Chapter 3th

Welding, Bonding, and the Design of Permanent Joints

به‌یاری فرایندهای پیوند همچون جوشکاری، زردجوش، لحیم‌کاری، سیمان‌کاری و چسب‌زدن، شکل‌ها آسان‌تر و با وظیفه قطعه هماهنگ می‌شوند– فرایندهایی که امروزه به‌فراوانی در ساخت به‌کار می‌رود. هرگاه باید قطعاتی سوار یا ساخته شوند، بهانهٔ خوبی است که این فرایندها هم در طرح‌های مقدماتی بررسی شوند. بخصوص آنگاه که مقاطع قطعات متصل، نازک باشند، یکی از این روش‌ها شاید به صرفه‌جویی چشمگیر برسد. حذف هزینه چندین متصل‌کننده، سوراخ‌ها و سوار کردن‌شان، کار مهمی است. همچنین برخی از روش‌ها که امکان نصب سریع می‌دهد، آنها را بیشتر جالب می‌کند.

اتصال‌های دائمی با پرچ وسیلهٔ متداولی برای اتصال شکل‌های فولادی نوردشده بودند. حیرت دوران بچگی از دیدن یک پرچ داغ به‌رنگ قرمز گیلاسی که با انبر در طول اسکلت ساختمان پرتاب می‌شد تا کسی آن را با سطل مخروطیش بی‌خطا بگیرد و با پتک بادی به‌شکل نهایی درآورد، همه رفته‌اند. ظهور دو تغییر، پرچکاری را از رونق انداخت. نخست، ساخت پیچ و مهره‌های بسیار مقاوم با پیش‌بار کنترل‌پذیر، و دومی هم پیشرفت جوشکاری که چه از نظر هزینه و چه گستره شکل‌های ممکن گوی رقابت را ربود.

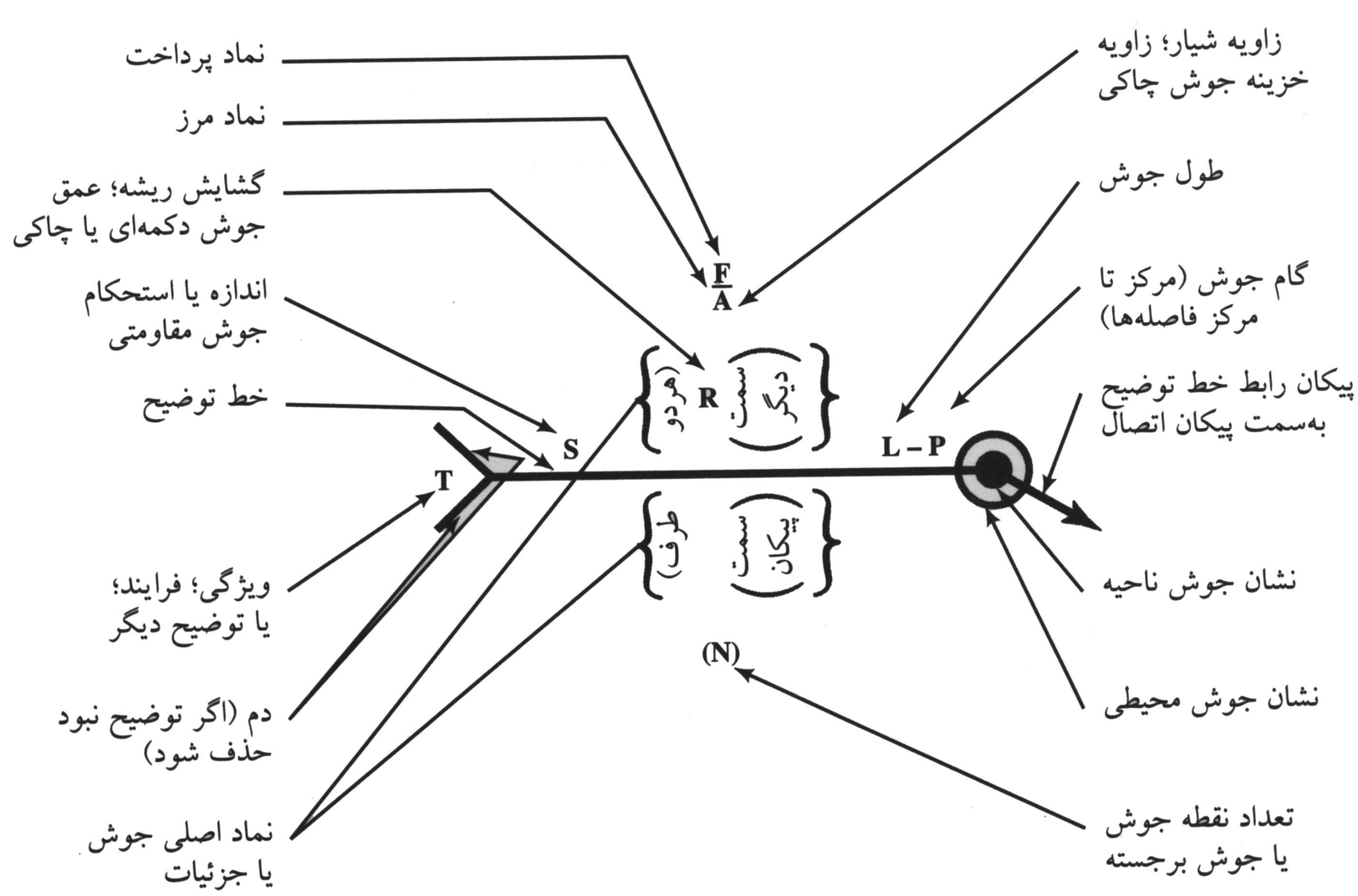
۹-۱ نمادهای جوشکاری (Welding Symbols)

هر قطعه جوشکاری از جوش‌دادن تکه‌های فلزی کنارهم که به‌شکل‌های معین بریده شوند شکل می‌گیرد. برای جوشکاری تکه‌ها، گاهی باید با گیره یا نگهدارنده، دقیق کنار هم باشند. مشخصات جوش را باید به‌درستی در نقشهٔ ساخت آورد. این کار به‌کمک نمادهای جوشکاری استانداردهای جوشکاری (AWS) انجام می‌شود (شکل ۹-۱)، نماد پیکان به‌سوی درز جوش در نقشه است. همه اجزای نماد که بنا به نیاز به‌کار می‌رود به‌ترتیب زیر است:

- خط توضیح
- پیکان
- نمادهای اصلی جوش (شکل ۹-۲)

شکل ۹-۱

نماد استاندارد جوشکاری آمریکا AWS، موضع اجزای نماد را می‌بینیم.



- اندازه‌ها و دیگر اطلاعات
- نماد پرداخت
- دُم
- مشخصات یا فرایند

سمت پیکان یک پیوند، خط، سمت، سطح یا عضو نزدیکی است که به آن اشاره دارد. سمت مقابل سمت پیکان را سمت دیگر گویند.

شکل‌های ۹-۳ تا ۹-۶ انواع جوش‌هایی است که طراح بیشتر به‌کار می‌برد. در قطعات ماشین، جوش گلویی بیشتر به‌کار می‌رود، هرچند که در طرح مخزن‌های با فشار، جوش لب‌به‌لب زیاد به‌کار می‌رود، فاصله بین تکه‌ها باید برای جوشکاری به‌درستی تنظیم شود. اتصال‌های نامعمول به‌علت لقی نامناسب یا شکل مقطع، ضعیف و نامناسب است و طراح باید در پی طرح مناسب‌تر باشد.

گرمای جوشکاری، ممکن است ساختمان درونی فلز اطراف جوش را تغییر دهد. همچنین، گیره یا نگهدارنده، یا گاهی ترتیب جوشکاری می‌تواند تنش‌های پسماند حرارتی پدید آورد. این تنش‌ها گاهی

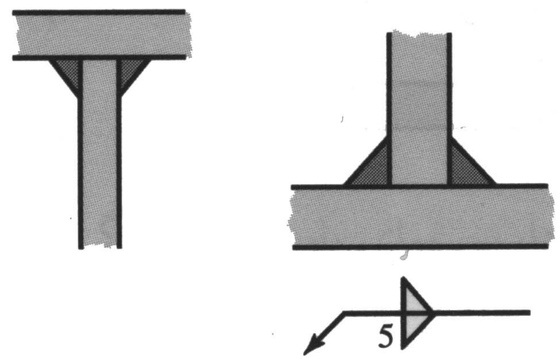
شکل ۹-۲

نمادهای جوش با برق یا گاز.

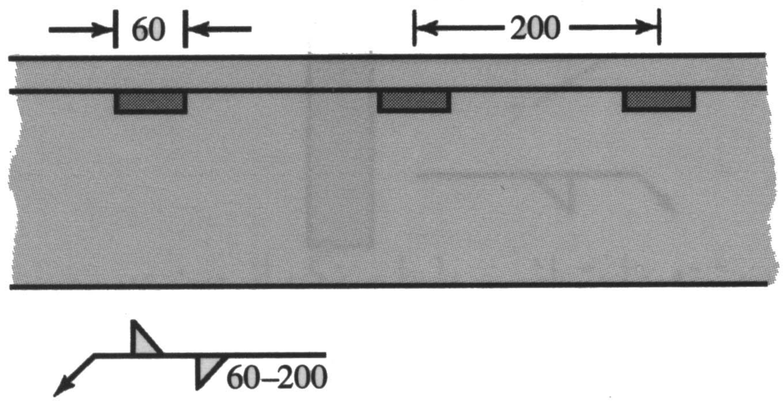
نوع جوش						
شیار					گلویی	گرده ماهی
J	U	تک‌پخ	V	گونیا	چاک یا دکمه	

شکل ۹-۳

جوش‌های گلویی. (الف) عدد، اندازهٔ ساق جوش است،* اگر جوش دو سمت یکسان باشد، پیکان تنها به یکی اشاره دارد. (ب) این نماد یعنی جوش ناپیوسته با تکه های 60 mm در گام 200 mm.



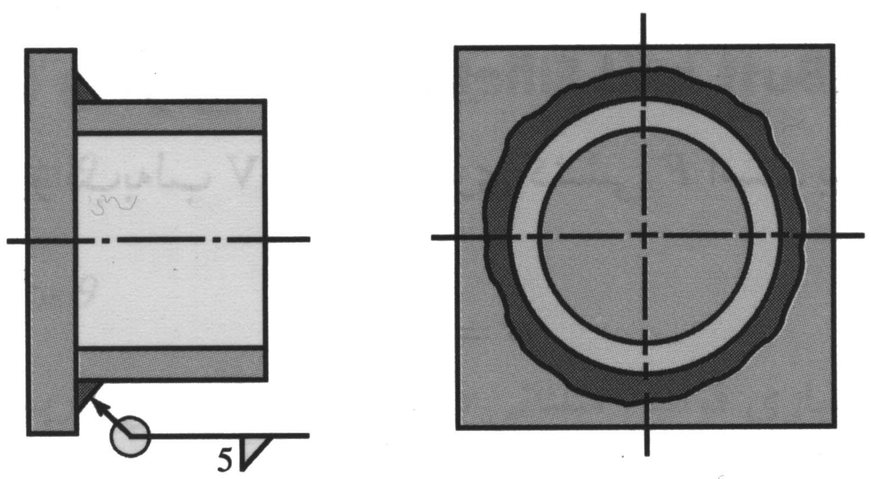
(الف)



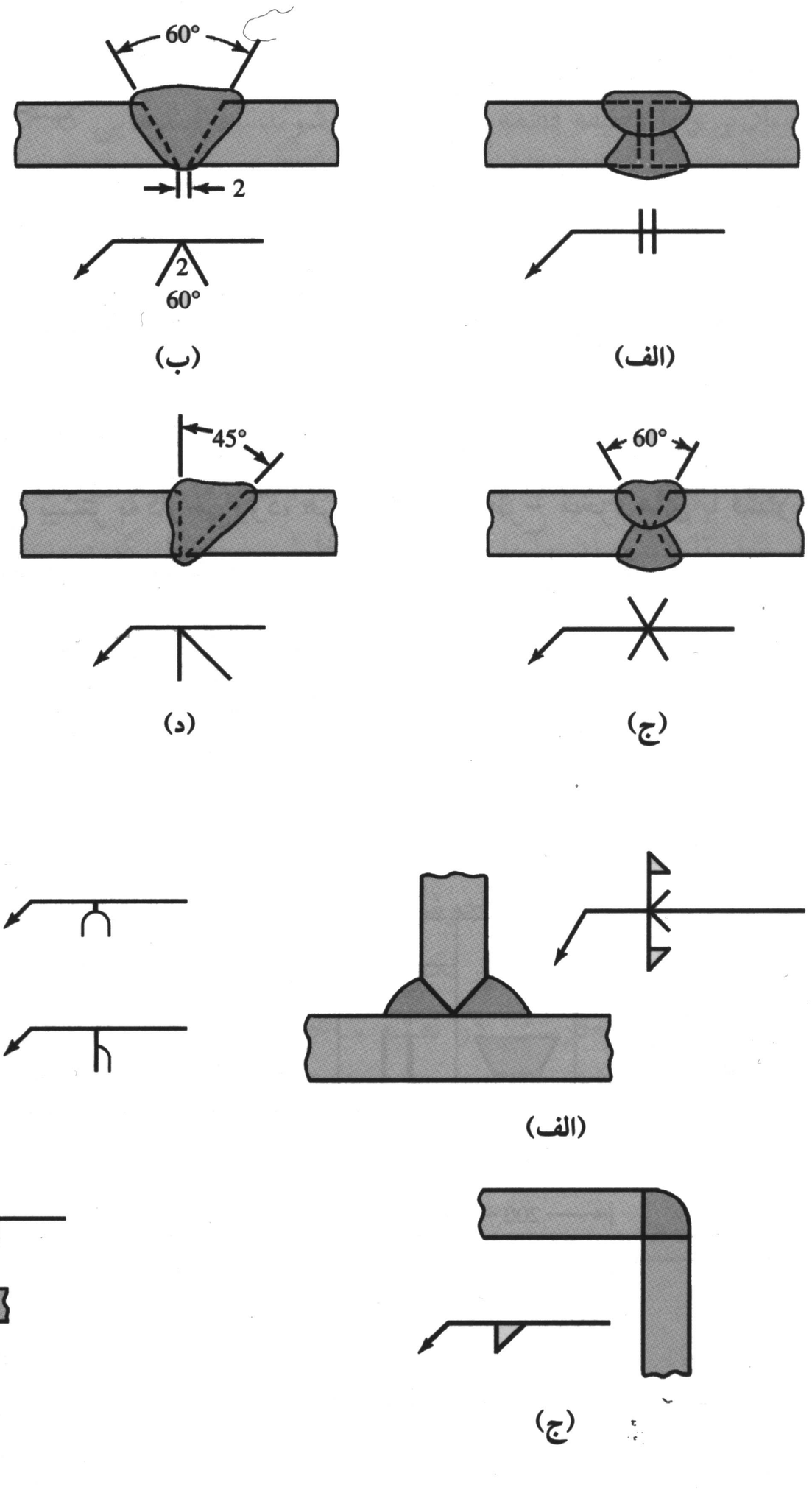
(ب)

شکل ۹-۴

نشان دایره روی نماد جوش یعنی جوش در همه محیط است.



