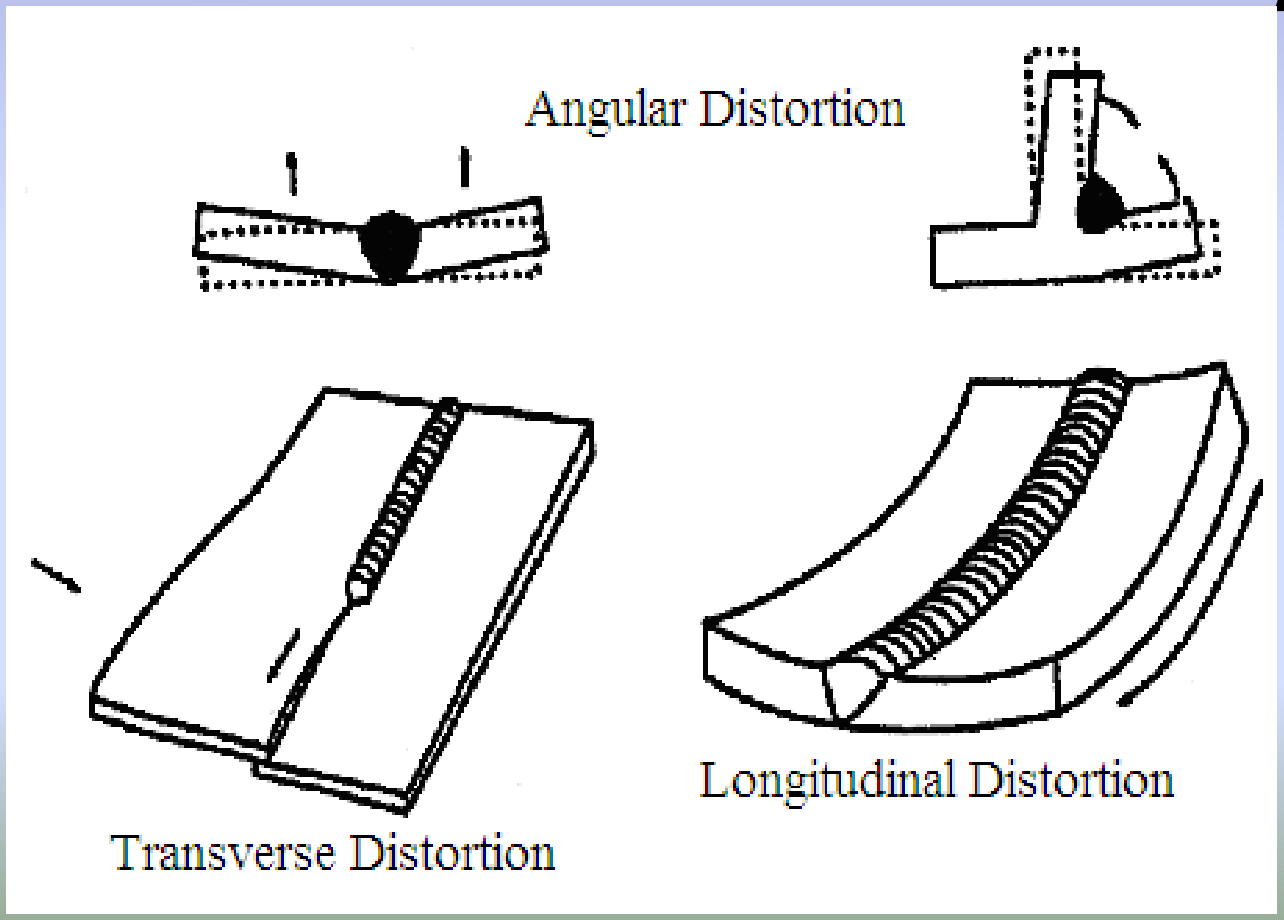
- **تغییرات ساختاری ناشی از حرارت جوشکاری،با تغییرات حجمی همراه می شودوتنشهای حبس شده را بالا می برد.تغییرات ساختاری بطریق زیر بوقوع می پیوندد.**
- *در سرد شدن یا گرم شدن وقتی درجه حرارت به نقطهٔ معینی برسد،ساختار فلز به ساختاردیگری تبدیل می شود.ساختارهای مختلف دارای چگالی مختلف هستند.برای مثال وقتیکه فولاد کم کربن حرارت داده شود ،زمانی که به نقطه معینی رسید،ساختارفریتی به ساختاراوستنیت تبدیل می گردد وحجمش قدری کاسته می شود،زیرا اوستنیت دارای چگالی بالاتری نسبت به فریت است.وقتیکه فولاد پرکربن بسرعت سرد شود در 200 تا 250 درجه سانتیگراد اوستنیت به مارتنزیت تبدیل می شود.مارتنزیت چگالی کمتروحجم بیشتری نسبت به اوستنیت دارد.این تغییرات سبب بوجود آمدن تغییرشکلها وتنشهای داخلی می گردد.*

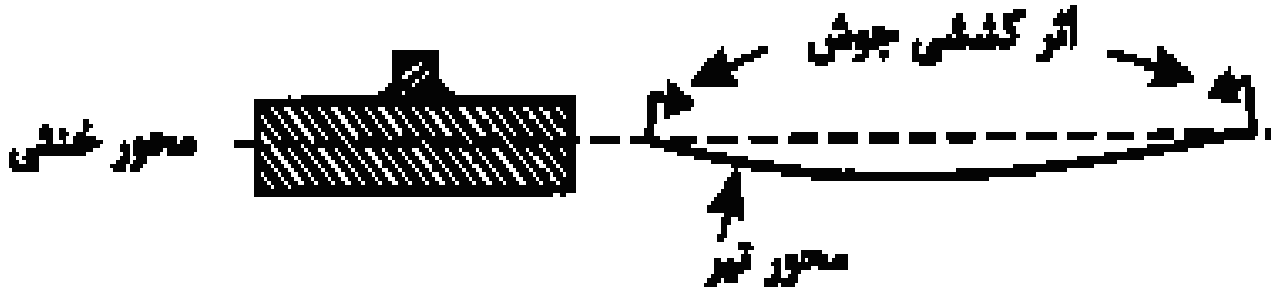
بطور خلاصه عوامل مهم بوجود آورنده این پیچیدگی ها وتغییرشکلها عبارتند از:

- ***حرارت دادن موضعی ، طبیعت وشدت منبع حرارتی وهمچنین نحوهٔ سرد شدن***
- ***میزان مهار قطعات در حین جوشکاری***
- ***تنشهای پس ماند قطعات***
- ***خواص فلز مورد جوشکاری،میزان حرارت فروکش،انتقال حرارت،ضریب انبساط حرارتی ،تغییر فرم پذیری***

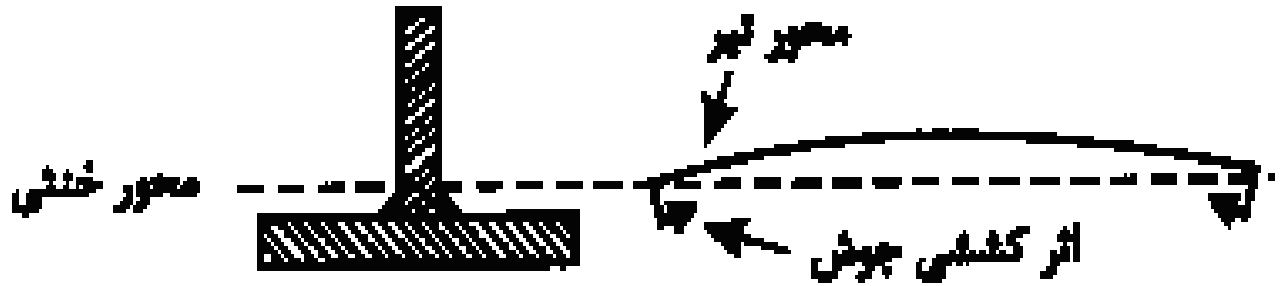
اعوجاج داراي سه نوع است كه عبارتند از :

- ***اعوجاج زاويه اي.***
- ***اعوجاج طولي.***
- ***اعوجاج عرضي.***





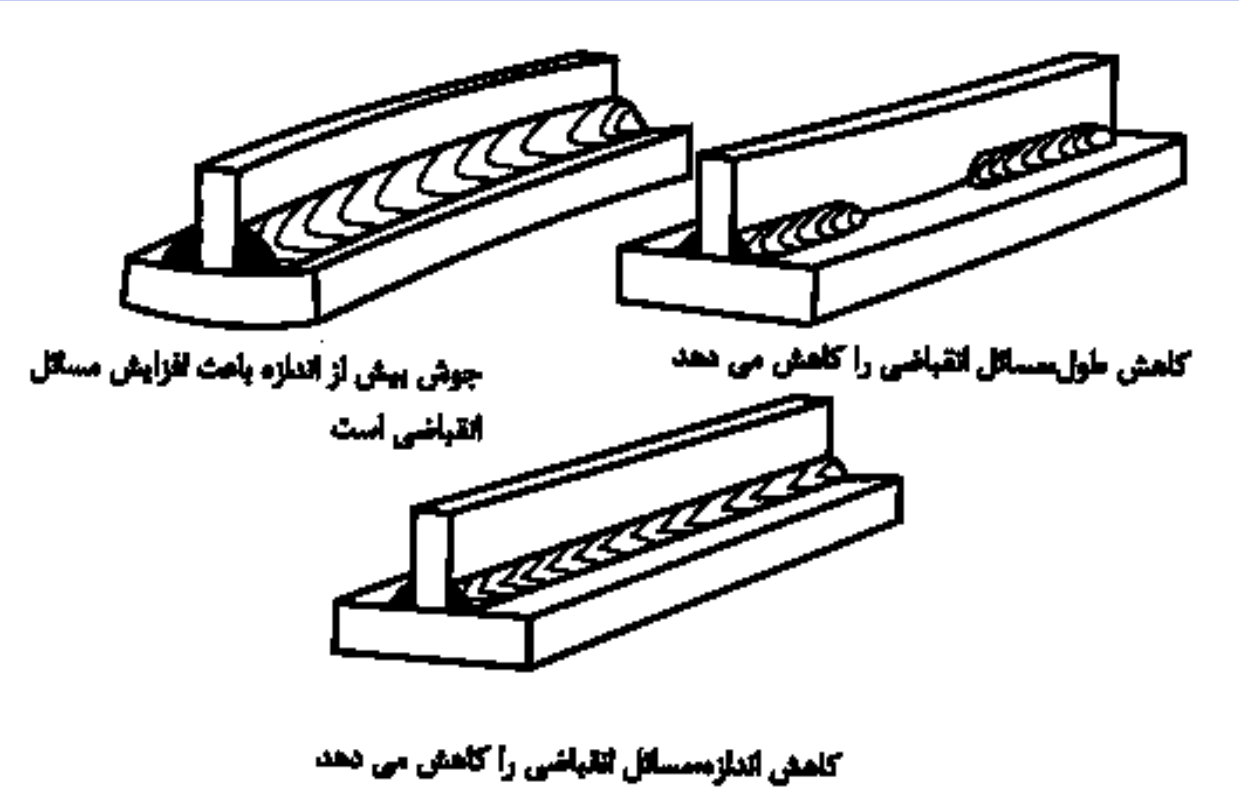
انحنای طولی (مقعر)