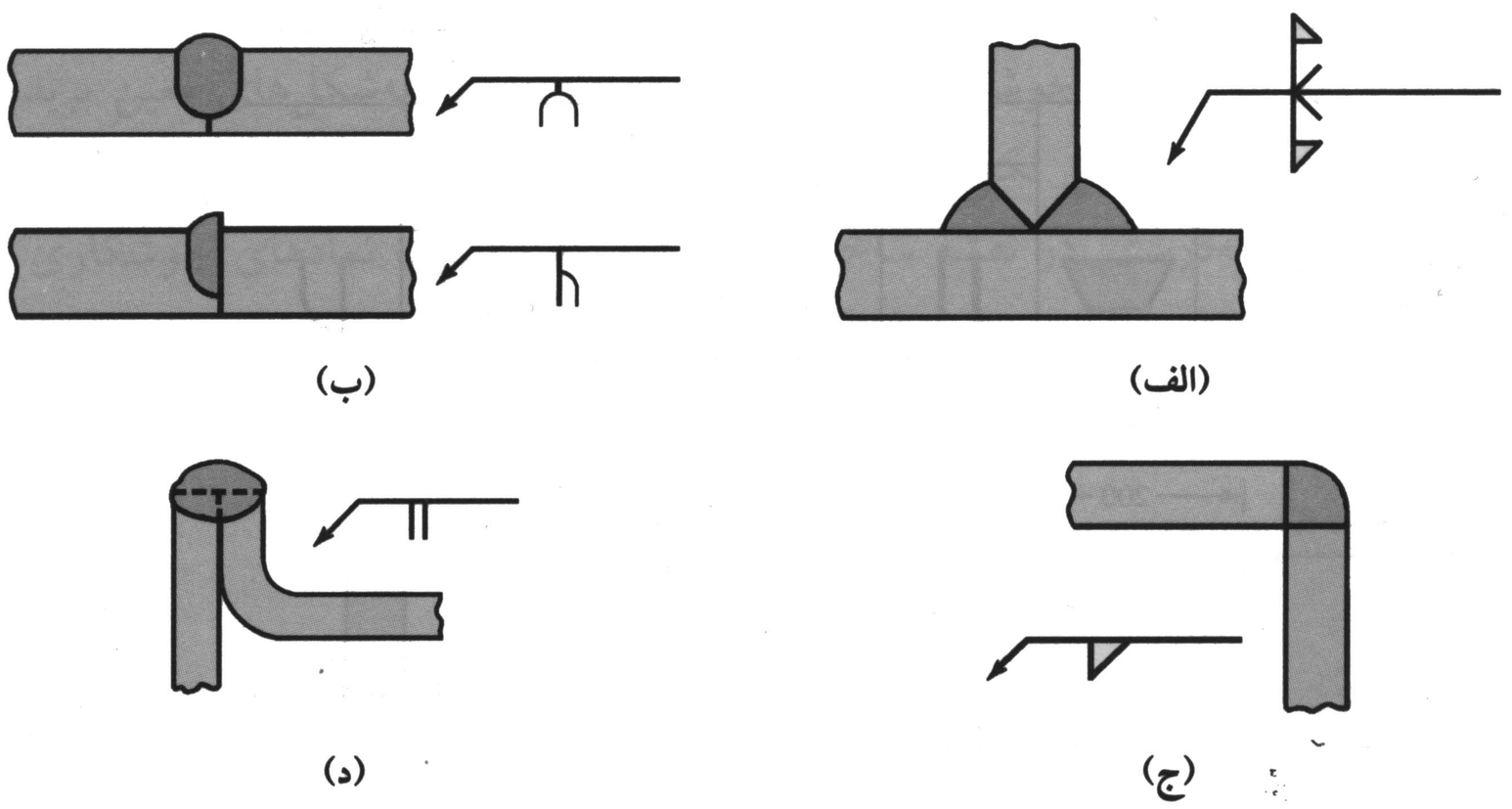
* در سیستم‌های استاندارد متری جوشکاری، به‌جای ساق جوش، اندازهٔ کلفتی جوش داده می‌شود. م.



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۹-۵

درز جوش‌های لب‌به‌لب (butt): (الف) درز جوش گونیا، لب‌به‌لب دوطرفه؛ (ب) درز V، یک‌طرفه °60، دهانه ریشه 2 mm؛ (ج) درز X و یا V دوطرفه؛ (د) درز تک پخ.



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۹-۶

درز جوش‌های ویژه: (الف) درز جوش T یا سپری ورق‌های کلفت؛ (ب) جوش‌های لب‌به‌لب U یا J ورق‌های کلفت؛ (ج) جوش گوشه‌ای [برای تقویت بیشتر می‌تواند در درون گوشه پشته (bead) داشته باشد ولی برای بارهای سنگین مناسب نیست. م.]؛ (د) جوش لبه‌ای برای ورق‌های نازک و بار سبک.

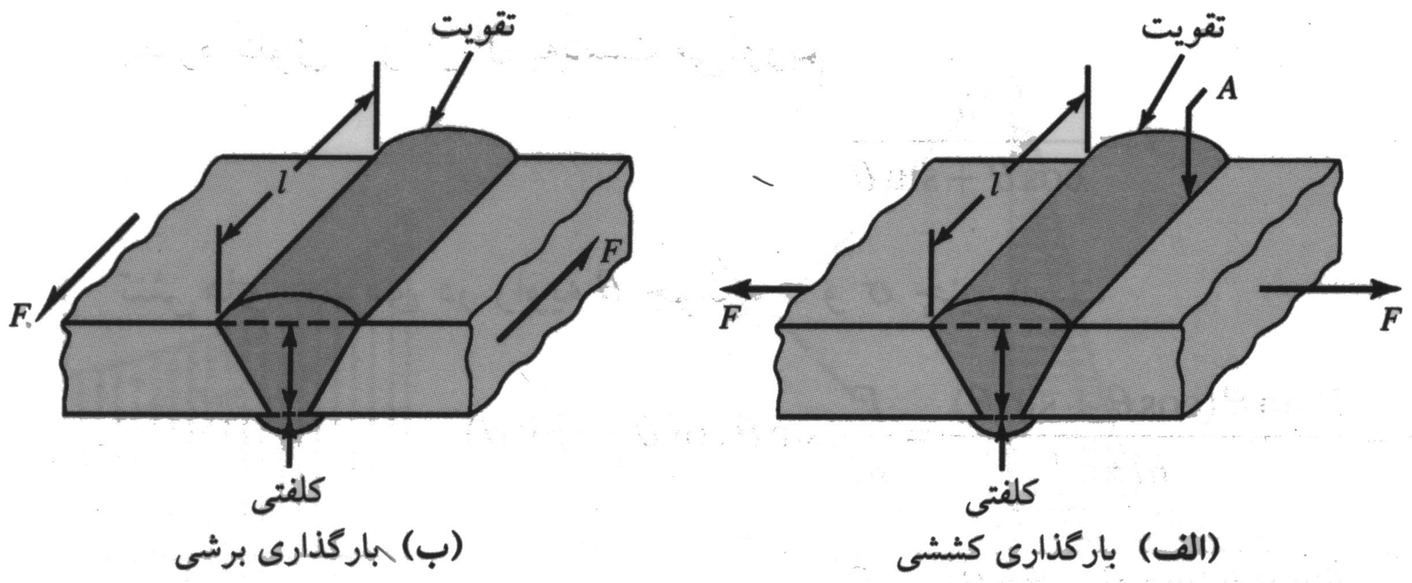
چشمگیرند. گاهی هم کمی گرماکاری پس از جوشکاری در آزادسازی این تنش‌ها سودمند است. برای تکه‌های کلفت، پیش‌گرم مفید است. اگر باید اعتمادپذیری جوش زیاد باشد و برای آگاهی از چند و چون نیاز به تغییر یا تقویت قطعه، باید آزمایش کنیم.

۹-۲ جوش‌های لب‌به‌لب و گلویی (Butt and Fillet Welds)

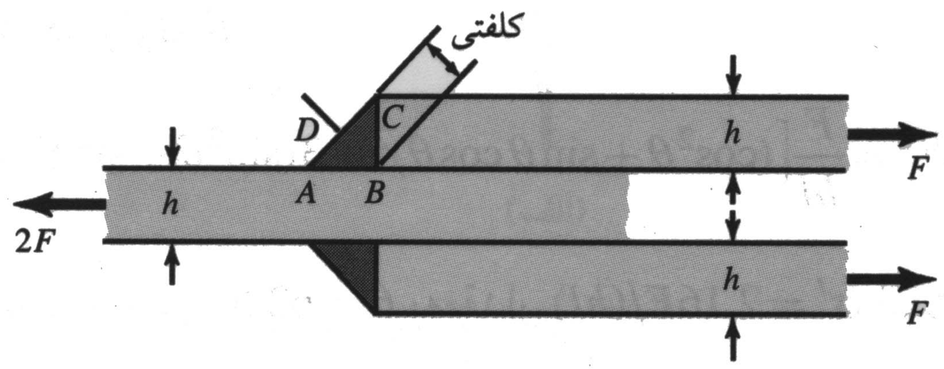
شکل ۹-۷ الف نمایش درز لب‌به‌لب V زیر بار نیروی کششی F است. برای بارهای کششی یا فشاری، تنش عمودی متوسط برابر

$$\sigma = \frac{F}{hl} \tag{۹-۱}$$

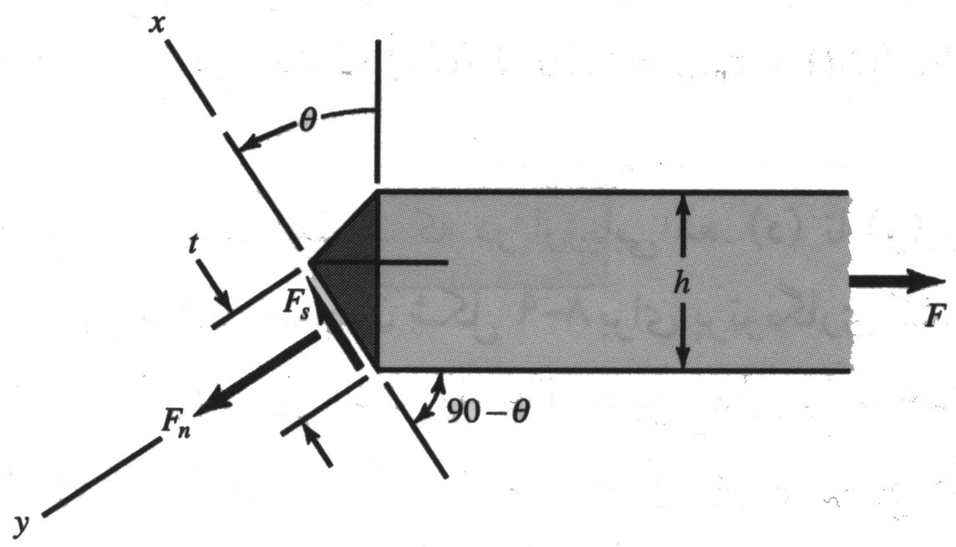
که در شکل، کلفتی h و طول l جوش را می‌بینی. بدان که پشته‌های تقویتی دوطرف جوش حساب نمی‌شود. این پشته برای جبران ترک‌های مویی است. مقدار آن متغیر است و در نقطه A تمرکز تنش



شکل ۹-۷
نمونه پیوند لب‌به‌لب.



شکل ۹-۸
جوش گلویی عرضی.



شکل ۹-۹
پیکر آزاد از شکل ۹-۸.

داریم. برای بارهای خستگی بهتر است پشته را بتراشیم یا با سنگ از بین ببریم.

تنش متوسط بارهای برشی جوش لب‌به‌لب برابر

$$\tau = \frac{F}{hl} \qquad (۹-۲)$$

شکل ۹-۸ نمایش نمونهٔ جوش گلویی عرضی یا روی‌هم است. در شکل ۹-۹ بخشی از پیوند شکل ۹-۸ را به‌صورت پیکر آزاد جدا کرده‌ایم. در زاویه θ، نیروهای هرجوش شامل نیروی عمودی F_n و نیروی برشی F_s است. از جمع‌نیروها در راستای x و y،

$$F_s = F \sin\theta \qquad \text{(الف)}$$

$$F_n = F \cos\theta \qquad \text{(ب)}$$

به‌یاری قوانین مثلثاتی در شکل ۹-۹ چنین داریم

$$\frac{t}{\sin 45^\circ} = \frac{h}{\sin(90^\circ - \theta + 45^\circ)} = \frac{h}{\sin(135^\circ - \theta)} = \frac{\sqrt{2}h}{\cos\theta + \sin\theta}$$

اندازه گلوی t را از آن به‌دست می‌آوریم

$$t = \frac{h}{\cos\theta + \sin\theta} \qquad (ج)$$

تنش‌های عمودی در زاویه θ جوش، τ و σ چنین است

$$\tau = \frac{F_s}{A} = \frac{F\sin\theta(\cos\theta+\sin\theta)}{hl} = \frac{F}{hl}(\sin\theta\cos\theta+\sin^2\theta) \qquad (د)$$

$$\sigma = \frac{F_n}{A} = \frac{F\cos\theta(\cos\theta+\sin\theta)}{hl} = \frac{F}{hl}(\cos^2\theta+\sin\theta\cos\theta) \qquad (ه)$$

تنش von Mises، σ' در زاویه θ

$$\sigma' = (\sigma^2+3\tau^2)^{1/2} = \frac{F}{hl}\left[(\cos^2\theta+\sin\theta\cos\theta)^2+3(\sin^2\theta+\sin\theta\cos\theta)^2\right]^{1/2} \qquad (و)$$

بزرگ‌ترین تنش von Mises در $\theta = 62.5°$ به‌مقدار $\sigma' = 2.16F/(hl)$ است و مقادیر τ و σ مربوط به آن $\tau = 1.196F/(hl)$ و $\sigma = 0.623F/(hl)$ است.

می‌شود با مشتق‌گیری از مع. (و) در زاویه θ و برابر صفرگرفتن، بیشترین تنش را به‌دست آورد. نقطه پایدار در $\theta = 67.5°$ رخ می‌دهد که $\tau_{max} = 1.207F/(hl)$ و $\sigma = 0.5F/(hl)$ تنش‌های مربوط به آن است.

برخی نتایج تجربی و تحلیلی هستند که در ارزیابی مع. (د) تا (و) و نتیجه‌گیری‌ها مفید است. ساختن مدل جوش گلویی عرضی همچون شکل ۹-۸ برای پرتونگاری کشسانی (photoelastic) آسان، و خوبی آن تعادل شرایط بارگذاری است. Norris چنین مدلی را ساخت که نتایج توزیع تنش در کناره‌های AB و BC جوش را گزارش کرده است.[1] شکل تقریبی نتایج Norris در شکل ۹-۱۰الف آمده است. تمرکز تنش را در A و B ساق افقی و B ساق قائم می‌بینی. وی می‌گوید که تنش در A و B را نتوانست با اطمینان تعیین کند.

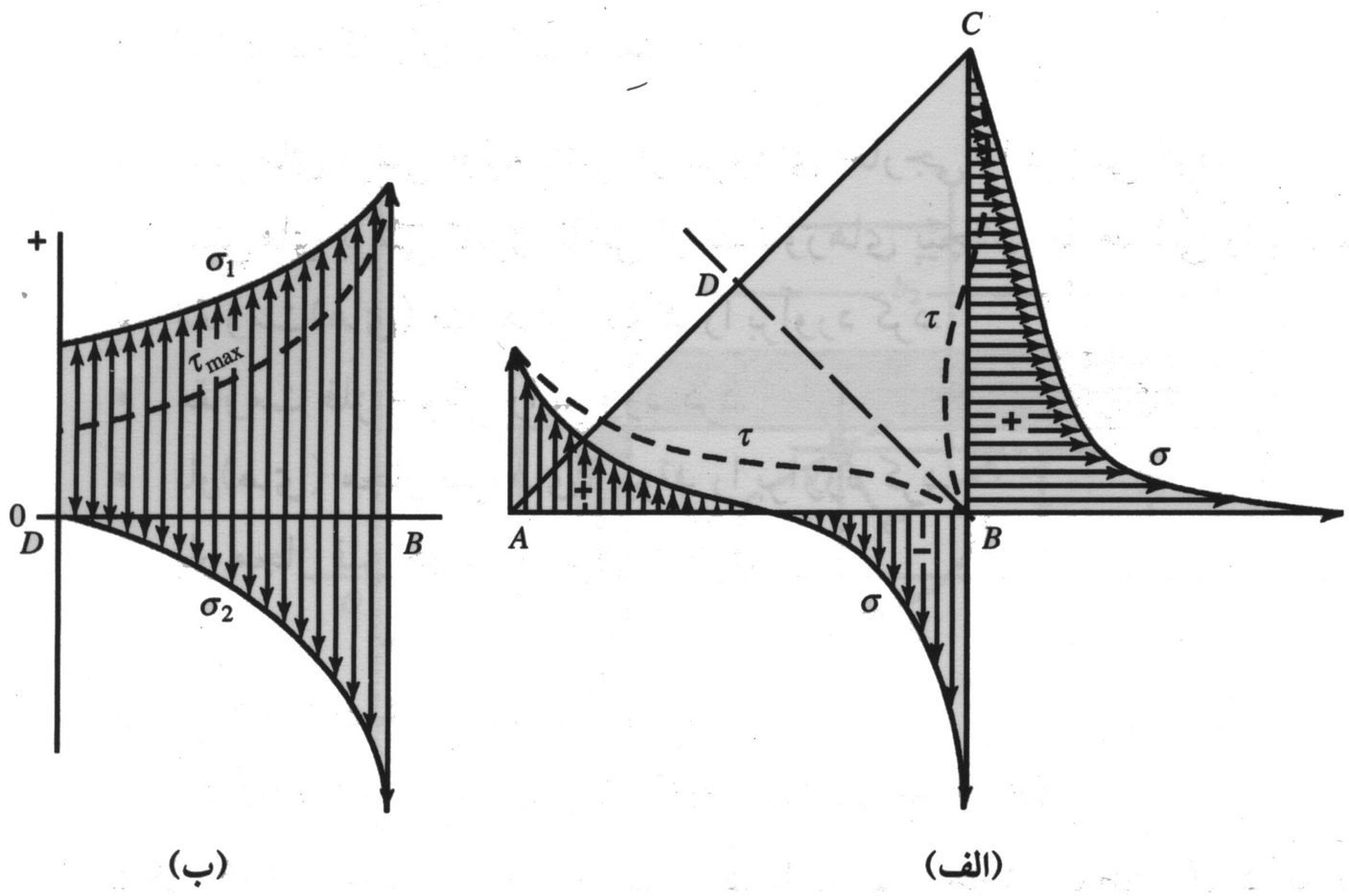
Salakian[2] توزیع تنش در مسیر گلوی (کلفتی) جوش گلویی را همچون شکل ۹-۱۰ب نشان می‌دهد. نکتهٔ مهم این نمودار که هنگام طراحی و تعیین تنش‌ها در کلفتی جوش به‌کار می‌رود در سطور بالا آمد. در شکل می‌بینیم که تمرکز تنش در B پدید می‌آید. بدان که شکل ۹-۱۰الف هم برای فلز جوش و هم فلز مجاور آن به‌کار می‌رود. ولی شکل ۹-۱۰ب فقط برای فلز جوش است.

مع. (الف) تا (و) و نتیجه‌گیری‌ها، آشنا می‌نمایند و با آنها راحتیم. نتایج پرتونگاری کشسانی و تحلیل اجزای محدود هندسه جوش گلویی عرضی بیشتر به شکل ۹-۱۰ می‌ماند، تا آنچه از روش‌های مکانیک مواد یا کشسانی (elasticity) به‌دست می‌آید. مهم‌ترین مشغولی فکری این است که **هیچ رسش تحلیلی برای پیش‌بینی تنش‌های واقعی نداریم**. شکل هندسی جوش گلویی را استاندارد ماشین‌ها شکل می‌دهند که حتی اگر ایده‌ال هم باشد، هندسه کلی آن برای روش‌هایی که داریم بسیار خشن و پیچیده

---

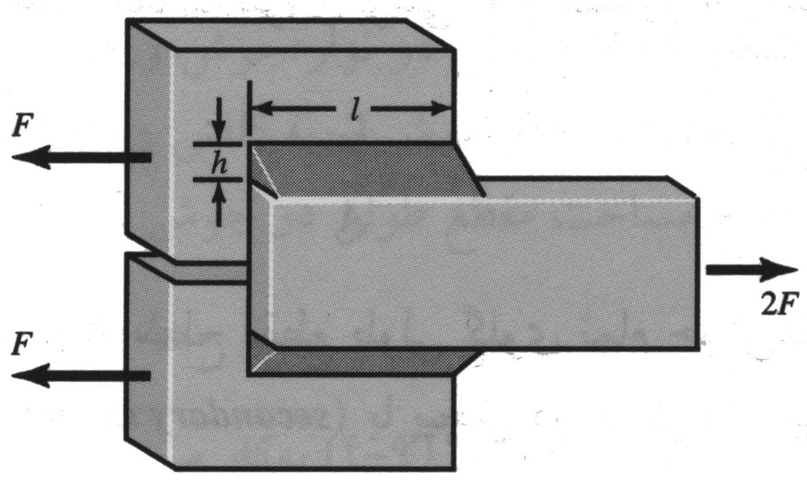
1. C. H. Norris, "Photoelastic Investigation of Stress Distribution in Transverse Fillet Welds," *Welding J.*, vol. 24, 1945, p. 557s.

2. A. G. Salakian and G. E. Claussen, "Stress Distribution in Fillet Welds: A Review of the Literature," *Welding J.*, vol. 16, May 1937, pp. 1–24.



شکل ۹-۱۰

توزیع تنش در جوش گلویی: (الف) توزیع تنش روی ساق‌های جوش طبق گزارش Norris؛ (ب) توزیع تنش‌های اصلی و بیشترین تنش برشی طبق گزارش Salakian.



شکل ۹-۱۱

جوش گلویی موازی.

است. تنش‌های خمشی ظریفی هم ناشی از ناهم‌مرکزی هست. هنوز در نبود یک تحلیل قوی، باید جوش‌ها را تعیین کرد و پیوند حاصل هم ایمن باشد. راه رسش باید مدلی ساده و محتاطانه داشته باشد که آزمون نیز محتاطانه بودنش را گواهی دهد. راه رسش چنین است:

- بارگذاری خارجی را، نیروی برشی در مقطع گلوی جوش بگیر. با چشمپوشی از تنش عمودی در گلوی جوش، تنش‌های برشی آن‌قدر بزرگ می‌شوند که مدل محتاطانه را تأمین کند.
- برای تنش‌های مهم، انرژی واپیچش را به‌کار ببر.
- موارد متداول را با دستور (code) مشخص کن.

با این الگو، پایه تحلیل یا طراحی جوش را رابطه زیر بگیر.

$$\tau = \frac{F}{0.707\,hl} = \frac{1.414F}{hl} \qquad (۹-۳)$$

که برای همهٔ نیروی F یک تنش برشی در جای کمترین کلفتی جوش منظور می‌شود. بدان که اینکار میزان بیشترین تنش برشی برآوردشده را با ضریب $1.414/1.207 = 1.17$ بیشتر می‌کند. تازه اگر دو جوش گلویی موازی در شکل ۹-۱۱ را با دوجوش شکل ۹-۸ که هریک نیروی F را انتقال می‌دهد بسنجیم، در شکل ۹-۱۱ بیشترین تنش برشی در مقطع کمترین کلفتی گلوی جوش است که مع. (۹-۳) برایش معتبر است.

در شرایط بارگذاری مرکب باید:

- تنش‌های برشی اولیه ناشی از نیروهای خارجی را بررسی کرد.
- تنش‌های برشی ثانوی ناشی از گشتاورهای پیچشی یا خمشی را بررسی کرد.
- مقاومت(های) فلز(های) پیوند را برآورد کرد.
- مقاومت فلز جوش را برآورد کرد.
- بار(های) مجاز فلز(های) پیوند را برآورد کرد.
- بار مجاز فلز جوش را برآورد کرد.

۹-۳ تنش در پیوند جوش زیرپیچش (Stresses in Welded Joints in Torsion)

شکل ۹-۱۲ نمایش قطعهٔ یک‌سر آزاد، با دو نوار جوش به‌طول l، که به یک ستون پیوند شده است. عکس‌العمل در تکیه‌گاه این قطعه، همیشه نیروی برشی V و گشتاور M است. نیروی برشی، **برش اولیهٔ** (***primary shear***)،

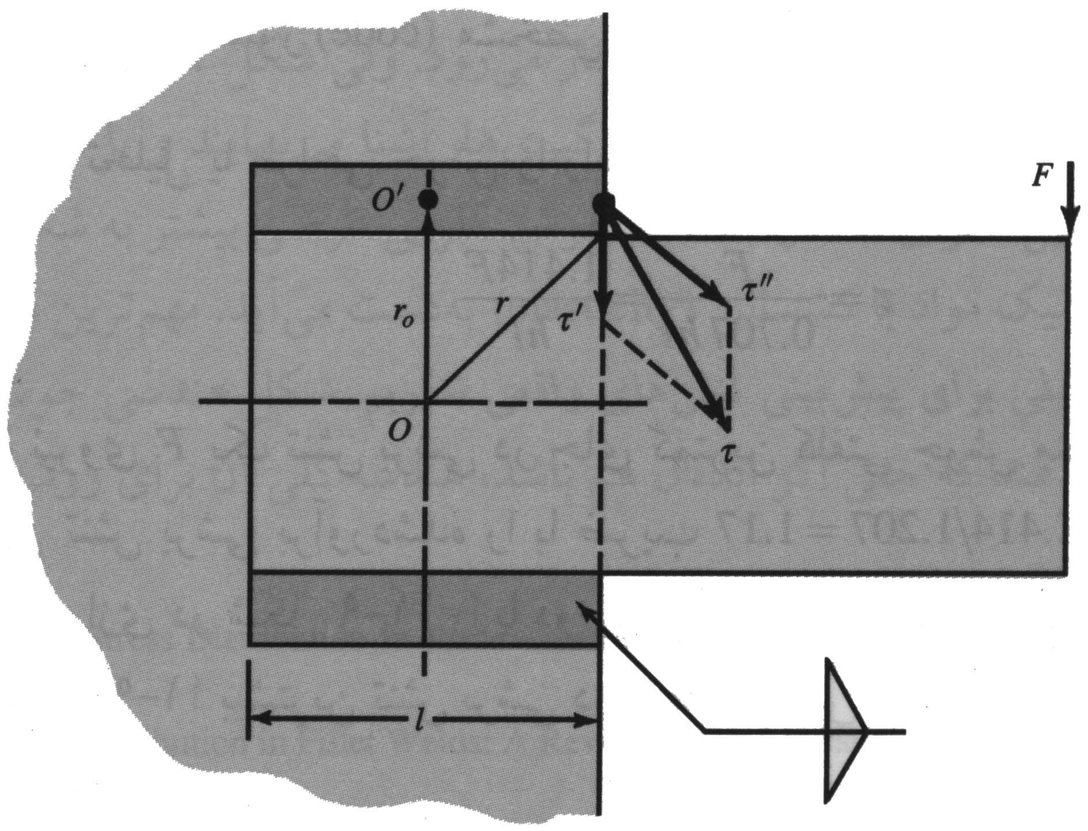
$$\tau' = \frac{V}{A} \qquad (۴-۹)$$

را در جوش‌ها پدید می‌آورد که A سطح مقطع طولی گلوی تمام جوش‌هاست.