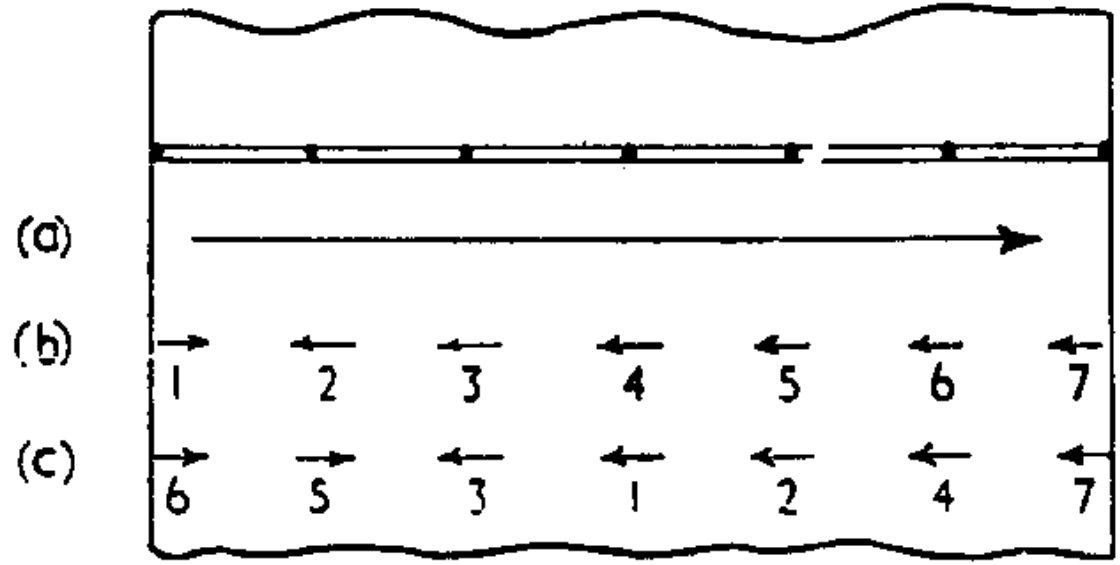
انحنای طولی (محدب)

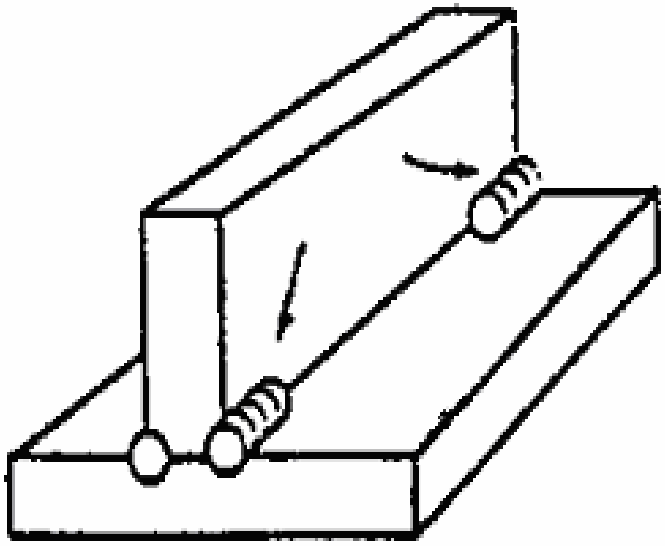
روشهای کاهش تنشها وتغییر شکلهای جوشکاری

- الف) قبل ازجوشکاری
- اجتناب از جوشکاری غیر ضروری



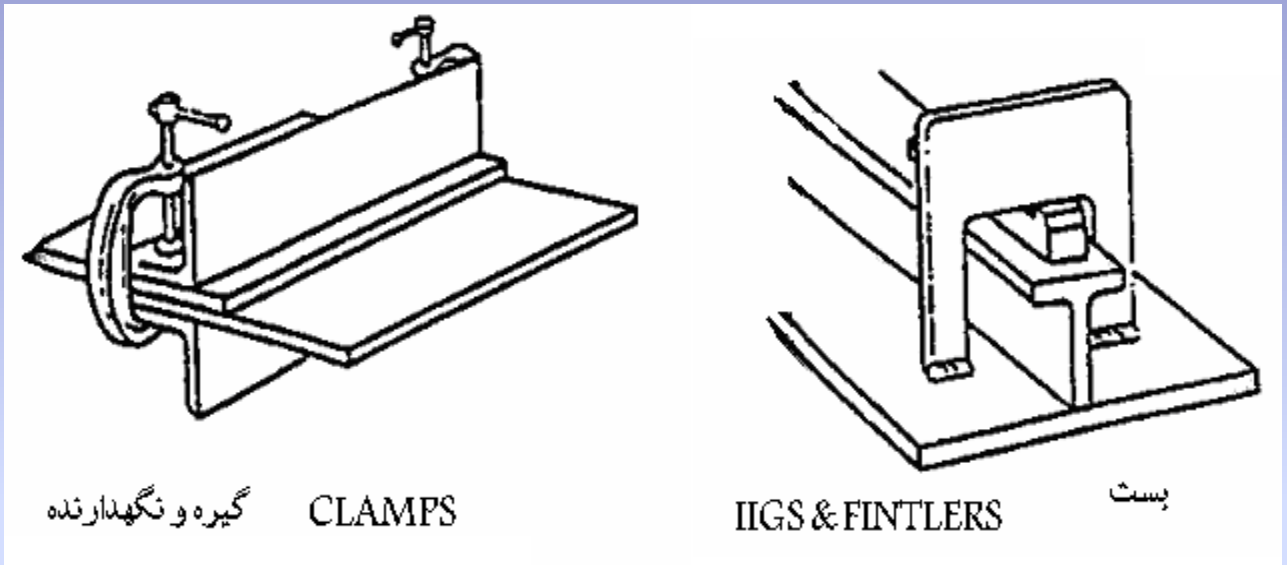
• خال جوش زدن

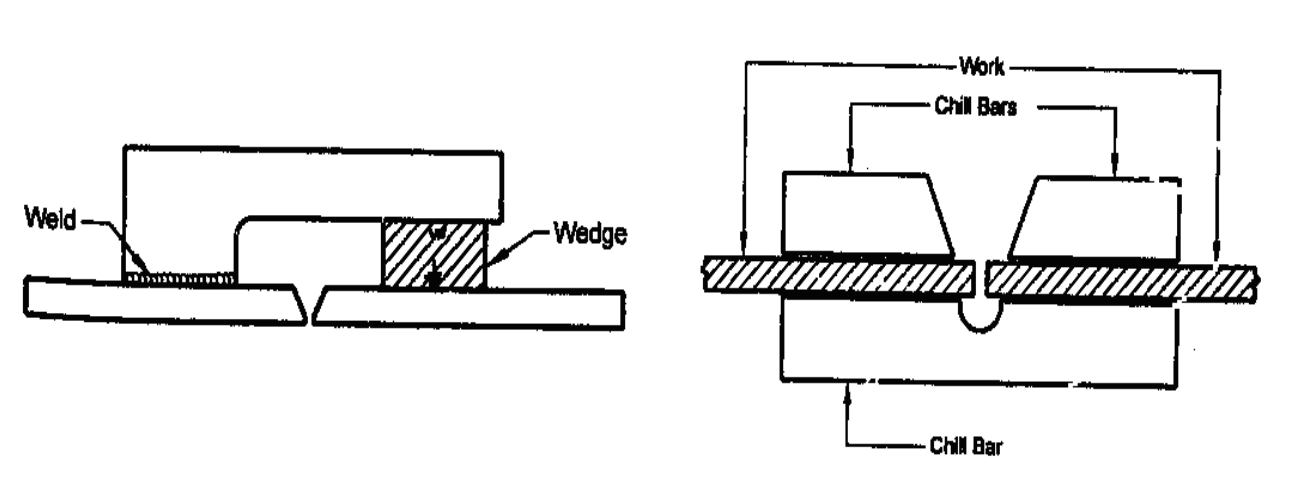


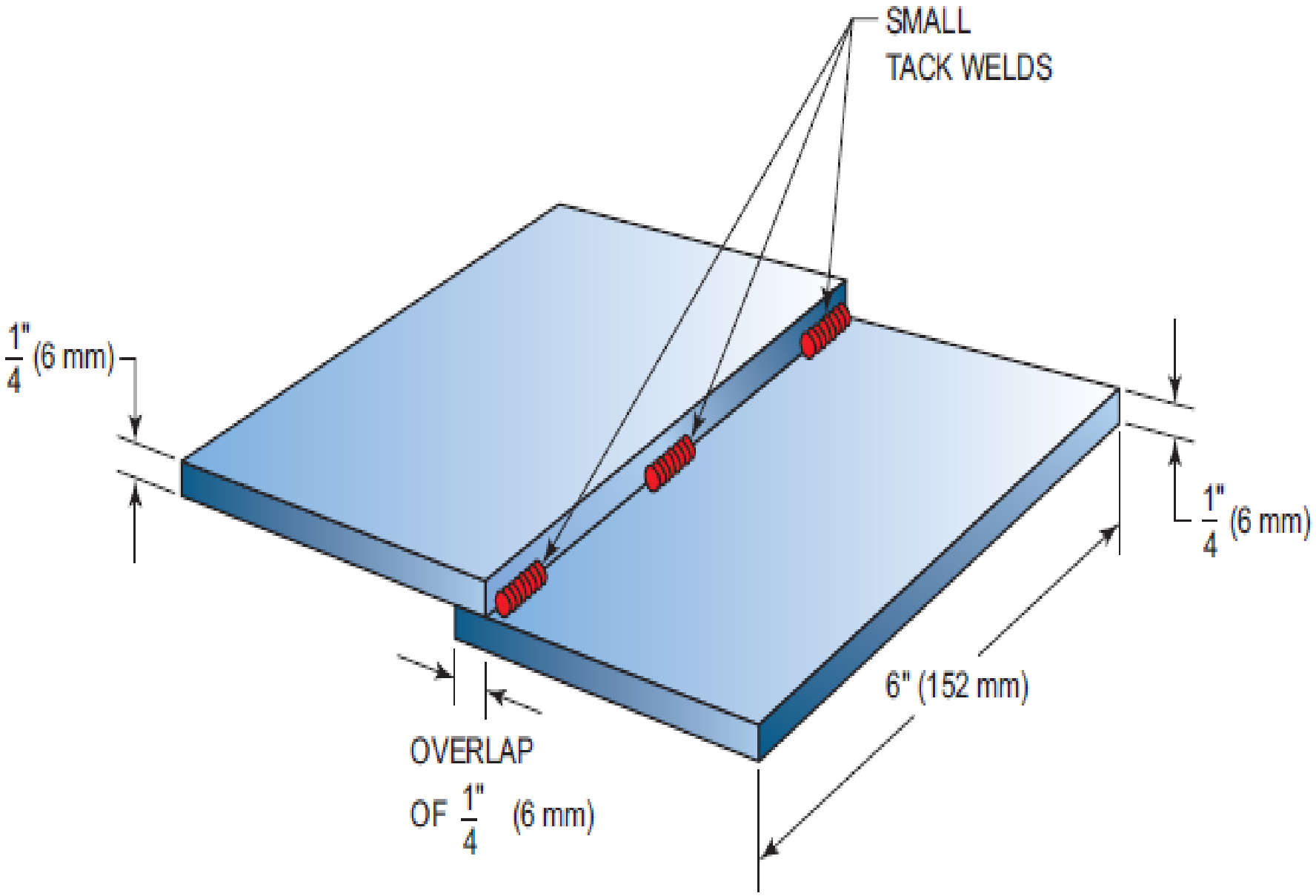