گشتاور M، **برش ثانوی** (***secondary shear***) یا **پیچش** در جوش‌ها پدید می‌آورد که تنش آن

$$\tau'' = \frac{Mr}{J} \qquad (۵-۹)$$

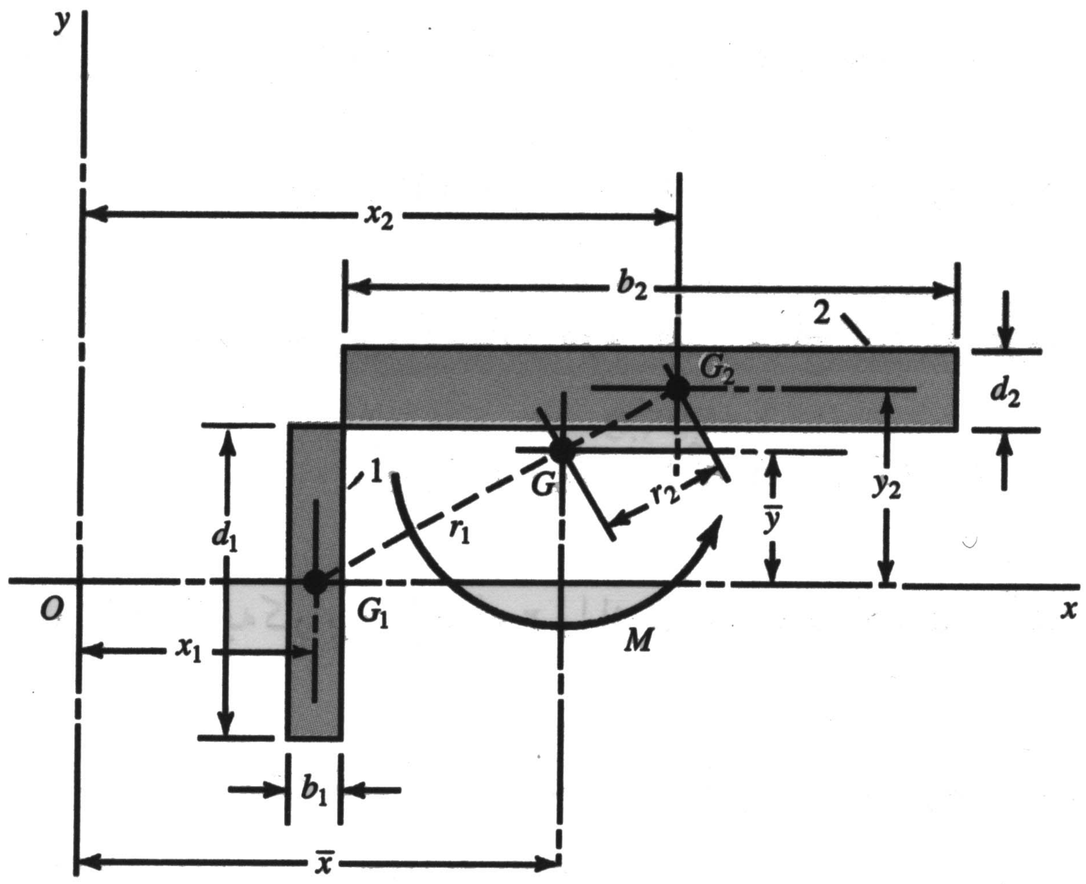
است که r فاصله نقطه در جوش تا مرکز هندسی گروه جوش است و J گشتاور دوم قطبی سطح گروه جوش‌ها نسبت به مرکز هندسی گروه است. اگر اندازهٔ جوش‌ها را بدانیم، با حل معادله‌ها و ترکیب نتایج، بیشترین تنش برشی به‌دست می‌آید. بدان که r بنابه‌معمول دورترین فاصله از مرکز هندسی گروه جوش است.



شکل ۹-۱۲

یک پیوند جوش با گشتاور خمشی که در جوش، پیچش پدید می‌آورد.

شکل ۹-۱۳



شکل ۹-۱۳ نمایش دو نوار جوش و مستطیل‌ها مقطع طولی گلوی جوش است. جوش 1 به کلفتی $b_1 = 0.707\,h_1$ و جوش 2، به کلفتی $d_2 = 0.707\,h_2$ است. بدان که h_1 و h_2 اندازهٔ ساق جوش‌هاست.
جمع مساحت مقطع طولی دو جوش برابر

$$A = A_1 + A_2 = b_1 d_1 + b_2 d_2 \qquad \text{(الف)}$$

این مساحت در مع. (۹-۴) به‌کار می‌رود.
در شکل ۹-۱۳ محور x از مرکز هندسی G_1 جوش 1 می‌گذرد. گشتاور دوم سطح این جوش نسبت به محور x برابر

$$I_x = \frac{b_1 d_1^3}{12}$$

و گشتاور دوم آن حول محور موازی y گذشته از G_1 هم، برابر

$$I_y = \frac{d_1 b_1^3}{12}$$

است. پس گشتاور دوم قطبی سطح جوش 1 نسبت به مرکز خودش

$$J_{G1} = I_x + I_y = \frac{b_1 d_1^3}{12} + \frac{d_1 b_1^3}{12} \qquad \text{(ب)}$$

و گشتاور دوم قطبی سطح جوش 2 نسبت به مرکز خودش G_2

$$J_{G2} = \frac{b_2 d_2^3}{12} + \frac{d_2 b_2^3}{12} \qquad \text{(ج)}$$

مختصات مرکز هندسی هردو جوش G چنین است

$$\bar{x} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A} \qquad \bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A}$$

بازهم بنا به شکل ۹-۱۳ فاصله G_1 و G_2 از G یعنی r_1 و r_2 به‌ترتیب

$$r_1=\left[(\overline{x}-x_1)^2+\overline{y}^2\right]^{1/2} \qquad r_2=\left[(y_2-\overline{y})^2+(x_2-\overline{x})^2\right]^{1/2}$$

حال بنا به قضیه محورهای موازی، گشتاور دوم قطبی سطح این دوجوش به‌دست می‌آید

$$J=(J_{G1}+A_1r_1^2)+(J_{G2}+A_2r_2^2) \qquad \text{(د)}$$

این را باید در مع. (۹-۵) به‌کار برد. فاصله r را از G اندازه می‌گیریم و گشتاور M نسبت به G محاسبه می‌شود.

روش معکوس آن، داشتن تنش برشی مجاز و یافتن اندازه جوش است. مرسوم است که با فرض اندازه‌ای برای جوش، با سعی و خطا به پاسخ برسیم.

در مع (ب) و (ج) به‌ترتیب دو مقدار b_1^3 و d_2^3 را می‌بینی که توان سوم عرض جوش است. هردو اینها کوچکند و از آنها چشم می‌پوشیم.[I] با این کار دو جمله $b_1d_1^3/12$ و $d_2b_2^3/12$ می‌مانند که نسبت به عرض جوش‌ها تغییر خطی دارند و همین‌جور J_{G1} و J_{G2}. اگر عرض جوش‌های b_1 و d_2 را واحد بگیریم، مانند آن است که هر نوار جوش یک خط به کلفتی واحد است. پس گشتاور دوم قطبی سطح حاصل، **گشتاور دوم قطبی سطحی به عرض واحد** (J_u) می‌شود؛ خوبی این کار، بی‌اثر شدن اندازهٔ جوش بر مقدار (J_u) است. چون کلفتی جوش گلویی $0.707h$ است، رابطه J با مقدار واحد آن (J_u) برابر

$$J=0.707hJ_u \qquad (۹-۶)$$

است که J_u برای سطحی به عرض واحد را به‌روش‌های مرسوم می‌یابیم. برای گروهی نوار جوش همچون شکل ۹-۱۲، باید فرمول انتقال را برای J_u به‌کار برد. جدول ۹-۱ فهرست سطح کلفتی جوش و مقادیر گشتاور دوم قطبی سطح با عرض واحد برای بیشتر درز جوش‌های گلویی متداول است. نمونه‌ای از روش معمول محاسبات درپی می‌آید.[II]

[I] پیام این جمله آن است که مقدار $d_1b_1^3$ نسبت به $b_1d_1^3$ در مع. (ب) و مقدار $b_2d_2^3$ نسبت به $d_2b_2^3$ در مع. (ج) بسیار اندک است. م.

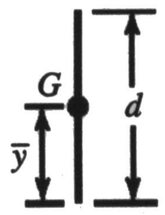
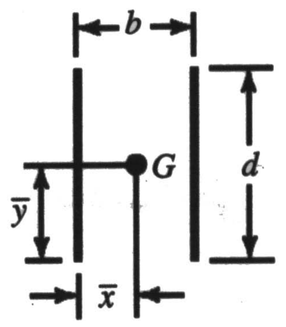
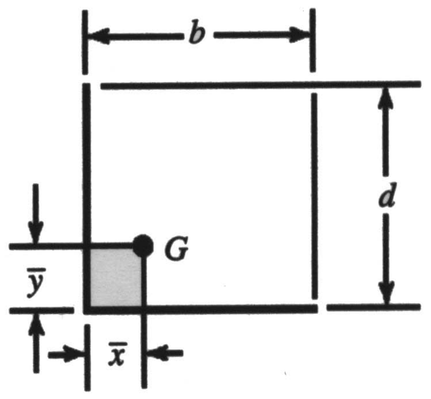
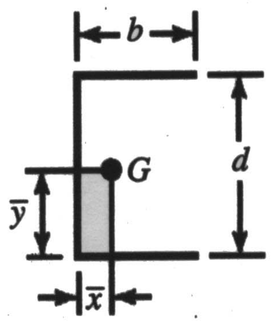
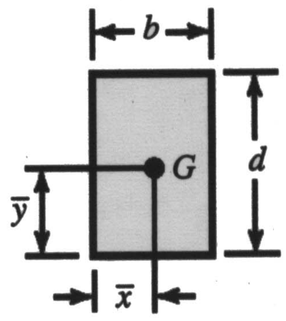
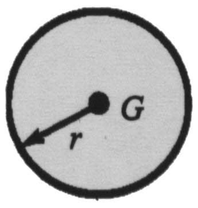
[II] در دو پاراگراف بالا، نویسندهٔ کتاب از بخت بد دو خطای مهم کرده است:

نخست آنکه ضمن اشاره به b_1^3 و d_2^3 و در نظر گرفتن کلفتی واحد برای هر جوش نتیجه گرفته که در J_u، اندازهٔ جوش بی‌اثر است. حال آنکه در نخستین سطر درون جدول ۹-۱ می‌بینیم که برای J_u، مقدار $d/12$ نیامده است، یعنی جمله دوّم مع. (ب) که $d_1b_1^3/12$ باشد و یا جمله نخست مع. (ج) که $b_2d_2^3/12$ باشد، حذف شده است. علت آن‌هم کوچکی آنها دربرابر $d^3/12$ است و چون مقدار J در مخرج رابطهٔ تنش می‌آید، حذف آن مقدار کم، ضمن سادگی روابط در جهت محتاطانه است یعنی تنش را بیشتر می‌کند.

خطای دوم این‌که کلفتی جوش گلویی را $0.707h$ گرفته است. حال آن‌که این مقدار فقط، زمانی معتبر است که لبه قطعه گونیا باشد؛ برای نمونه شکل ۹-۶ الف را ببینید. بدبختانه در سرتاسر این فصل هیچ راهنما و توضیحی برای خواننده از این بابت که برای قطعات مکانیکی بسیار مهم است و وجوه کیفیت و صرفه‌جویی هزینه و دور از تنش‌های پسماند را دربر دارد، نیامده، مدرسین محترم به این نکته توجه فرمایند. م.

جدول ۹-۱

خواص پیچشی جوش‌های گلویی*

جوش	سطح مقطع جوش	موضع G	گشتاور قطبی دوم واحد سطح
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \dfrac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(b+d)$	$\bar{x} = \dfrac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \dfrac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \dfrac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b+d)$	$\bar{x} = \dfrac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \dfrac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \dfrac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b+d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \dfrac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414\pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

*G مرکز گرانش گروه جوش؛ h اندازهٔ جوش؛ صفحهٔ گشتاور پیچشی در صفحه کاغذ است؛ و همهٔ جوش‌ها با عرض واحد است.

نمونه ۹-۱ شکل ۹-۱۴ نمایش یک اتصال جوش به تیر ناودانی فولادی است و بار 50 kN را انتقال می‌دهد. بیشترین تنش در جوش را حساب کن.

راه حل[۳] (الف) انتها و گوشه‌های هر جوش را نام‌گذاری کن. شاید بهتر باشد که هر جوش شماره‌گذاری شود، شکل ۹-۱۵.

(ب) تنش برشی اولیه τ' را محاسبه کن، بنا به شکل ۹-۱۴، هر ورق با سه جوش گلویی 6 mm به ناودانی جوش می‌شود. بنا به شکل ۹-۱۵ فقط یکی از ورق‌ها با نصف بار بررسی می‌شود. از حالت ۴ جدول ۹-۱، سطح کلفتی جوش برابر با

$$A = 0.707(6)[2(56)+190] = 1280 \text{ mm}^2$$

پس تنش برشی اولیه

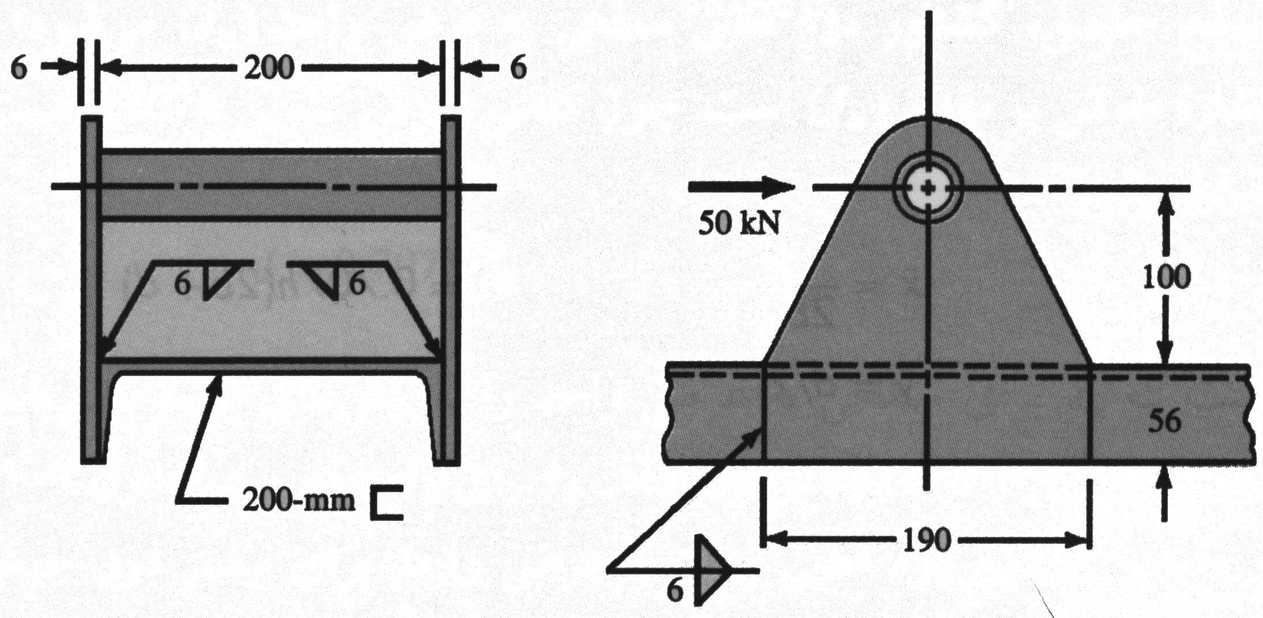
$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{25(10)^3}{1280} = 19.5 \text{ MPa}$$

(ج) تنش τ' را در هر گوشه یا سر نام‌گذاری شدهٔ جوش بکش، شکل ۹-۱۶.

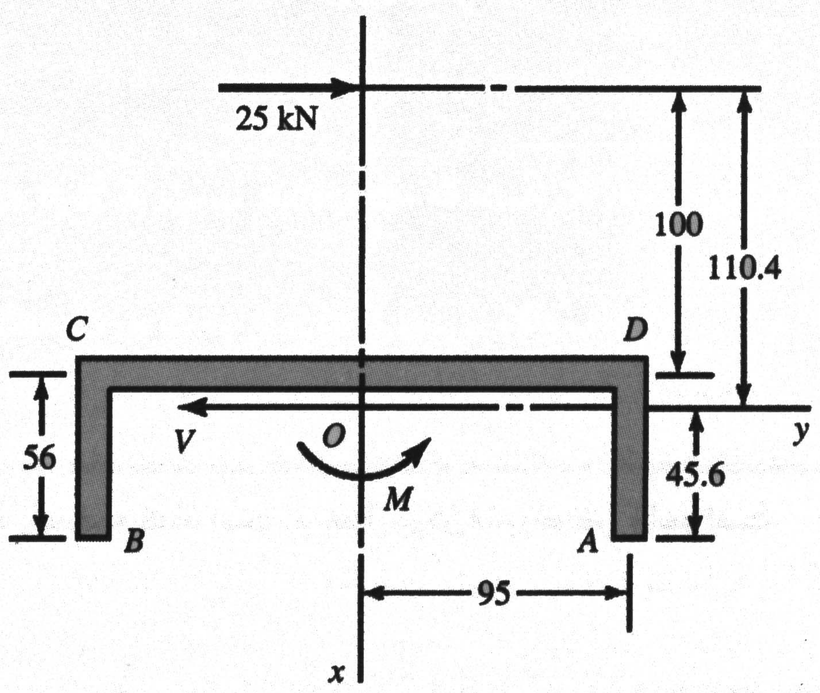
(د) جای مرکز هندسی طرح وضعیت جوش را پیدا کن، که با حالت ۴ در جدول ۹-۱ به‌دست می‌آید

$$\bar{x} = \frac{(56)^2}{2(56)+190} = 10.4 \text{ mm}$$

که نقطه O در شکل‌های ۹-۱۵ و ۹-۱۶ است.

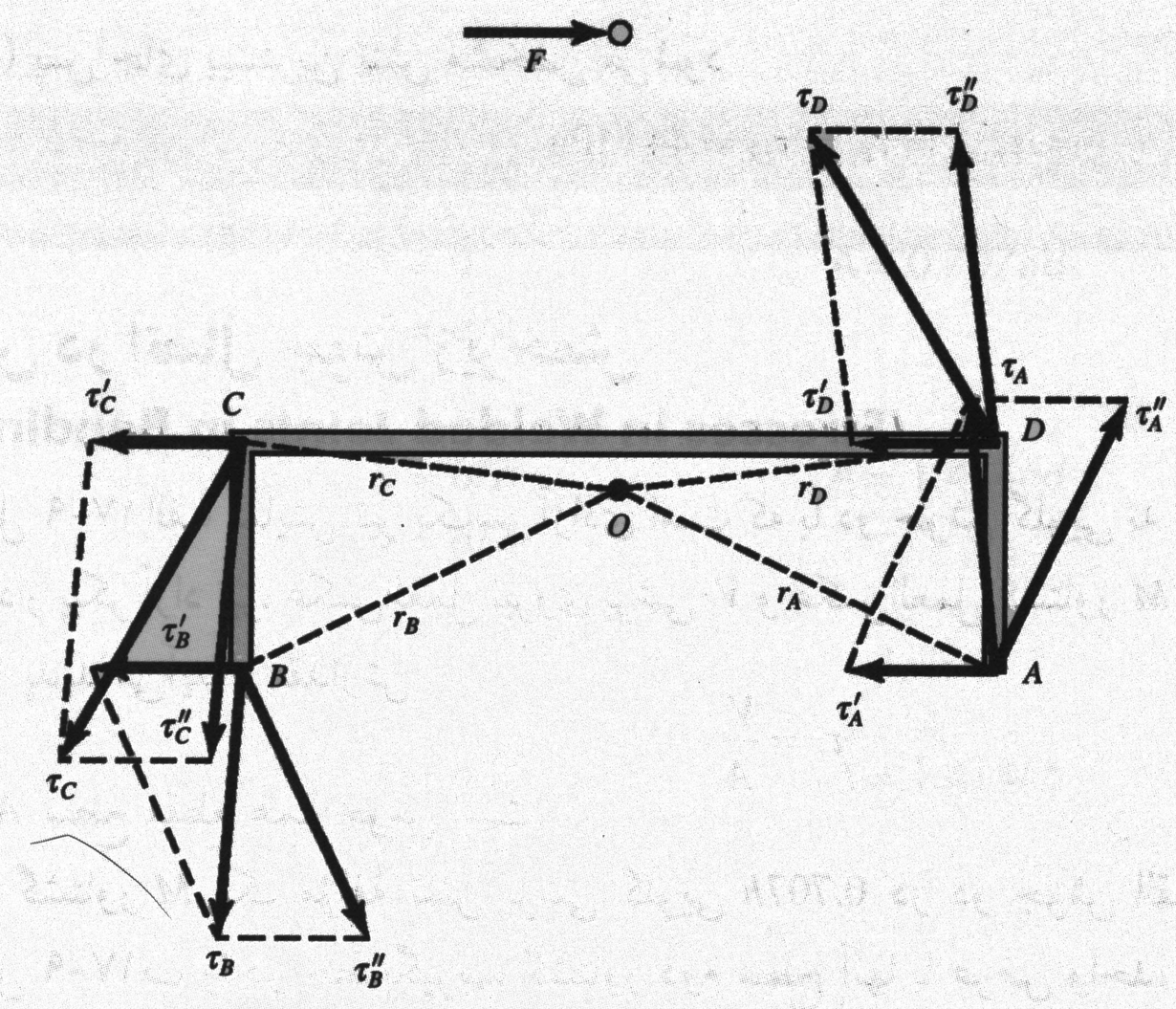


شکل ۹-۱۴



شکل ۹-۱۵
شکل هندسی جوش، V و M معرف بارهای وارد از جوش به‌ورق است.

۳. جزئیات تحلیلی که در اینجا آمده را مرهون پروفسور G. Piotrowski از دانشگاه Florida و روش تحلیل جوش وی هستیم. J.E.S، C.R.M.، R.G.B.



شکل ۹-۱۶
نمودار پیکر آزاد یکی از دو ورق جانبی.

(هـ) فواصل r_i را همچون شکل ۹-۱۶ به‌دست آور

$$r_A = r_B = \left[(190/2)^2 + (56 - 10.4)^2\right]^{1/2} = 105 \text{ mm}$$

$$r_C = r_D = \left[(190/2)^2 + (10.4)^2\right]^{1/2} = 95.6 \text{ mm}$$

اینها را هم می‌توان روی نقشه با خط‌کش اندازه‌گیری کرد.

(و) بازهم به‌کمک حالت ۴ جدول، J پیدا می‌شود

$$J = 0.707(6)\left[\frac{8(56)^3 + 6(56)(190)^2 + (190)^3}{12} - \frac{(56)^4}{2(56) + 190}\right]$$

$$= 7.07(10)^6 \text{ mm}^4$$

(ز) M را پیدا کن.

$$M = Fl = 25(100 + 10.4) = 2760 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(ح) تنش‌های برشی ثانوی τ'' را در هر گوشه یا سر حساب کن.

$$\tau''_A = \tau''_B = \frac{Mr}{J} = \frac{2760(10)^3(105)}{7.07(10)^6} = 41.0 \text{ MPa}$$

$$\tau''_C = \tau''_D = \frac{2760(10)^3(95.6)}{7.07(10)^6} = 37.3 \text{ MPa}$$

(ط) تنش τ'' را در هر گوشه یا سر جوش با مقیاس بکش (شکل ۹-۱۶). می‌دانی، این نمودار پیکر آزاد یکی از دو ورق جانبی است، پس تنش‌های τ' و τ'' از راه جوش‌ها، از ناودانی به ورق می‌رسد تا در حال تعادل باشد.

(ی) با برایند دو مؤلفهٔ برداری تنش در جای هر حرف، چنین می‌شود

$$\tau_A = \tau_B = 37 \text{ MPa}$$

$$\tau_C = \tau_D = 44 \text{ MPa}$$

(ک) پس جای بیشترین تنش مشخص می‌شود

پاسخ $$\tau_{\max} = \tau_C = \tau_D = 44\ \text{MPa}$$

۹-۴ تنش در اتصال جوش زیرخمش (Stresses in Welded Joints in Bending)

شکل ۹-۱۷ الف نمایش تیر یک‌سر آزادی است که با دو جوش گلویی به تکیه‌گاه وصل شده. با رسم نمودار پیکر آزاد تیر، عکس‌العمل نیروی برشی V و عکس‌العمل گشتاور M را می‌بینی. تنش برشی اولیه از V پدید می‌آید و مقدارش

$$\tau' = \frac{V}{A} \qquad \text{(الف)}$$

که A سطح مقطع همه جوش است.

گشتاور M یک مؤلفهٔ تنش برشی گلویی $0.707h$ در دو جوش القاء می‌کند.[۴] اگر دو جوش شکل ۹-۱۷ ب را دو خط بگیریم، گشتاور دوم سطح آنها با عرض واحد، برابر

$$I_u = \frac{bd^2}{2} \qquad \text{(ب)}$$

است. گشتاور دوم سطح همه‌جوش، I برابر

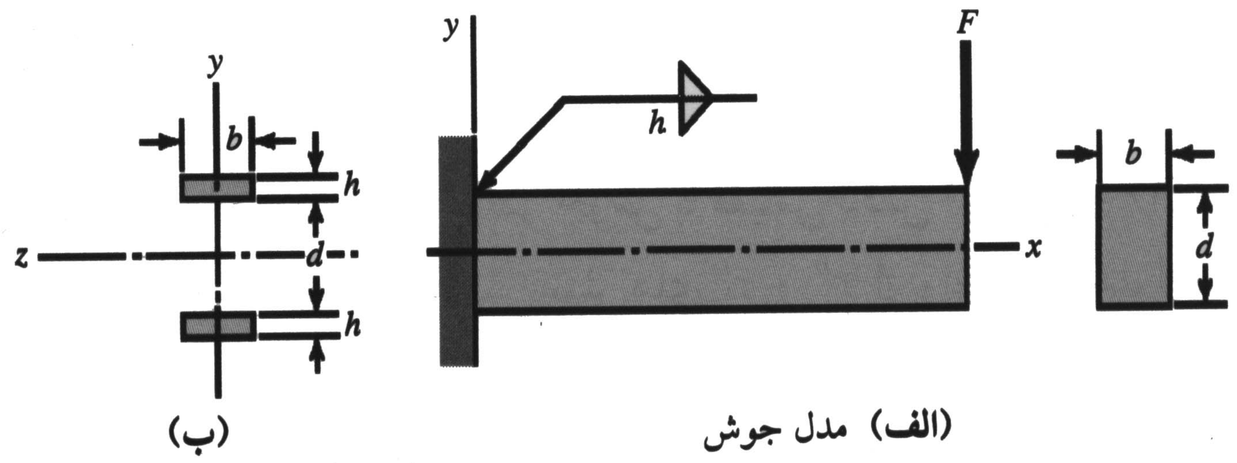
$$I = 0.707h\,I_u = 0.707h\frac{bd^2}{2} \qquad \text{(ج)}$$

پس تنش برشی نامی در گلوی جوش به‌دست می‌آید

$$\tau = \frac{Mc}{I} = \frac{Md/2}{0.707hbd^2/2} = \frac{1.414M}{bdh} \qquad \text{(د)}$$

ضریب این مدل 1.414 است حال آنکه پیش‌بینی بخش ۹-۲، از انرژی واپیچش 1.197 و از بیشترین تنش برشی 1.207 بود. محتاطانه بودن مدل با 1.414 تنها این نیست که بزرگ‌تر از 1.196 یا 1.207 است، بلکه آزمون‌های تعیین اعتبار این مدل، نشان از کفایت بزرگی آن است.

گشتاور دوم سطح در مع. (د) بر پایه فاصله d بین دو جوش است. اگر این گشتاور با مستطیل گرفتن دو جوش به‌دست می‌آمد، فاصله بین مرکز هندسی دو جوش $(d+h)$ بود که سبب افزایش گشتاور دوم سطح و کاهش میزان تنش می‌شد. این روش خط گرفتن هر جوش در محتاطانه بودن مدل دخالت ندارد. این کار بانیِ ساختِ جدول ۹-۲ با همه راحتی کاربردش می‌شود.