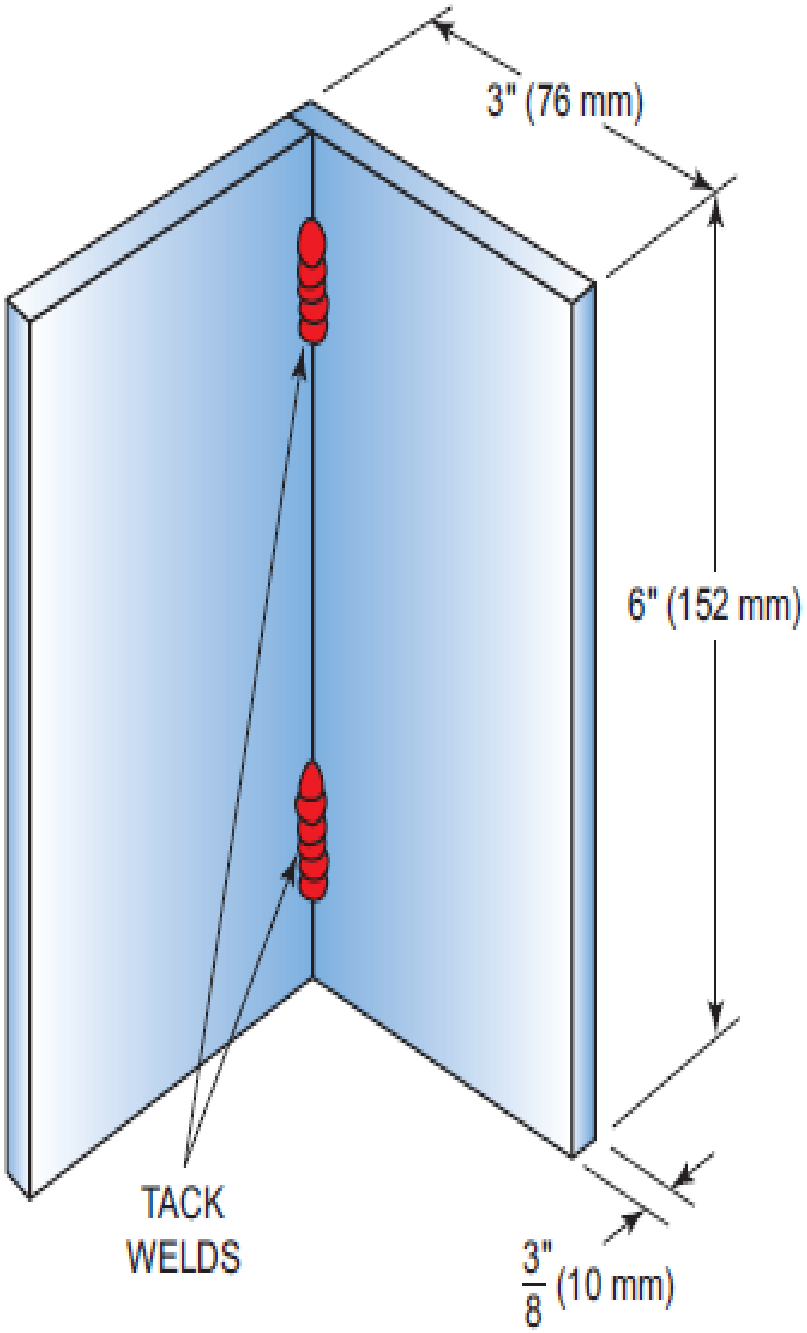
TACN WELDS خال جوش

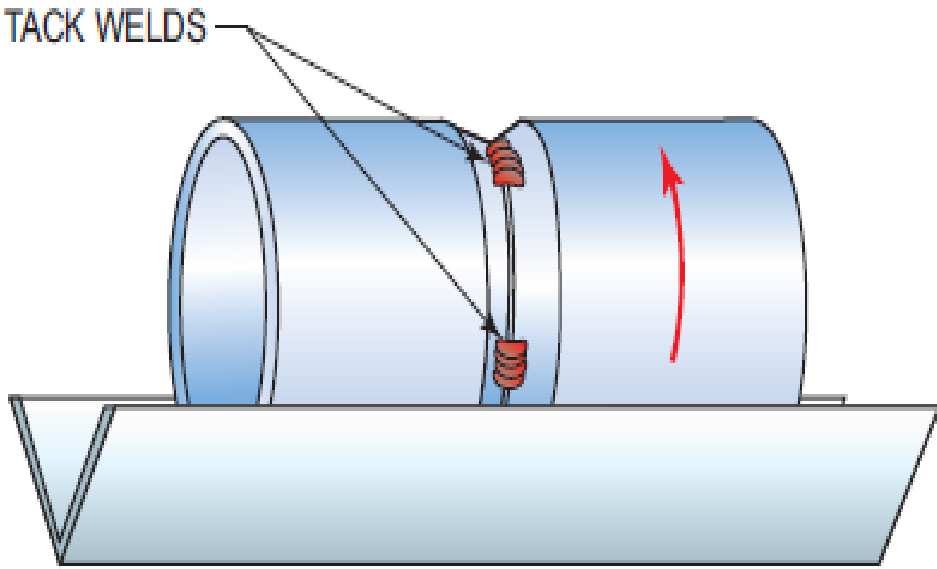
- **استفاده از گیره،بست، ونگهدارنده**

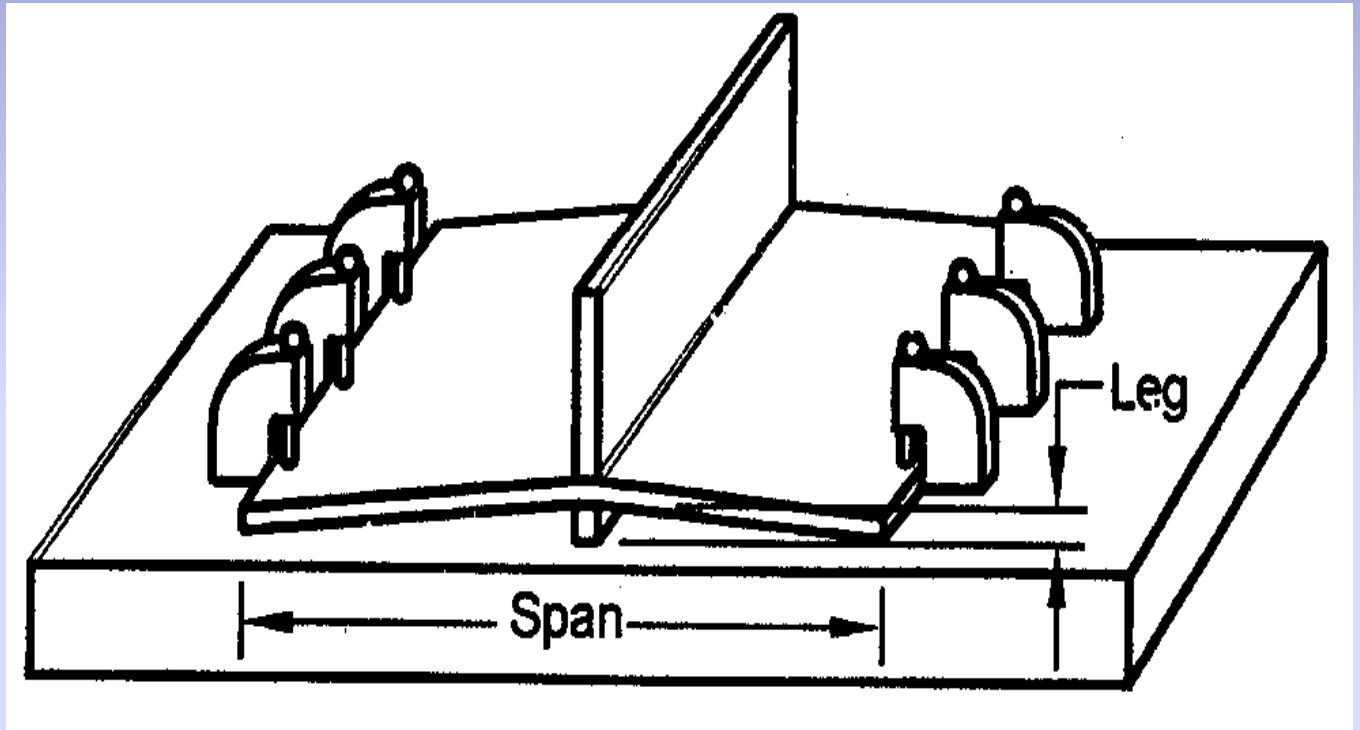




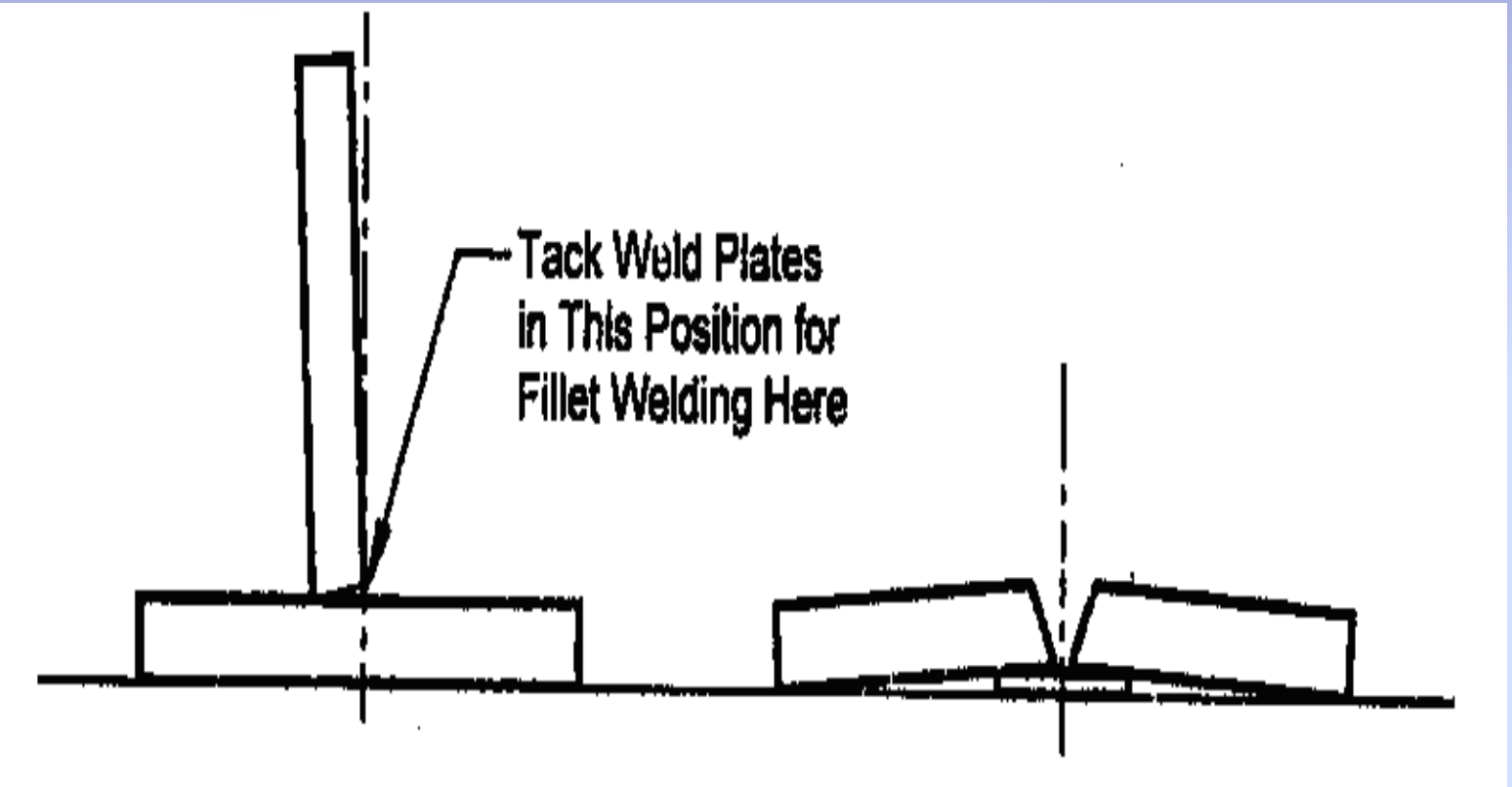

SMALL
TACK WELDS
1/4" (6 mm)
1/4" (6 mm)
6" (152 mm)
OVERLAP
OF 1/4" (6 mm)