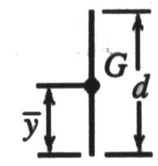
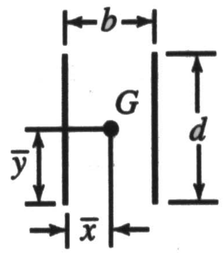
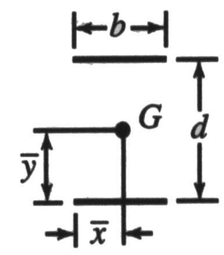
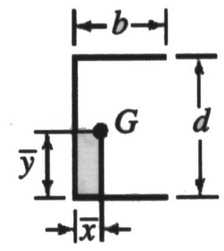
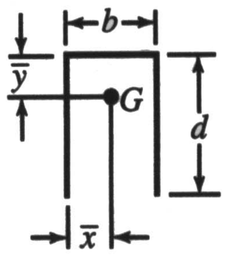
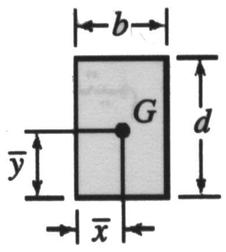
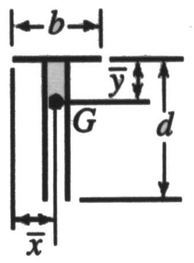
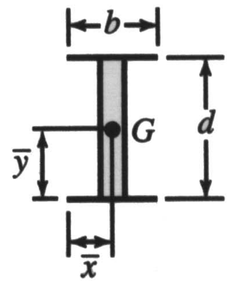
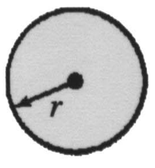


شکل ۹-۱۷
میلهٔ با مقطع مستطیل، یک سر آزاد که به ستون فولادی جوش شده است.

۴. بنا به مدلی که پیش از مع. (۹-۳) شرح دادیم، گشتاور توسط مؤلفه‌های تنش برشی 0.707τ به‌موازات محور x در شکل ۹-۱۷ تحمل می‌شود. مؤلفه‌های y حذف می‌شود.

جدول ۹-۲

خواص خمشی جوش‌های گلویی*

در جوش	سطح گلوی جوش	محل G	گشتاور دوم سطح به‌عرض واحد
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b+d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b+d)$
	$A = 0.707h(b+2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b+d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b+d)$
	$A = 0.707h(b+2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b+d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b+d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

* I_u گشتاور دوم سطح به‌عرض واحد نسبت به محور افقی گذشته از مرکز هندسی G گروه جوش است، h ساق جوش؛ صفحه گشتاور خمشی عمود بر کاغذ و موازی محور y است. همهٔ جوش‌ها یک‌اندازه‌اند.

۹-۵ مقاومت پیوند جوش (The Strength of Welded Joints)

همخوانی خواص الکترود با جنس قطعات پیوند، اغلب به اندازهٔ سرعت جوشکاری، مهارت جوشکار و ظاهر پیوند اهمیت ندارد. خواص الکترودها بسیار متغیر است. ولی فهرست خواص برخی از الکترودها در جدول ۹-۳ آمده است.

در طراحی قطعات جوشکاری بهتر است فولادی به‌کار رود که جوشکاری آن سریع و به‌صرفه باشد، حتی اگر لازم باشد برخی خواص کیفی پیوند همچون تراش‌پذیری را قربانی کنیم. همهٔ فولادها به‌هرحال جوش‌پذیرند، اما بهترین فولادهای پیوند بنا به UNS، مشخصاتی بین G10140 تا G10230 دارند. مقاومت کششی این فولادها اگر گرم‌نورد باشند، بین 400 تا 500 MPa است.

اگر ضرایب ایمنی یا تنش‌های مجازی را که دیگران به‌کار می‌برند طراح بداند، مقادیر مناسب را با اطمینان بیشتر برمی‌گزیند. از بهترین استانداردهای مفید، دستورهای انجمن فولاد ساختمانی آمریکا (AISC) برای ساختمان‌های فلزی است.[۵] آنها به‌جای مقاومت نهایی، مقاومت تسلیم ماده را پایه تنش‌های مجاز می‌گیرند و در این استانداردها، کاربرد فولادهای ساختمانی ASTM با مقاومت تسلیم 230 تا 350 MPa مجاز است.

اگر بار وارد به‌جوش و اجزای پیوند یکسان باشد. این دستورها تنش یکسان در قطعه و جوش را مجاز می‌داند. در این فولادهای ASTM، $S_y = 0.5S_u$ است. جدول ۹-۴، فرمول‌های محاسبه تنش‌های مجاز این استاندارد را در شرایط گوناگون بار نشان می‌دهد. تعیین ضرایب اطمینان برای این استاندارد آسان است و برای کشش $n = 1/0.60 = 1.67$، برای برش و با معیار شکست انرژی واپیچش، $n = 0.577/0.400 = 1.44$ است.

جا دارد بگوییم، فلز الکترود اغلب قوی‌ترین ماده پیوند است. با جوشکاری میله‌ای از فولاد AISI 1010 به میله‌ای از فولاد 1018، مادهٔ پیوند مخلوطی از فلز الکترود و فولادهای 1010 و 1018 است. به‌علاوه، خواص لبه پیوند میله سردکشیده، همچون فولاد گرم‌نورد می‌شود. تازه، گفتیم که

جدول ۹-۳
کمترین خواص فلز جوش

شماره الکترود AWS*	مقاومت کششی kpsi (MPa)	مقاومت تسلیم kpsi (MPa)	درصد افزایش طول
E60xx	62 (427)	50 (345)	17–25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14–17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13–16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

*انجمن جوشکاری آمریکا (AWS)، دستور شماره‌بندی مشخصات الکترودها. در این سیستم، پس از حرف E یک عدد چهار یا پنج رقمی است که دو یا سه رقم نخست مقدار تقریبی مقاومت کششی است. آخرین رقم، متغیرهای فن جوشکاری همچون جریان برق ورودی است. رقم ماقبل آخر وضعیت جوشکاری، تخت، قائم، بالاسری را تعیین می‌کند. مشخصات کامل را از AWS بخواهید.

۵. روگرفت این استاندارد را از AISC, 400 N. Michigan Ave., Chicago, IL 60611. بخواهید.

جدول ۹-۴
تنش‌های مجاز فلز جوش بنا به دستور AISC

نوع بارگذاری	نوع جوش	تنش مجاز	n^*
کشش	لب به لب	$0.60S_y$	1.67
تکیه‌گاهی	لب به لب	$0.90S_y$	1.11
خمش	لب به لب	$0.60–0.66S_y$	1.52–1.67
فشار ساده	لب به لب	$0.60S_y$	1.67
برش	لب به لب یا گلویی	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

*ضریب ایمنی n با نظریه انرژی واپیچشی حساب شده است.
†تنش برشی در فلز پایه، از $0.40S_y$ فلز پایه بیشتر نمی‌شود.

جدول ۹-۵
ضرایب تمرکز تنش خستگی K_{fs}

نوع جوش	K_{fs}
جوش لب به لب پشته‌دار	1.2
پاشنه جوش گلویی عرضی	1.5
سر جوش گلویی لبهٔ گونیا	2.7
پیوند لب به لب T شکل با گوشه‌های تیز	2.0

فلز جوش اغلب قوی‌ترین مادهٔ اجزای پیوند جوش است، پس باید تنش‌ها در تکه‌های پیوند ارزیابی شود.

برای پل‌ها، دستورهای AISC و نیز دستورهای AWS، شامل تنش‌های مجاز بارهای خستگی است که کار با آنها برای طراح مشکلی ندارد، ولی طبیعت تجربی آنها میل به پوشاندن این حقیقت دارد که به‌یاری همان دانش خستگی که در فصل ۷ بحث شد پدید آمده‌اند. البته تنش‌های عملی در سازه‌ها، بنا به این استانداردها نباید بیش از تنش‌های مجاز گردد وگرنه، طراح بنا به قانون مسئول است. لکن در کل، این استانداردها سعی در تأمین حاشیه اطمینان عملی دارند.

ضرایب تمرکز تنش خستگی که در جدول ۹-۵ آمده، برای کار پیشنهاد می‌شود. این ضرایب را باید هم برای فلز قطعات پیوند و هم فلز جوش به‌کار برد. جدول ۹-۶ اطلاعات بارهای آرام و کمترین اندازه‌های کلفتی جوش را می‌دهد.

۹-۶ بارگذاری ایستا (Static Loading)

برخی نمونه‌های پیوند با بار ایستا، برای مقایسه و مقابله با روش تحلیل مرسوم و شیوهٔ دستور استاندارد جوشکاری مفید است.

جدول ۹-۶

بارهای آرام مجاز و کمترین اندازه جوش گلویی

برنامه الف: بار مجاز برای اندازه‌های گوناگون جوش‌های گلویی

سطح مقاومت فلز جوش (EXX)

	60*	70*	80	90*	100	110*	120
تنش برشی مجاز در کلفتی جوش (MPa) (×6.9) جوش گلویی یا شیاردار با نفوذ جزئی							
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0
نیروی واحد مجاز در جوش گلویی، kN/m (×175)							
†$f =$	12.73h	14.85h	16.97h	19.09h	21.21h	23.33h	25.45h

نیروی واحد مجاز برای جوش گلویی با اندازه‌های گوناگون، kN/m (×175)

اندازه ساق، in							
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59

*جوش‌های گلویی در عمل توسط گروه مسؤل AISC-AWS اتصال آزمون می‌شود.

†$f = 0.707h\tau_{all}$.

برنامه ب: کمترین اندازه ساق h جوش گلویی

کلفتی عضو کلفت‌تر اتصال، in			اندازه جوش، in
*تا خود	$\frac{1}{4}$		$\frac{1}{8}$
بیش از	$\frac{1}{4}$	تا $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$
بیش از	$\frac{1}{2}$	تا $\frac{3}{4}$	$\frac{1}{4}$
†بیش از	$\frac{3}{4}$	تا $1\frac{1}{2}$	$\frac{5}{16}$
بیش از	$1\frac{1}{2}$	تا $2\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$
بیش از	$2\frac{1}{4}$	تا 6	$\frac{1}{2}$
بیش از 6			$\frac{5}{8}$

بیش از کلفتی عضو نازکتر نباشد.

*کمترین اندازه برای پل‌سازی کمتر از $\frac{3}{16}$ نباشد.

†برای کمترین اندازه جوش، برای هر $\frac{3}{4}$in کلفتی عضو، اندازه جوش بیش از $\frac{5}{16}$in نشود.

Source: From Omer W. Blodgett (ed.), *Stress Allowables Affect Weldment Design*, D412, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, May 1991, p. 3. Reprinted by permission of Lincoln Electric Company.

نمونه ۹-۲ تکه تسمه‌ای از فولاد 1015 بنا به داده‌های شکل ۹-۱۸ به یک لچکی با دو درز جوش به‌طول‌های 50 mm و کلفتی جوش 6.5 mm با الکترود E70XX جوش شده و زیر بار 70 kN است. شیوهٔ استاندارد را به‌کار ببر.

(الف) آیا مقاومت فلز جوش مناسب است؟

(ب) آیا مقاومت دو تکه مناسب است؟

راه حل (الف) از جدول ۹-۶، نیروی مجاز بر طول واحد جوش به کلفتی $e = 6.5$ از فلز الکترود E70، 990 kN/m (5.57 kip/in) جوش است، پس

$$F = 990l = 990(0.1) = 99\ \text{kN}$$

چون $99 > 70$ kN، مقاومت فلز جوش مقبول است.

(ب) برش در اعضا در مجاور جوش‌ها بررسی می‌شود. از جدول ۹-۴ و جدول الف-۲۰، $S_y = 190$ MPa تنش برشی مجاز همراه برابر

$$\tau_{\text{all}} = 0.4S_y = 0.4(190) = 76\ \text{MPa}$$

تنش برشی τ در فلز پایه مجاور جوش (کلفتی جوش $e = 0.707h = 6.5$)،

$$\tau = \frac{F}{2hl} = \frac{70\,000}{2(9.2)50} = 76.09$$

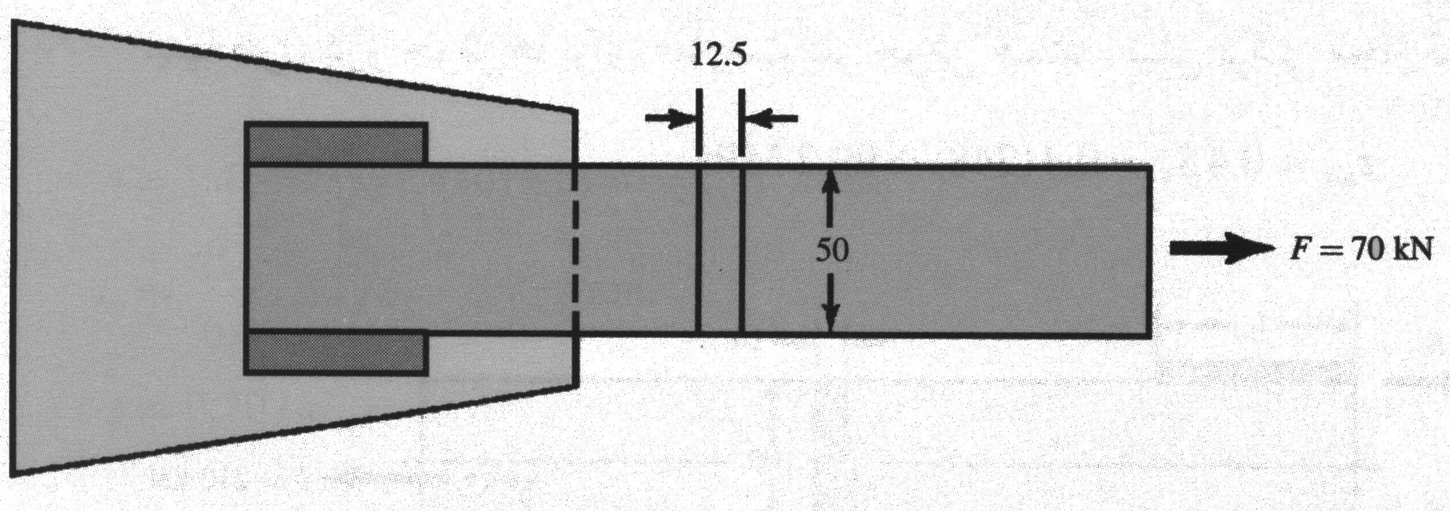
چون $\tau_{\text{all}} \geq \tau$ فلز دو عضو، در کنار جوش مقبول است. تنش کششی در تنه پیوند، σ است.

$$\sigma = \frac{F}{tl} = \frac{70(10^3)}{12.5(50)} = 112\ \text{MPa}$$

تنش کششی مجاز σ_{all}، از جدول ۹-۴ جوش $0.6S_y$ است که سطح ایمنی دستور جوش حفظ می‌شود.

$$\sigma_{\text{all}} = 0.6S_y = 0.6(190) = 114\ \text{MPa}$$

چون $\sigma_{\text{all}} \geq \sigma$، تنش کششی تنه، مقبول است.