3" (76 mm)
6" (152 mm)
TACK
WELDS
3/8" (10 mm)

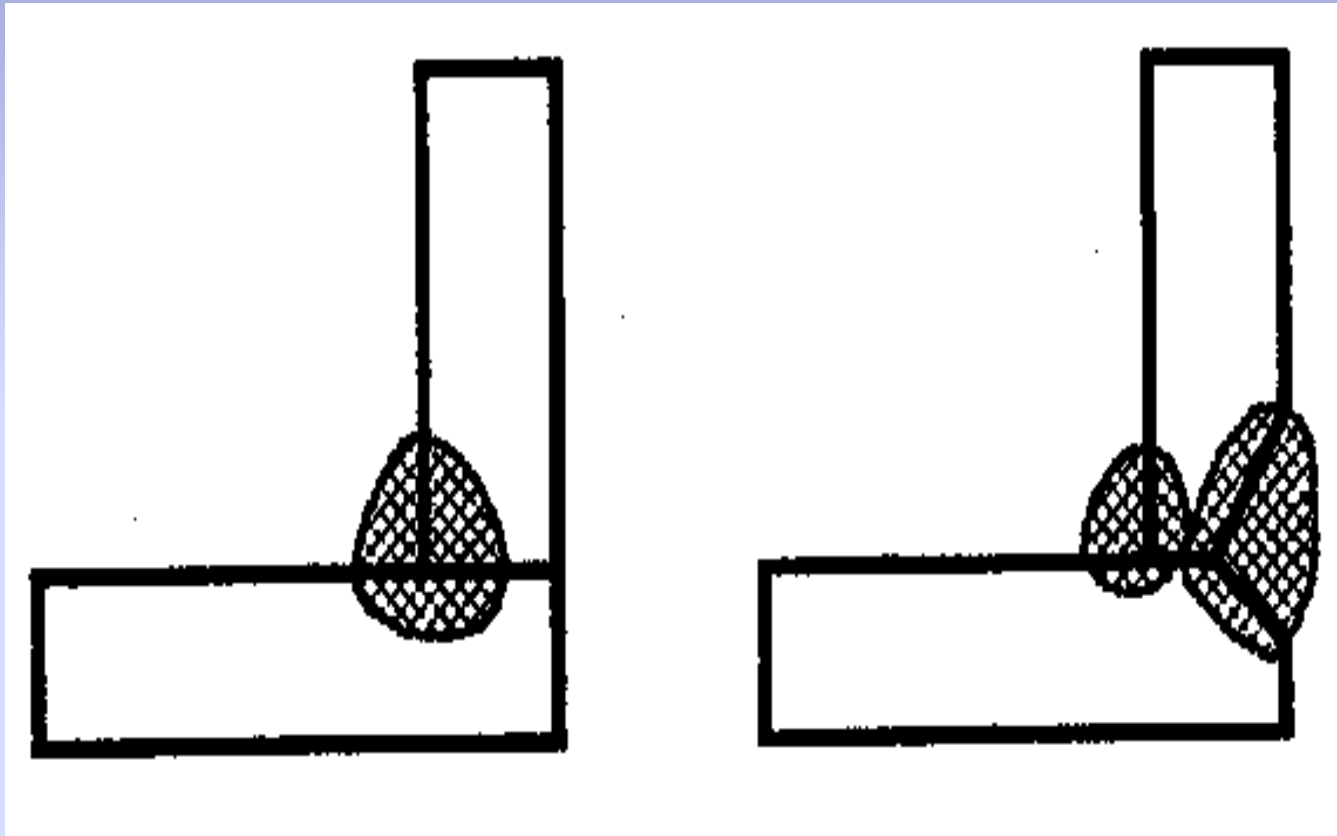

TACK WELDS


Leg
Span

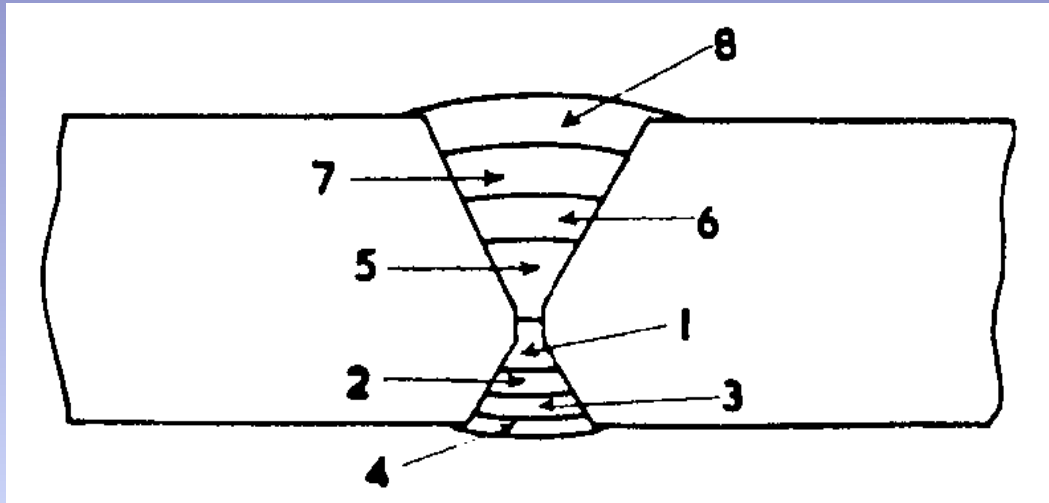
- مونتاژ اولیه مناسب(پیش خم کردن)



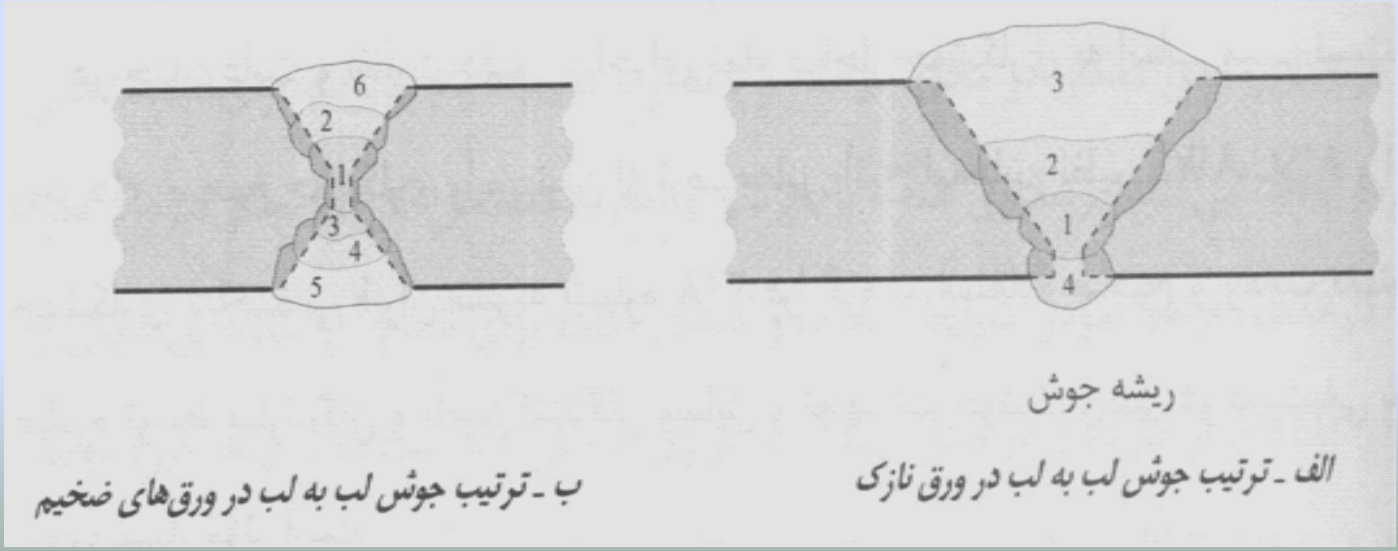
- تغییر در طراحی اتصال



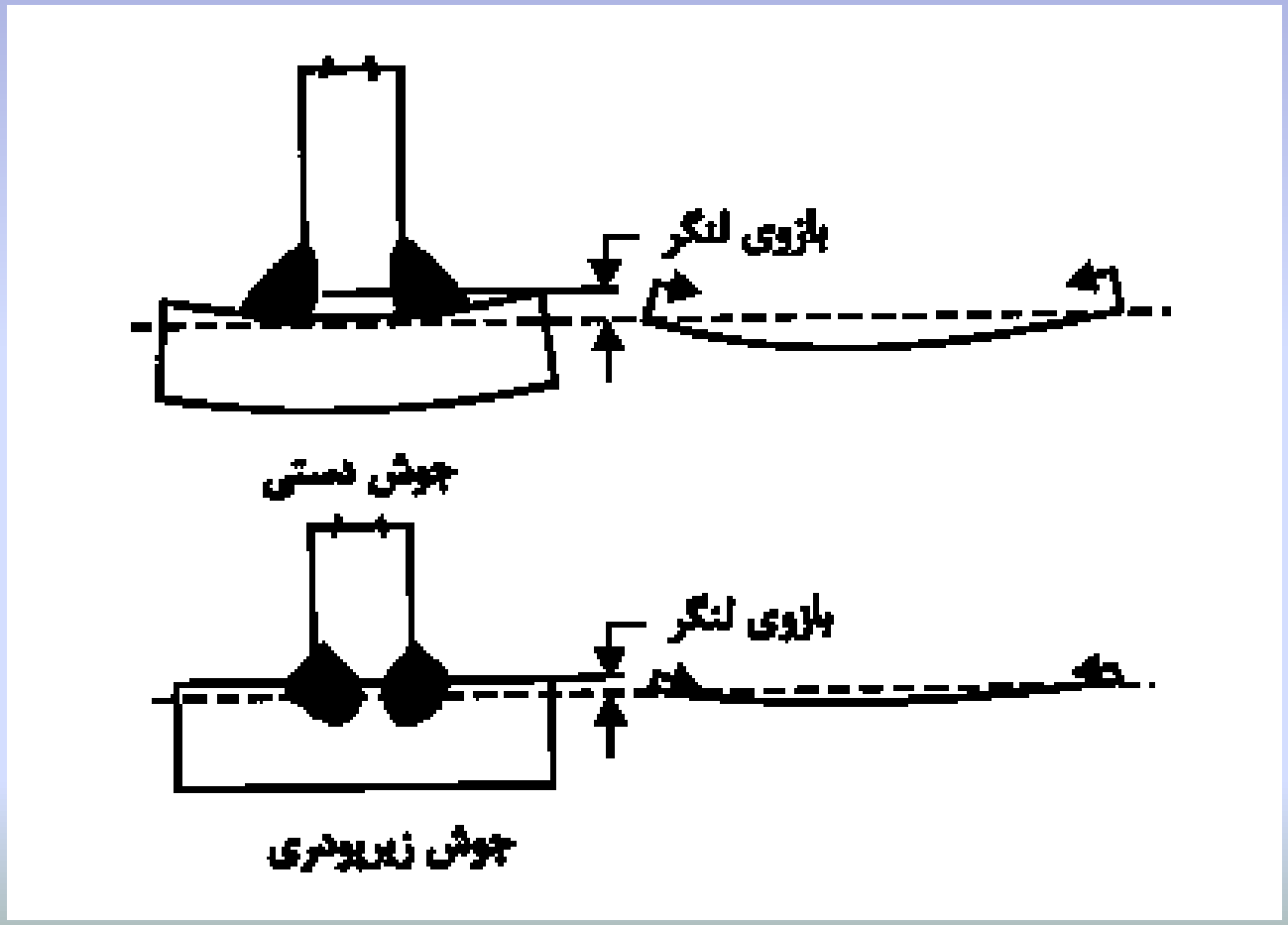
- بکارگیری جناغ نامساوی برای کاهش پیچیدگی



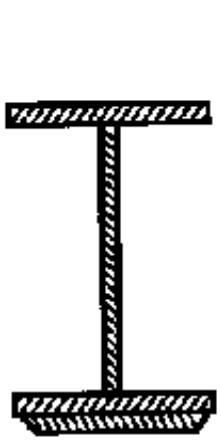
- ترجیحا" استفاده از اتصال لب به لب



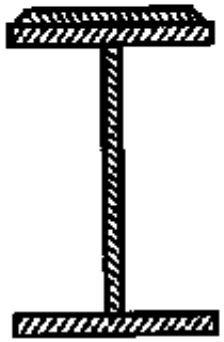
- در صورت امکان استفاده از روشهای زیر پودری اتوماتیک ونیمه اتوماتیک



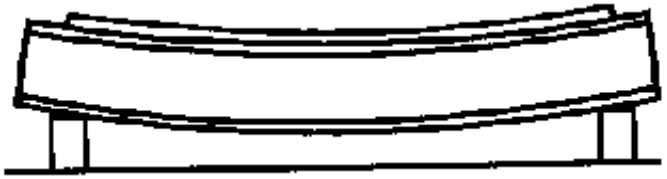
• استفاده از روش مناسب در جوشکاری



وضعیت بهره برداری



وضعیت جوشکاری

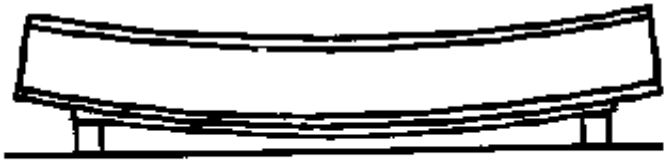


اگر نیاز به پیش خیز بیشتری باشد

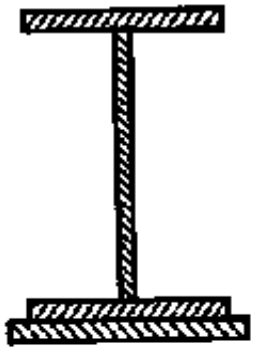
اگر نیاز به پیش خیز کمتری باشد

(الف) وقتی که عرض ورق تقویتی کوچکتر از عرض بال است

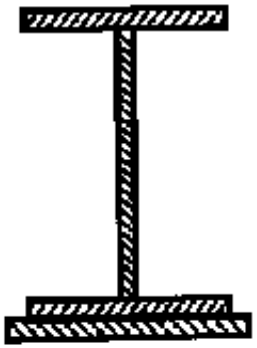
اگر نیاز به پیش خیز بیشتری باشد



اگر نیاز به پیش خیز کمتری باشد



وضعیت بهره برداری

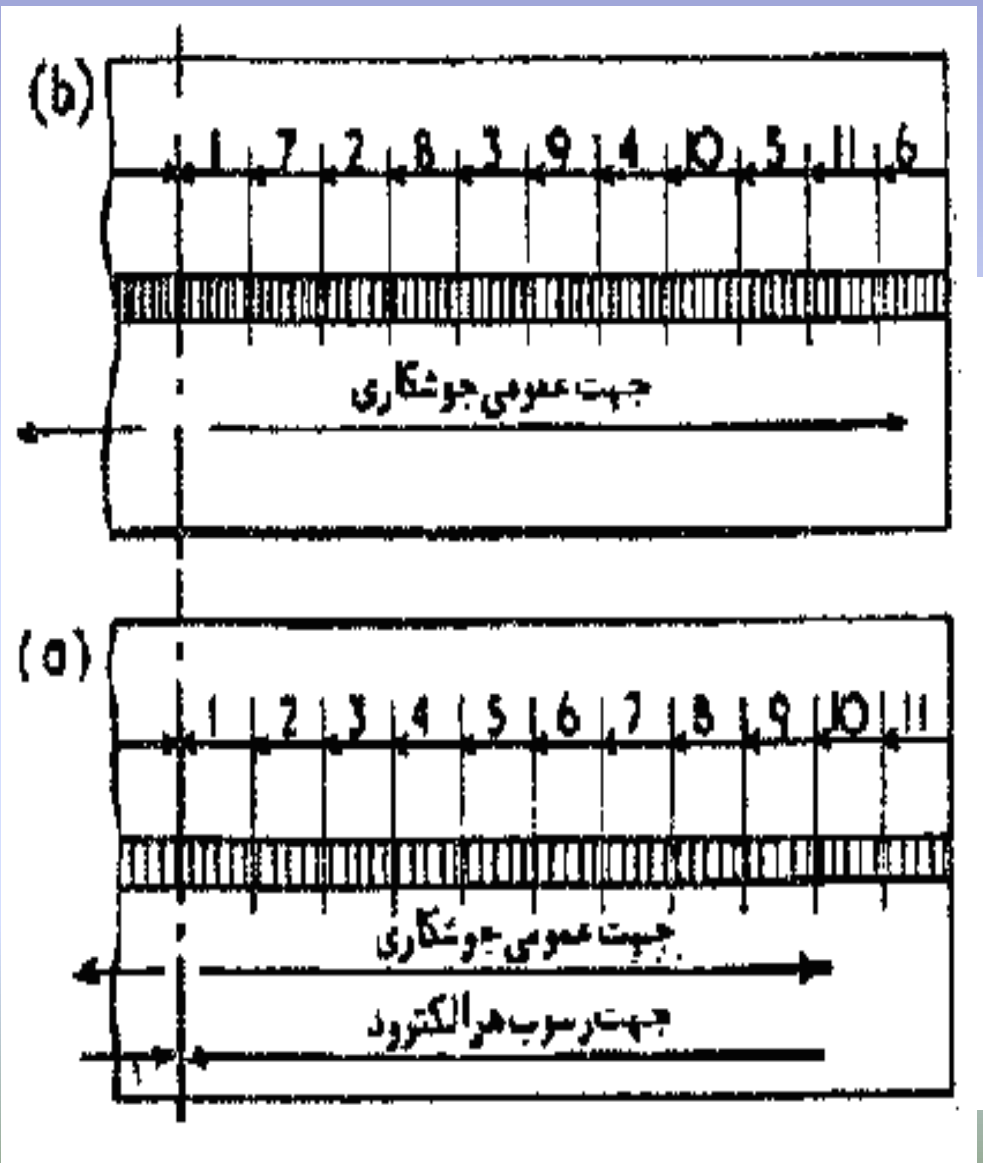


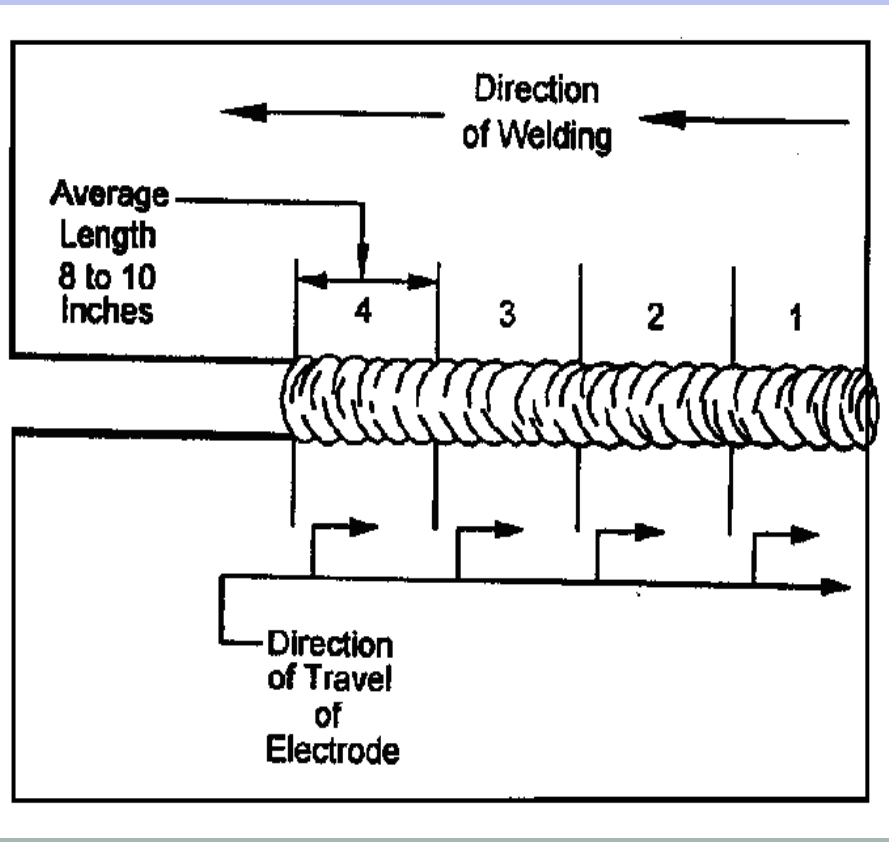
وضعیت جوشکاری

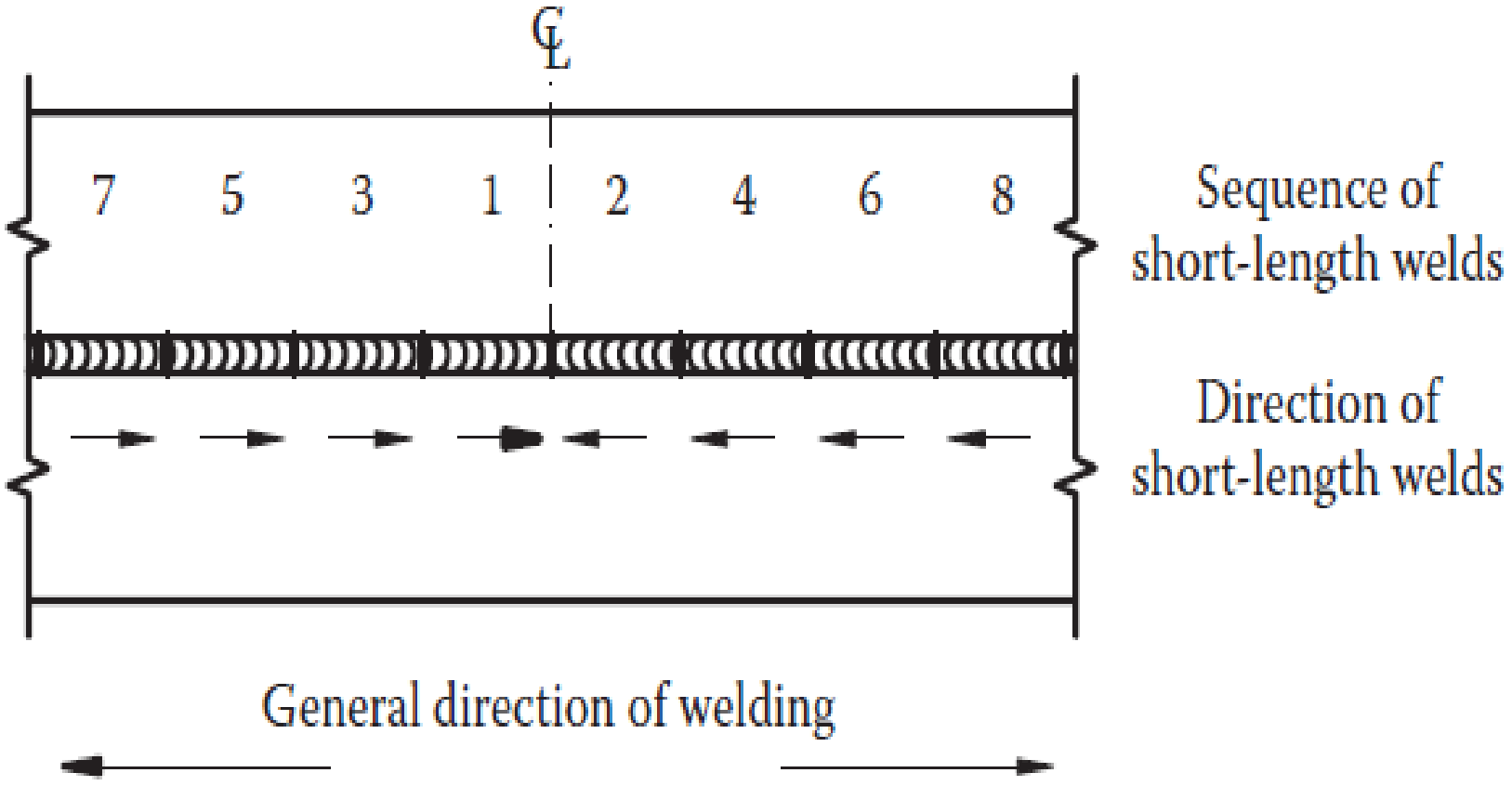
- رعایت حداقل فلصله دو لبه در یشه
- رعایت حداقل زاویه شیار
- ضخیمتر گرفتن بل در ساخت تیر ورق
- پیش گرمایش کامل وسرتاسری
- استفاده از اتصالات دوطرفه
- در نظر گرفتن حداقل اندازه ساق در جوش گلوئی

ب) حین جوشکاری

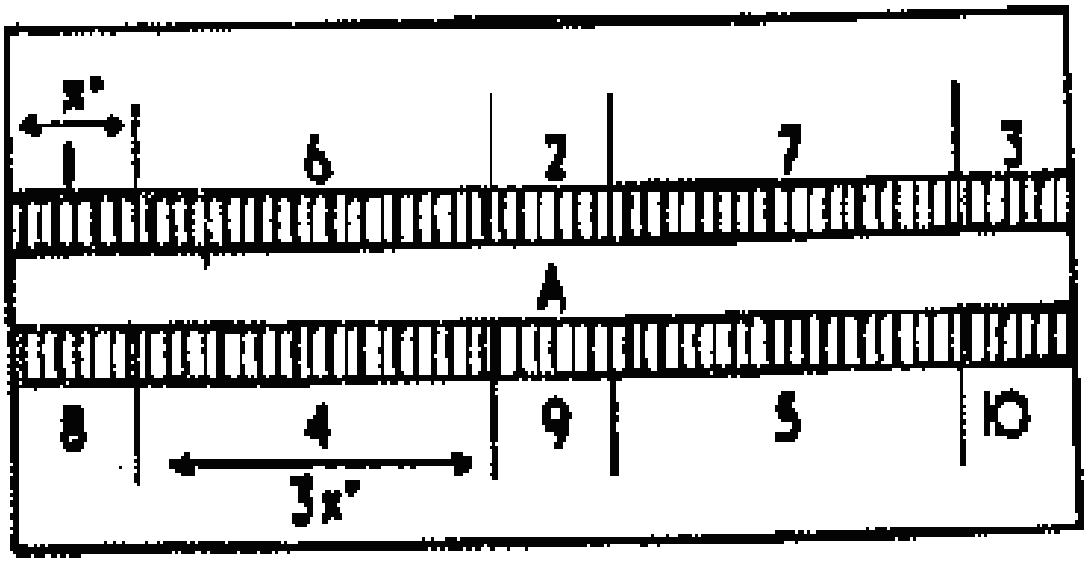
- جوشکاری گام به عقب

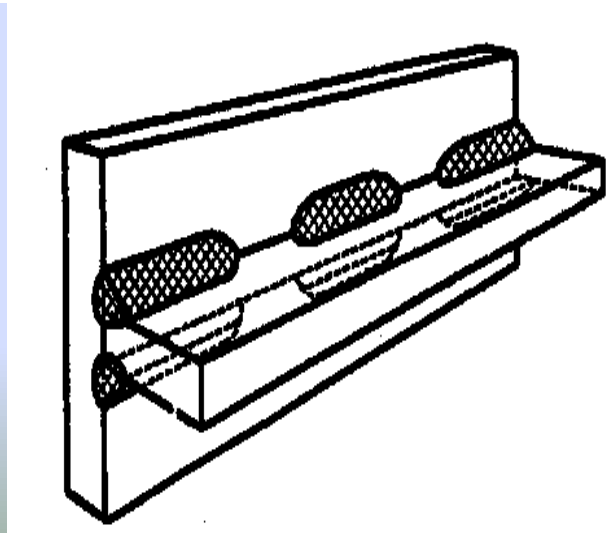


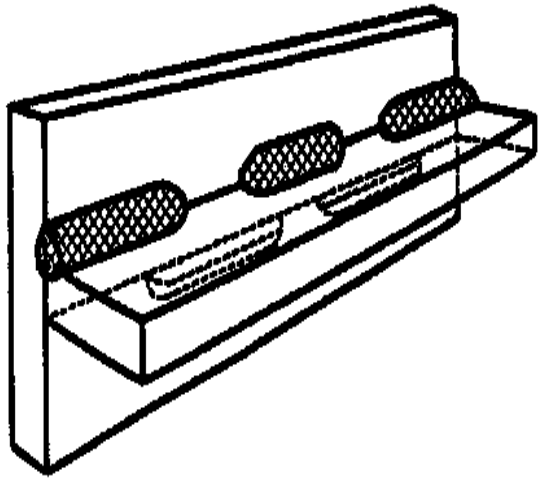



℄
7
5
3
1
2
4
6
8
Sequence of short-length welds
Direction of short-length welds
General direction of welding