شکل ۹-۱۸

نمونه ۹-۳ قطعه‌ای از فولاد ساختمانی A36 که با مقطع مخصوص نورد شده همچون شکل ۹-۱۹ با مقاومت تسلیم 248 MPa و مقاومت کششی نهایی 400 MPa زیر بار ایستای 210 kN از سوی قطعه واسط است. نامتقارن بودن درز جوش‌ها برای جبران خارج از مرکزی راستای نیروست. طول جوش‌های l_1 و l_2 را با ساق جوش 8 mm از الکترود E70XX به‌دست آور. این کار بخشی از مسأله طراحی است که متغیرهای آن طول جوش‌ها و اندازهٔ ساق جوش است.

راه حل مختصات y مرکزوار اتصال برابر

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i A_i}{\sum A_i} = \frac{25(20)50 + 75(50)10}{20(50) + 50(10)} = 41.67$$

جمع گشتاورها را حول نقطه B برابر صفر می‌گیریم

$$\sum M_B = 0 = -F_1 b + F\bar{y} = -F_1(100) + 210(41.67)$$

که از آن

$$F_1 = 87.5 \text{ kN}$$

و درپی آن

$$F_2 = 210 - 87.5 = 122.5 \text{ kN}$$

سطح گلوی جوش‌ها باید به‌نسبت $122.5/87.5 = 1.4$ باشد، یعنی $l_2 = 1.4 l_1$. متغیرهای طراحی طول جوش به این رابطه بسته است. پس l_1، متغیر طراحی طول جوش است. متغیر دیگر اندازهٔ ساق جوش h است که در متن مسأله گزیده شده است. از جدول ۹-۳ و ۹-۴ تنش برشی مجاز در گلوی جوش τ_{all} است.

$$\tau_{all} = 0.3(482) = 144.6 \text{ MPa}$$

تنش برشی τ در زاویه 45° گلوی جوش

$$\tau = \frac{F}{(0.707)h(l_1 + l_2)}$$

$$= \frac{F}{(0.707)h(2.4l_1)} = \tau_{all} = 144.6 \text{ MPa}$$

پس طول جوش l_1

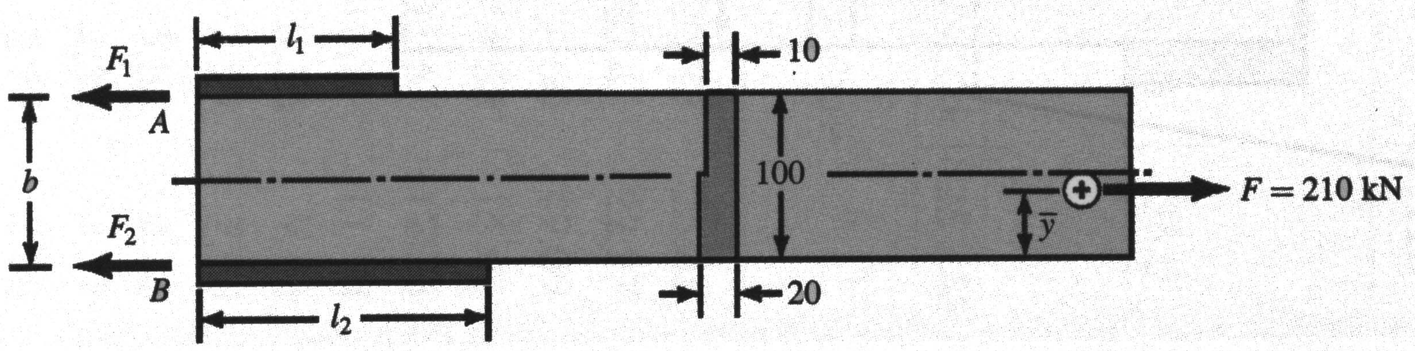
$$l_1 = \frac{210000}{145(0.707)8(2.4)} = 107 \text{ mm}$$

و

$$l_2 = 1.4 l_1 = 1.4(107) = 150 \text{ mm}$$

اینها طول درز جوش‌ها برای مقاومت فلز جوش هستند. تنش برشی مجاز قطعه فلز پایه از جدول ۹-۴

$$\tau_{all} = 0.4 S_y = 0.4(248) = 99.2 \text{ MPa}$$



| شکل ۹-۱۹

تنش برشی τ در فلز پایه کنار جوش

$$\tau = \frac{F}{h(l_1 + l_2)} = \frac{F}{h(2.4l_1)} = \tau_{\text{all}} = 99.2$$

که از آن

$$l_1 = \frac{F}{99.2h(2.4)} = \frac{210\,000}{99.2(8)2.4} = 110.3 \text{ mm}$$

$$l_2 = 1.4l_1 = 1.4(110.3) = 154.4 \text{ mm}$$

اینها طول درز جوش‌های لازم برای مقاومت فلز پایه (اتصال) است. فلز پایه طول جوش‌ها را کنترل می‌کند. برای تنش کششی مجاز σ_{all} در تنهٔ اتصال، تنش کششی مجاز AISI اعضای پیوند $0.6S_y$ است

$$\sigma_{\text{all}} = 0.6S_y = 0.6(248) = 149 \text{ MPa}$$

تنش کششی نامی σ در سرتاسر مقطع عرضی عضو **یکنواخت** است. زیرا بار از مرکز هندسی می‌گذرد. پس σ برابر

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{210000}{20(50) + 50(10)} = 140 \text{ MPa}$$

چون $\sigma_{\text{all}} \geq \sigma$ یعنی $149 \geq 140$، مقطع مقبول است. و اگر l_1 نامی 115 mm باشد، l_2 باید $1.4(115) = 161$ باشد.

تصمیم $l_1 = 115 \text{ mm}$ و $l_2 = 160 \text{ mm}$ باشد. انحراف کوچک $l_2/l_1 = 1.4$ جدی نیست و اتصال آزاد از گشتاور است.

نمونه ۹-۴ ارزیابی کفایت برای اتصال جوش یکسر آزاد و زیر بار 2200 N همچون شکل ۹-۲۰ انجام بده. قطعه از فولاد AISI 1018 HR و با جوش گلویی با ساق 9.5 mm و با الکترود E6010 جوش شده و ضریب طرح 3.0 است.

(الف) روش مرسوم (Philon) را برای جوش به‌کار ببر.

(ب) روش مرسوم را برای تکهٔ یک‌سر آزاد به‌کار ببر.

(ج) روش دستور استاندارد را برای فلز جوش به‌کار ببر.

راه حل (الف) از جدول ۹-۳، $S_y = 345 \text{ MPa}$، $S_{ut} = 427 \text{ MPa}$. از جدول ۹-۲، الگوی دوم $h = 9.5 \text{ mm}$، $d = 50 \text{ mm}$، پس

$$A = 1.414hd = 1.414(9.5)50 = 671.7 \text{ mm}^2$$

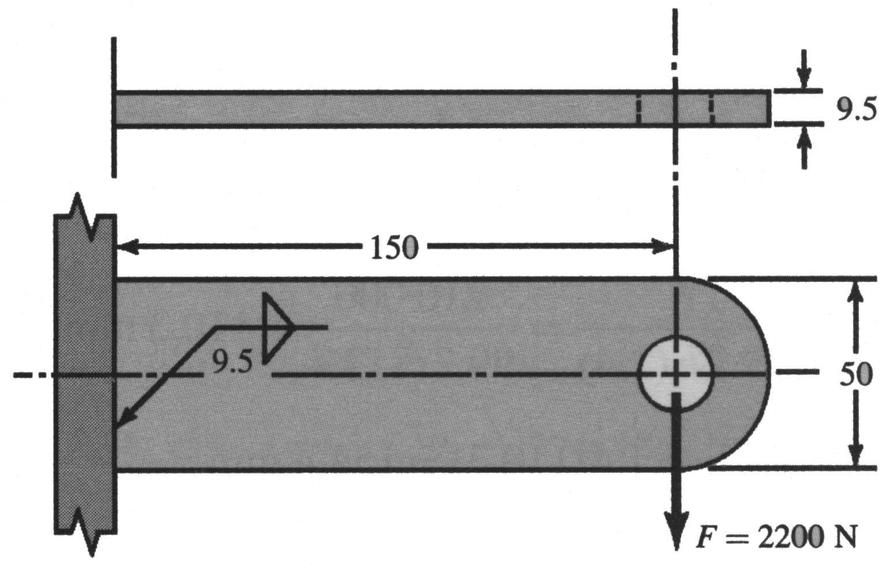
$$I_u = \frac{d^3}{6} = 50^3/6 = 20833 \text{ mm}^3$$

$$I = 0.707hI_u = 0.707(9.5)20833 = 140(10^3) \text{ mm}^4$$

برش اولیه:

$$\tau' = \frac{2200}{2(0.707)9.5(50)} = 3.28 \text{ MPa}$$

شکل ۹-۲۰



برش ثانوی:

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{2200(150)25}{140(10^3)} = 58.93 \text{ MPa}$$

برایند این دو تنش برشی τ برابر

$$\tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2} = (3.28^2 + 58.9^2)^{1/2} = 59 \text{ MPa}$$

ضریب ایمنی بر پایه کمترین مقاومت

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} = \frac{0.577(345)}{59} = 3.37$$

پاسخ

چون $n \geq n_d$ یعنی $3.37 \geq 3.0$ پس مقاومت فلز جوش مقبول است.

(ب) از جدول الف-۲۰، کمترین مقاومت‌ها $S_{ut} = 400 \text{ MPa}$ و $S_y = 220 \text{ MPa}$ است. پس

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{bd^2/6} = \frac{2200(150)6}{9.5(50^2)} = 83.37 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{220}{83.37} = 2.64$$

پاسخ

چون $n < n_d$ یعنی $2.64 < 3.0$، پیوند مقاومت کافی ندارد.

(ج) از بخش (الف)، $\tau = 59 \text{ MPa}$. برای الکترود E6010، جدول ۹-۶، تنش برشی مجاز $\tau_{\text{all}} = 124 \text{ MPa}$ و چون $\tau < \tau_{\text{all}}$ یعنی $59 < 124$، جوش مقبول است. چون بنا به دستور استاندارد ضریب اطمینان $0.577(345)/124 = 1.6$ را با خود دارد، ضریب اطمینان بند (الف) برابر

$$n = 1.6\frac{124}{59} = 3.36$$

پاسخ

است که مقبول است.

۹-۷ بارگذاری خستگی (Fatigue Loading)

روش‌های مرسوم را این‌جا می‌آوریم. بهترین معیار برای خستگی، معیار Gerber است؛ با این‌حال، معیار Goodman بسیار رایج است. یادت هست که ضرایب تمرکز تنش خستگی در جدول ۹-۵ آمده است. برای دستورهای (codes) جوشکاری، تنش‌های مجاز خستگی را در کتاب راهنمای AISC پیدا می‌کنی.

در زیر برخی نمونه‌های بارگذاری خستگی پیوند جوش را می‌آوریم.

نمونه ۹-۵ تسمه از فولاد 1018 همچون شکل ۹-۲۱ زیر بار دوطرفه کامل 4500 N است. ضریب ایمنی جوش را برای عمر دائم تعیین کن.

راه حل از جدول الف-۲۰ برای لچکی از فولاد 1018، $S_{ut} = 400$ MPa و $S_y = 220$ MPa است. برای الکترود E6010، $S_{ut} = 427$ MPa و $S_y = 345$ MPa. ضریب تمرکز تنش خستگی از جدول ۹-۵، $K_{fs} = 2.7$. از جدول ۷-۴، $k_a = 272(400)^{-0.995} = 0.70$. سطح برش برابر با

$$A = 2(0.707)10(50) = 707 \text{ mm}^2$$

برای تنش برشی یکنواخت در گلوی جوش $k_b = 1$.