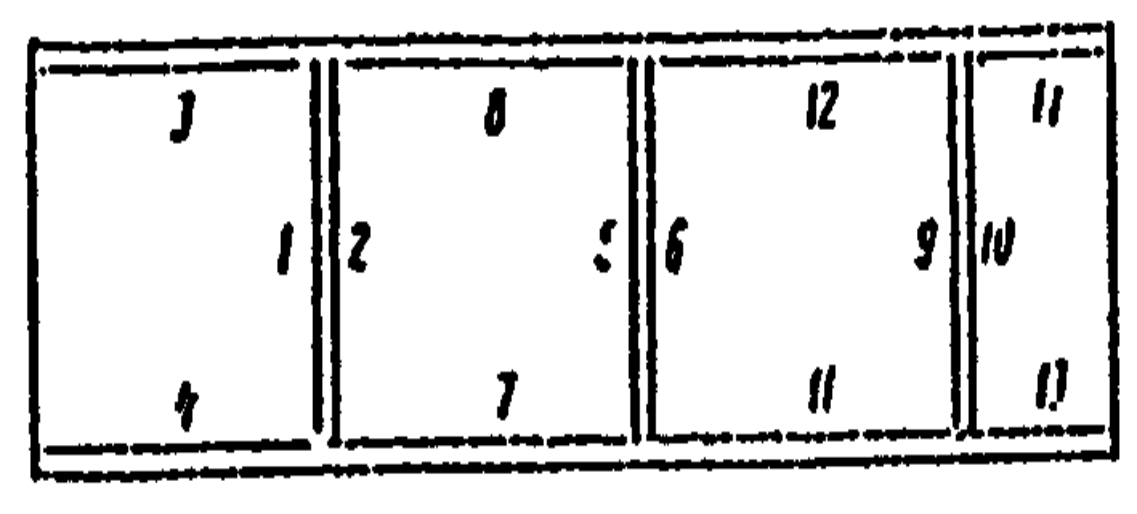
- جوشکاری زنجیری ومتباعد منقطع

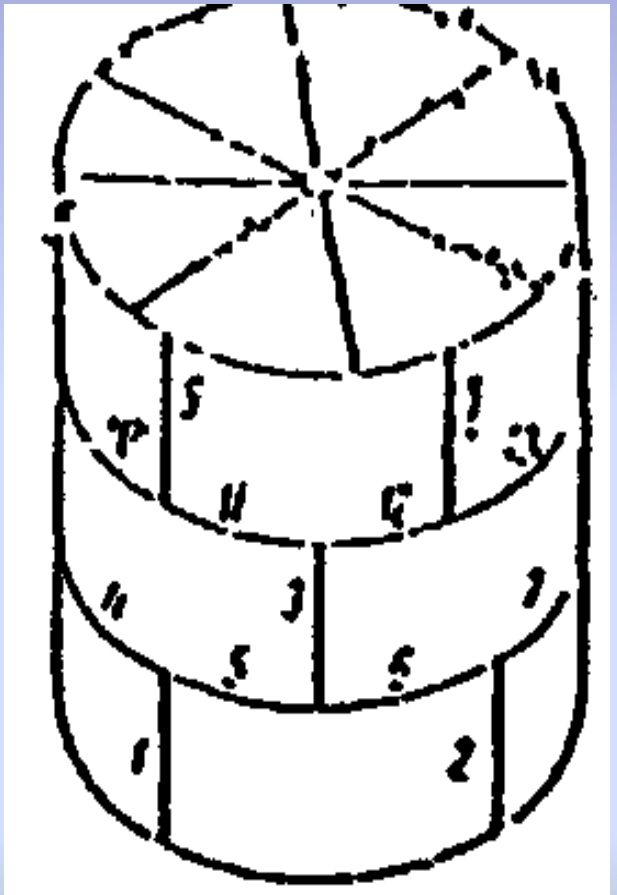


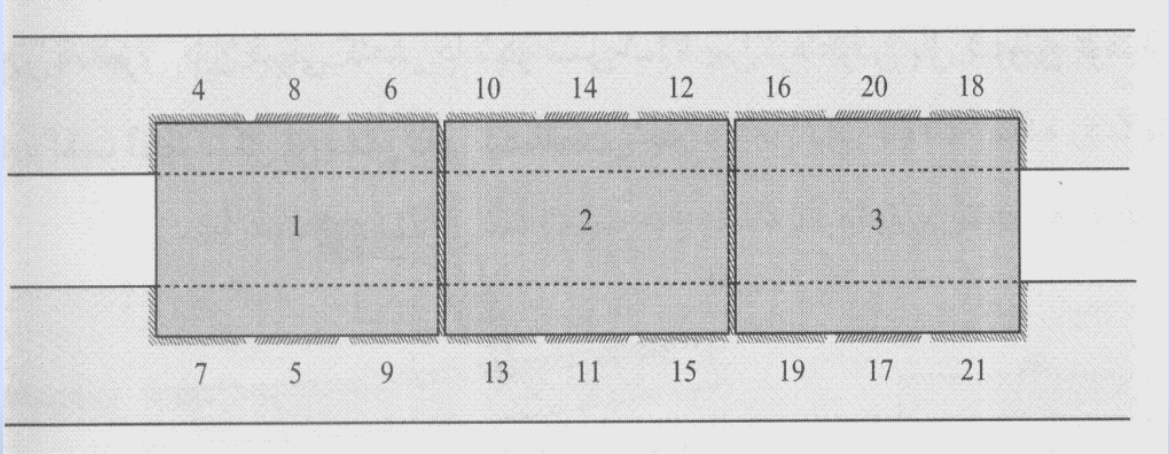




- تقدم جوشکاری اتصالات عرضی بر جوشکاری اتصالات طولی

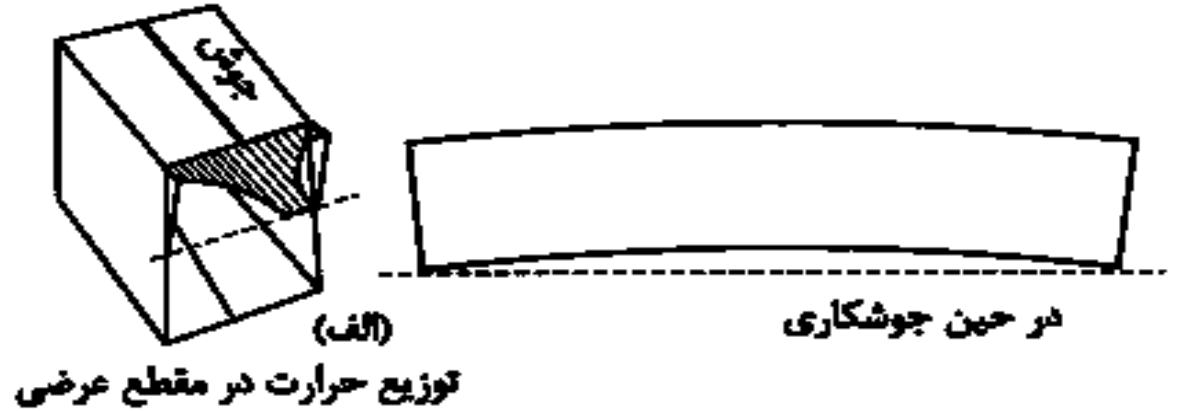


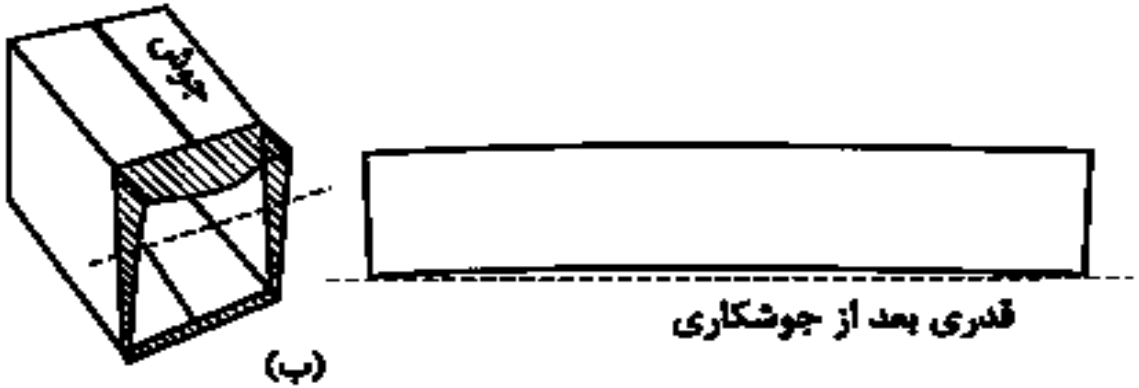


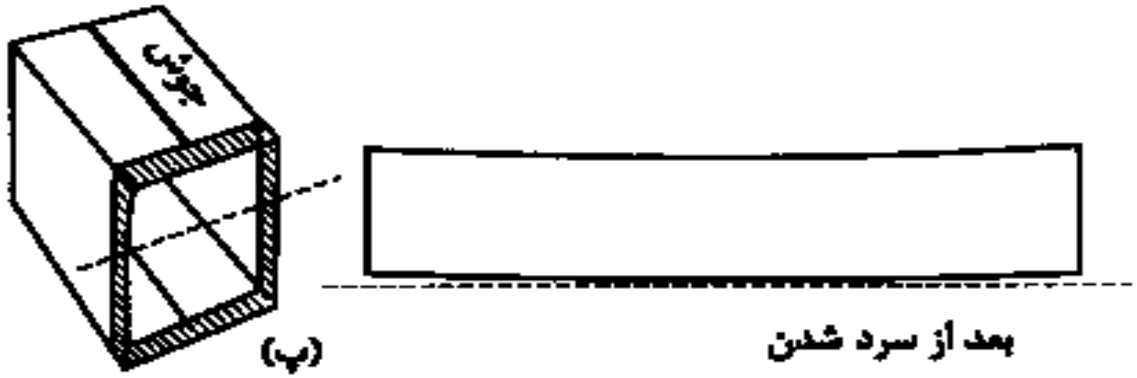


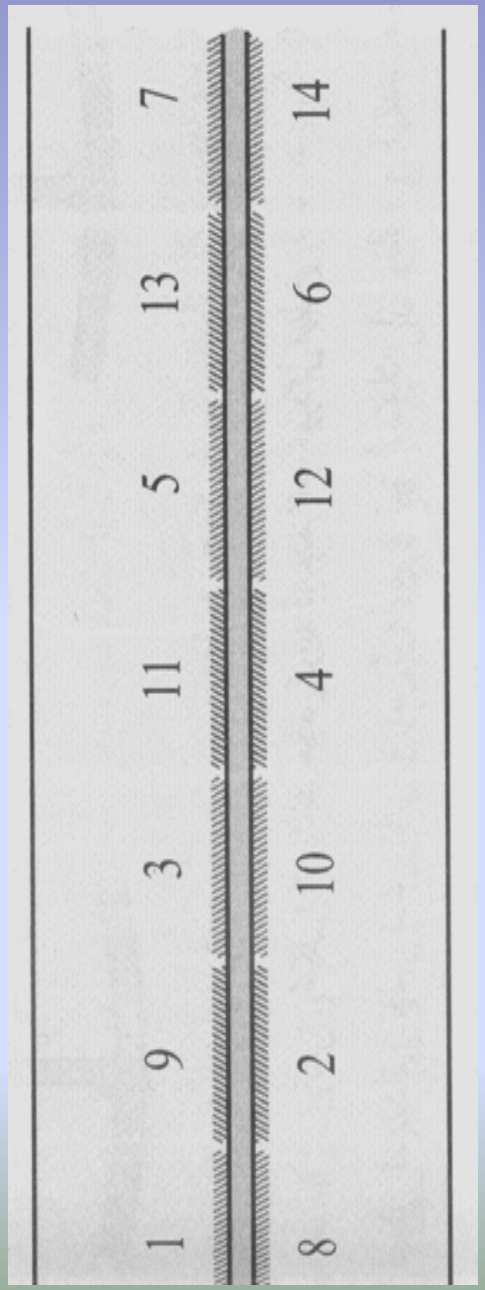
رعایت توالی مناسب در جوشکاری

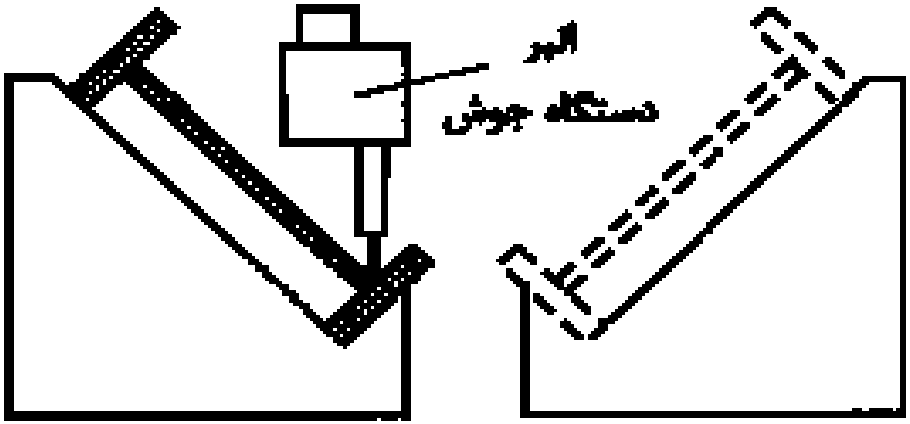
-

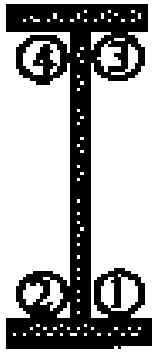


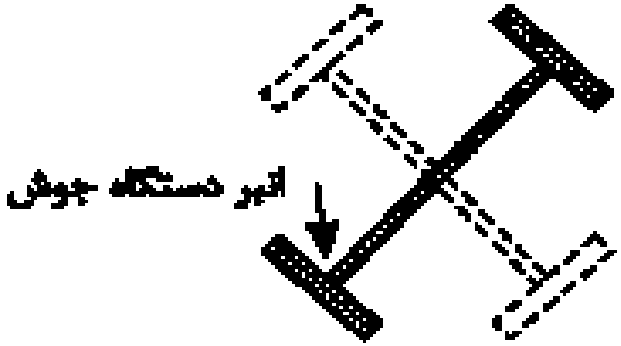


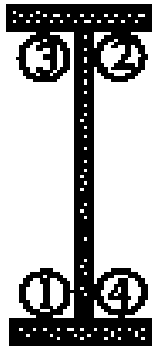




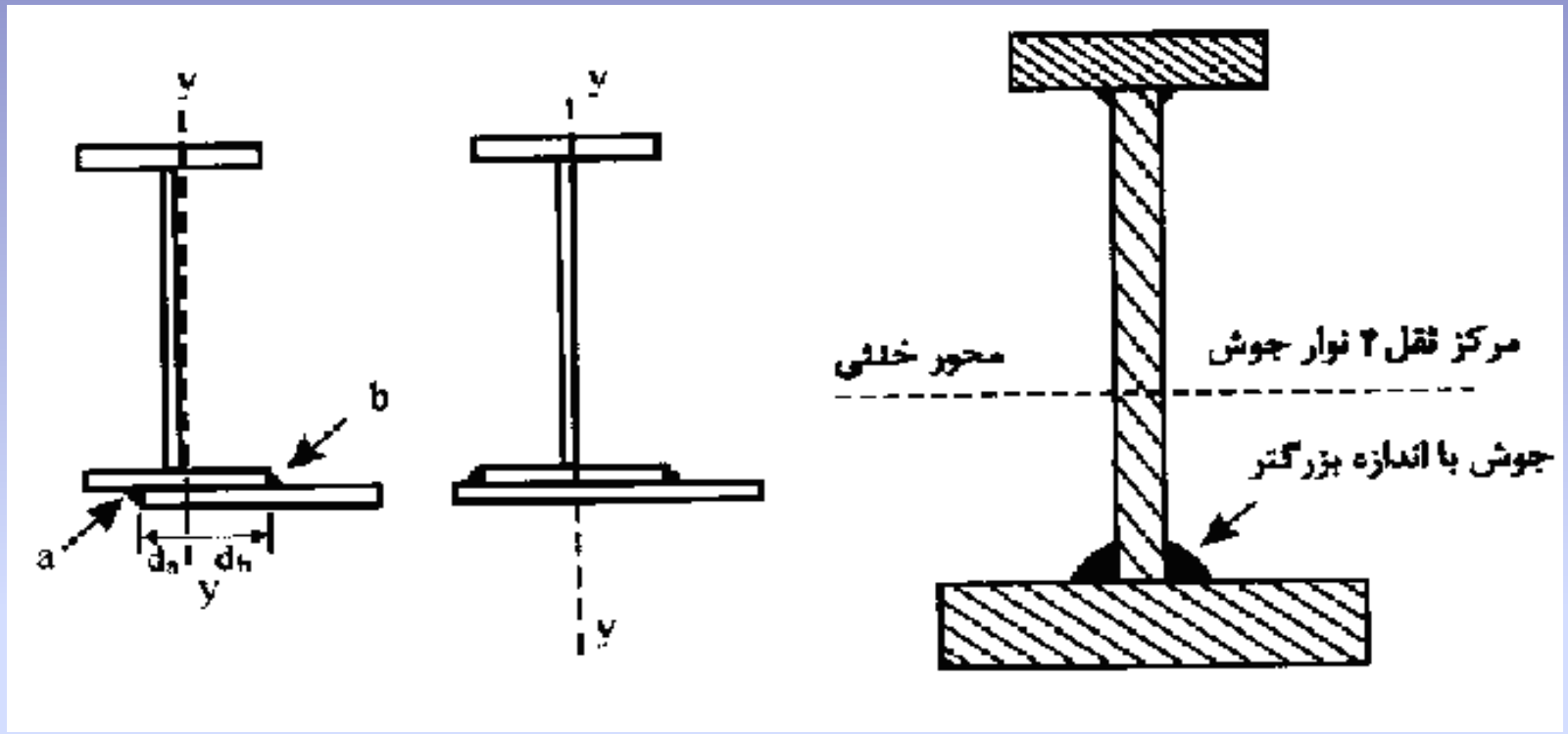

انبر
دستگاه جوش

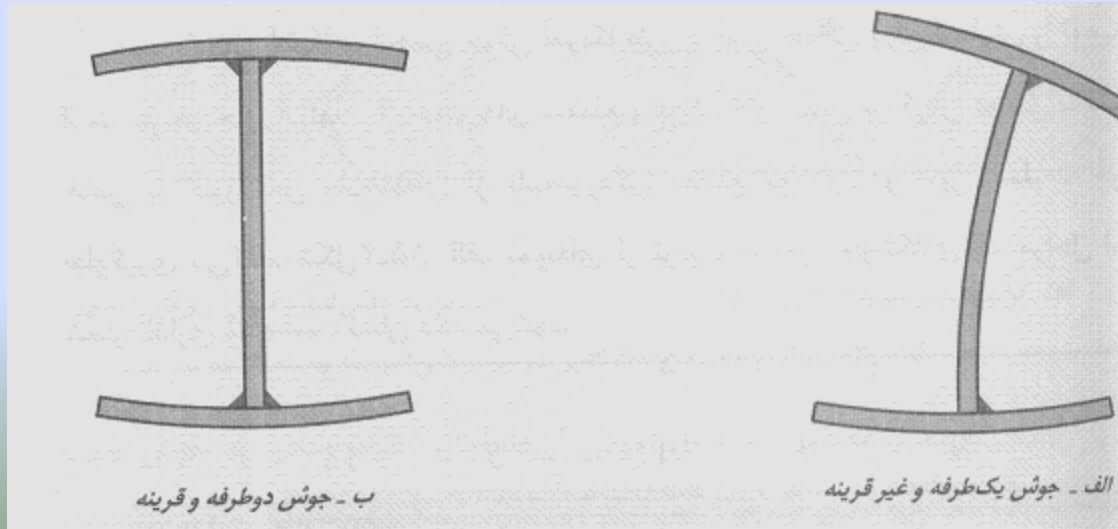

4
3
2
1


انبر دستگاه جوش

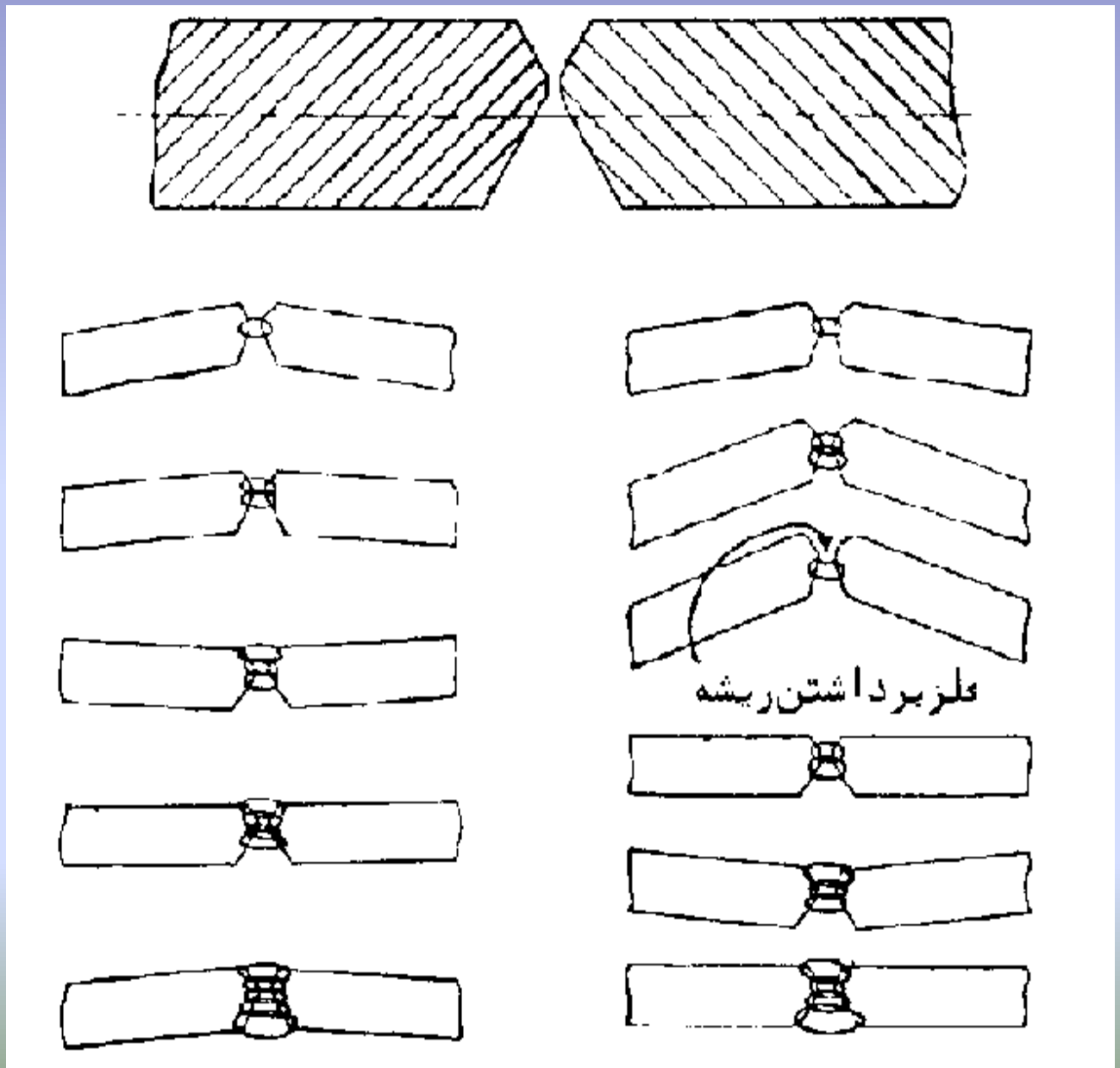

3
2
1
4

- **جوشکاری متقارن**





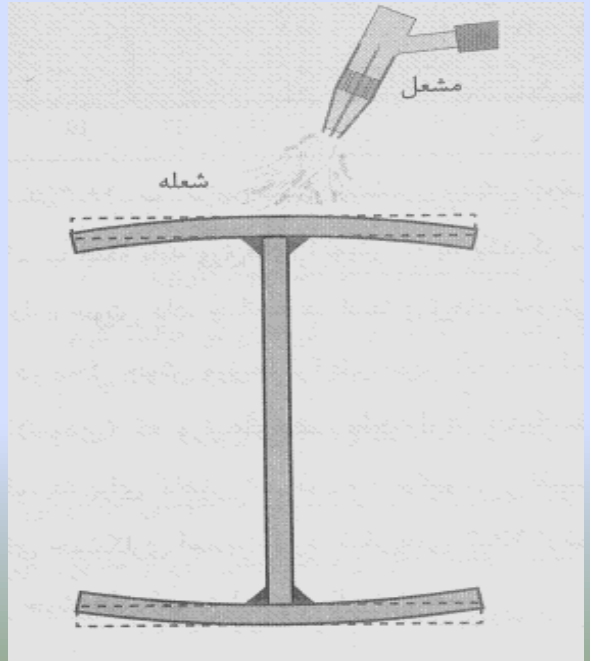
- برداشتن فلز جوش gouging در اتصل جناقی



- اعمال حرارت ورودی و شدت جریان کم
- استفاده از حداقل حجم جوش
- رعایت حداقل فاصله برای دو جوش موازی
- حفاظت محل جوشکاری وجلوگیری از وزش باد
- استفاده از پشت بند بطور قرینه
- استفاده از زیر سری مسی

ج) بعد از جوشکاری

- **سرد کردن آرام:** يكي از روش هاي جلوگيري از اعوجاج آرام سرد كردن قطعه مثلاً سرد كردن قطعه در كوره است. قطعة جوش داده شده هر چقدر آرام سرد شود اعوجاج كمتري بوجود مي آيد. با سريع سرد كردن قطعه مثلاً قطعه را در دماي محيط يا در آب سرد كنيم باعث بوجود آمدن اعوجاج و ساختارهاي سخت مارتنزيتي مي شود.
- **صافکاری شعله ای:** انجام عملیات حرارتی بعد از جوشکاری هرکجا که مقدور باشد.



- ***آنيل كردن:*** *آنيل كردن يك پروسة عمليات حرارتي است كه براي نرم كردن فلزات جهت كار سرد يا ماشينكاري بكار مي رود. در فرآيند آنيل كردن قطعه ، معمولاً قطعه را در كوره تا دماي بحراني (براي فولاد با 0.52 درصد كربن حدود 820 - 723 درجة سانتيگراد مي باشد.) حرارت داده و سپس به آرامي سرد مي كنند.*
- ***تنش زدائی:*** *تنش زدايي ، حرارت دهي يكنواخت قطعات جوش شده تا دماي زير دماي بحراني است كه با سرد كردن آرام دنبال مي شود ، اين فرآيند نقطه تسليم فلز را كاهش مي دهد لذا تنش هاي باقيمانده در فلز كاهش مي يابند.*
- ***نرمال كردن:*** *نرمال كردن ، پروسه اي براي ريز كردن ساختار دانه اي فلز است كه باعث بهبود مقاومت آن در برابر شوك و خستگي مي شود. در نرمال كردن قطعات جوش شده تا بالاي دماي بحراني (براي فولاد با 0.25 درصد كربن 820 درجة سانتيگراد مي باشد) تقريباً يك ساعت براي هر 25 mm ضخامت ، حرارت مي دهند و سپس در هوا سرد مي شود. (مستقيم كاري)*

- ***صافکاری مکانیکی***(پرس کاری، چکش کاری، نورد):
- ***گرم نگه داشتن*** جوش با استفاده از روش جوشکاری پله ای برای قطعات ضخیم
- ***تقه کاری*** آرام ویکنواخت برای تسکین تنش در موارد مجاز(بجز لایه اول ولایه آخر)
- ***استفاده از پرس*** ودیگروسایل مکانیکی در بعضی موارد(با اجتناب از بروز ترکهای موئی)