از مع. (۷-۲۵) برای پیچش

$$k_c = 0.59$$

$$k_d = k_e = k_f = 1$$

از مع. (۷-۸) و (۷-۱۷)،

$$S_{se} = 0.70(1)0.59(1)(1)0.504(400) = 83.3 \text{ MPa}$$

$$K_{fs} = 2.7 \qquad F_a = 4500 \qquad F_m = 0$$

تنها برش اولیه داریم:

$$\tau'_a = \frac{K_{fs}F_a}{A} = \frac{2.7(4500)}{707} = 17.2 \text{ MPa}$$

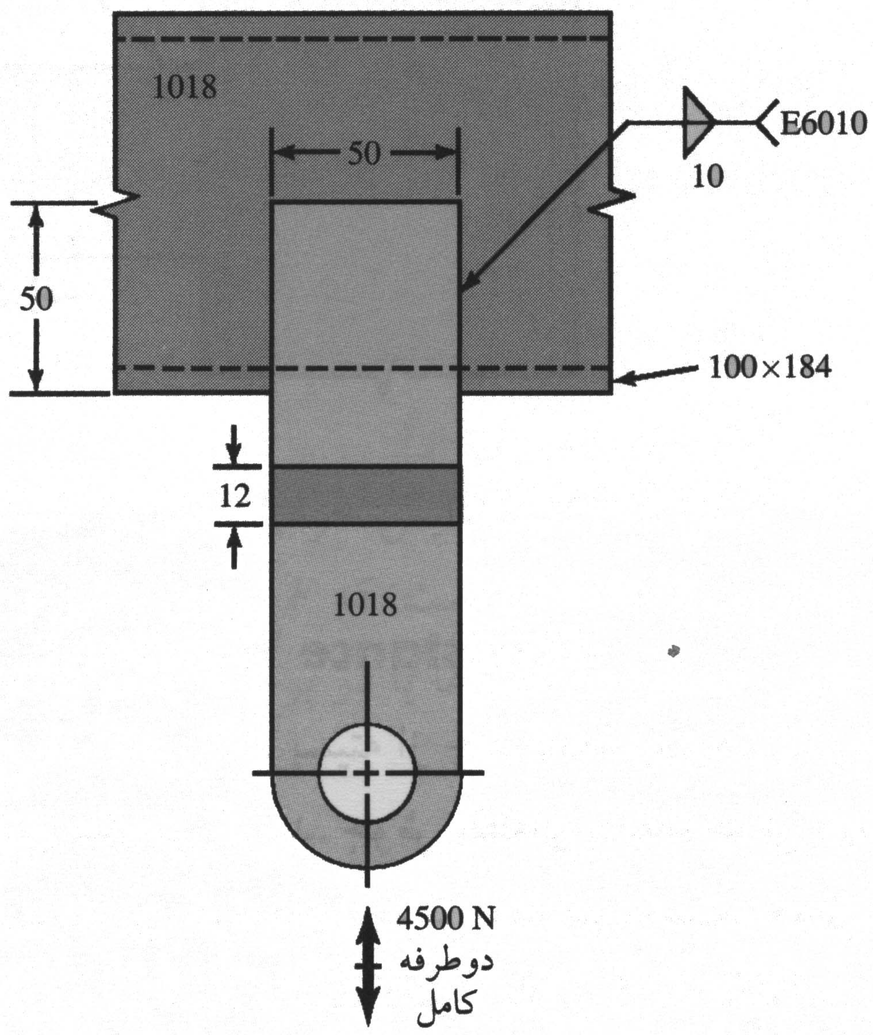
$$\tau'_m = 0 \text{ MPa}$$

در نبود مؤلفهٔ میانگین، ضریب اطمینان خستگی n_f،

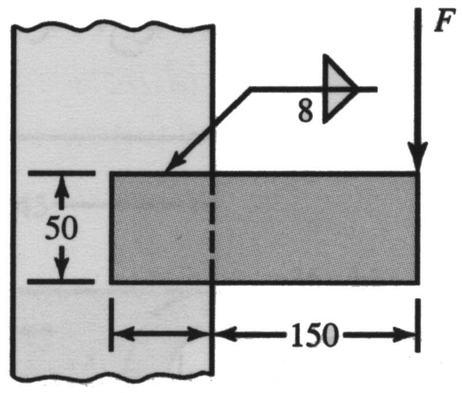
$$n_f = \frac{S_{se}}{\tau'_a} = \frac{83.3}{17.2} = 4.84$$

پاسخ

شکل ۹-۲۱

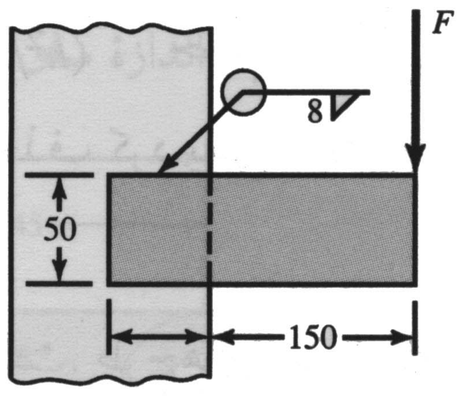


وارسی **۹-۵** میله فولادی به کلفتی 20 mm با دو نوار جوش، همچون شکل، به تکیه‌گاه قائم جوش می‌شود.
(الف) اگر تنش مجاز در جوش‌ها 140 MPa باشد، نیروی خمشی مطمئن F را پیدا کن.
(ب) در بند (الف) رابطهٔ ساده‌ای برای F برحسب تنش برشی مجاز یافتی، اگر میله از فولاد گرم‌نورد 1020 و تکیه‌گاه از فولاد گرم‌نورد 1015 باشد، بار مجاز را با الکترود E7010 پیدا کن.



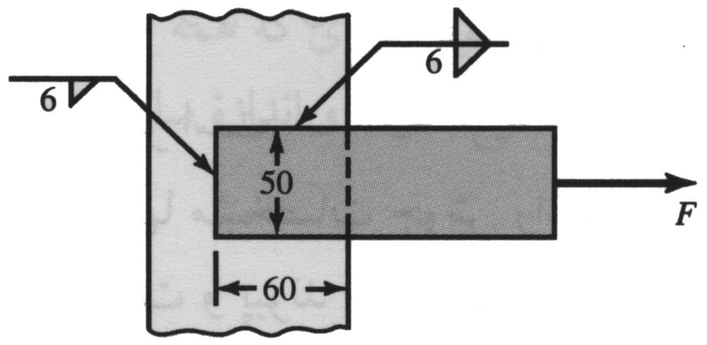
شکل مسأله ۹-۵

وارسی **۹-۶** در شکل، قطعه جوشکاری همچون مسأله ۹-۵ است بجز اینکه به‌جای دو درز جوش، چهار درز جوش داریم. نشان بده که مقاومت این پیوند جوش دو برابر پیوند مسأله ۹-۵ است.



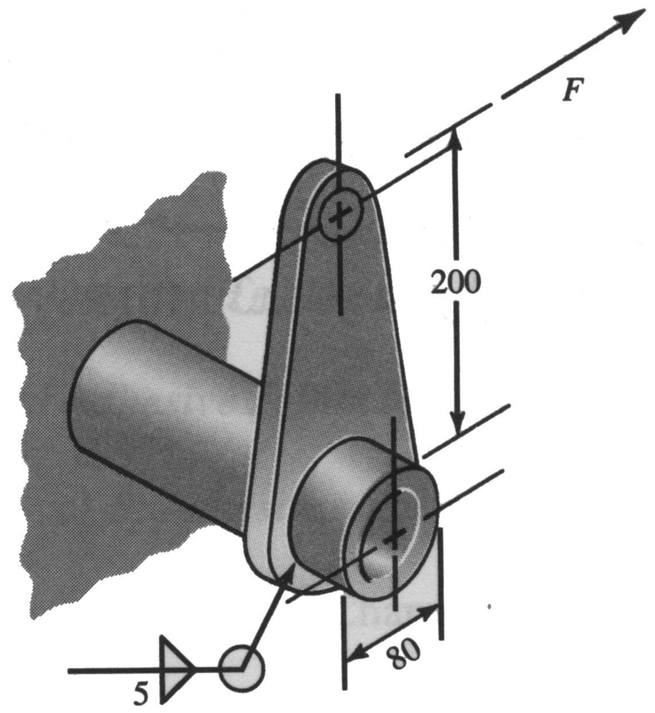
شکل مسأله ۹-۶

وارسی **۹-۷** قطعه جوشکاری که در شکل می‌بینی، زیر نیروی متناوب F است. قطعه از فولاد گرم نورد AISI 1010 به‌کلفتی 10 mm و کلفتی جوش 6 mm است. بار خستگی F که میله تحمل می‌کند با روش مرسوم تحلیل خستگی چند است؟



شکل مسأله ۹-۷

۹-۸ تنش برشی مجاز قطعه جوشکاری همچون شکل، 140 MPa است. بار خمشی F که این تنش را در گلوی جوش پدید آورد برآورد کن.



شکل مسأله ۹-۸

۹-۹ در طراحی قطعات جوشکاری زیر پیچش، داشتن بینش سامان‌یافته از کارایی نسبی طرح‌های عمومی، سودمند است. برای نمونه طرح‌های درز جوش در جدول ۹-۱ را می‌شود برحسب خوبی مرتب کرد. اگر سطح موجود را مربع $a \times a$ بگیریم، به‌کمک رقم شایستگی رسمی که تناسب مستقیم با J و نسبت معکوس با حجم فلز جوش دارد

$$\text{fom} = \frac{J}{\text{حجم}} = \frac{0.707hJ_u}{(h^2/2)l} = 1.414\frac{J_u}{hl}$$

در آرایش رقم شایستگی می‌توان عدد ثابت را حذف کرد یعنی $\text{fom}' = J_u/(hl)$. ترتیب کارایی شش طرح جدول ۹-۱ را روشن کن.

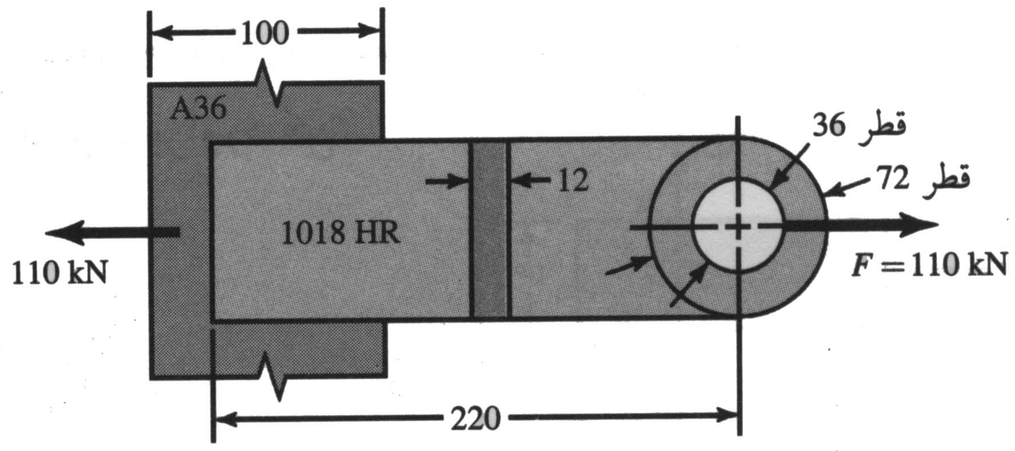
۹-۱۰ فضا برای طرح درز جوشی زیر خمش، $a \times a$ است. طرح‌های جدول ۹-۲ را به‌ترتیب برتری کارایی فلز جوش دربرابر خمش مشخص کن. رقم شایستگی رسمی می‌تواند تناسب مستقیم با I و نسبت معکوس با حجم فلز جوش داشته باشد

$$\text{fom} = \frac{I}{\text{حجم}} = \frac{0.707hI_u}{(h^2/2)l} = 1.414\frac{I_u}{hl}$$

که با حذف ثابت 1.414، رقم شایستگی رسمی $\text{fom}' = I_u/(hl)$ می‌شود. با حذف طرح‌های تیرهای سپری T و تیرهای I، هفت طرح مانده را مرتب کن.

۹-۱۱ مسایل جوشکاری به یکی از شکل‌های زیر است:

- عضو(ها) و پیوست موجود است و تنها مشخصات جوش را نیاز داریم.
- عضوها موجود است، ولی عضو پیوست و پیوند جوش باید طراحی شود.
- عضو(ها)، پیوست، و پیوند جوش باید طراحی شود.

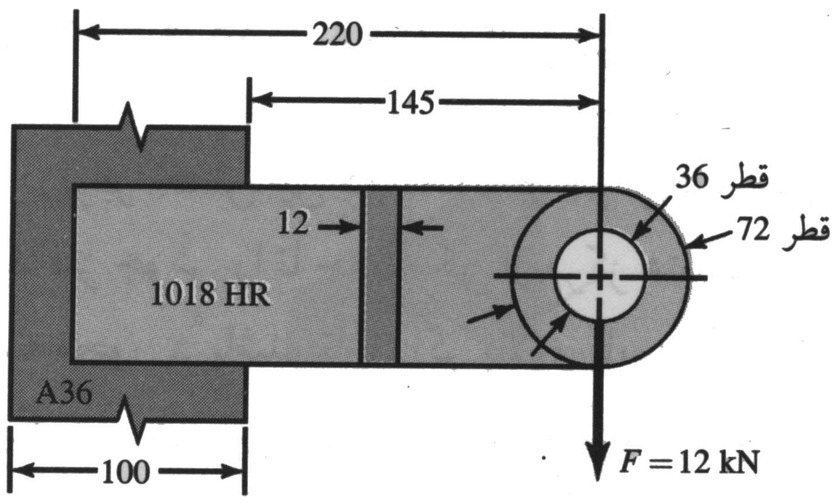


شکل مسأله ۹-۱۱

آنچه که می‌آید، کار طراحی از نوع نخست است. قطعه پیوست همچون شکل از فولاد 1018HR به کلفتی 12 mm زیر بار ایستای 110 kN است. جوش را مشخص کن. (طرح درز، شمارهٔ الکترود، نوع جوش، طول و اندازهٔ ساق جوش).

۹-۱۲ طراحی

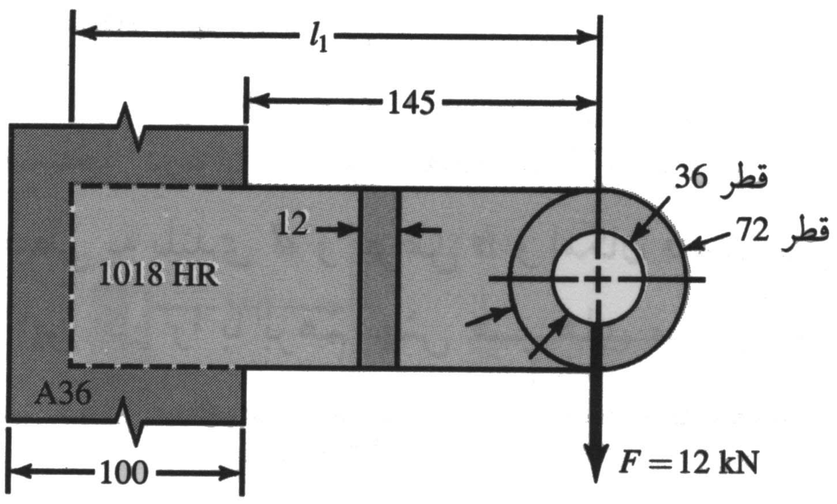
به قطعه پیوست همچون شکل، بارخمشی ایستا 12 kN وارد می‌شود. جوش را مشخص کن (طرح درز، شمارهٔ الکترود، نوع، طول، و اندازهٔ ساق جوش).



شکل مسأله ۹-۱۲

۹-۱۳ طراحی

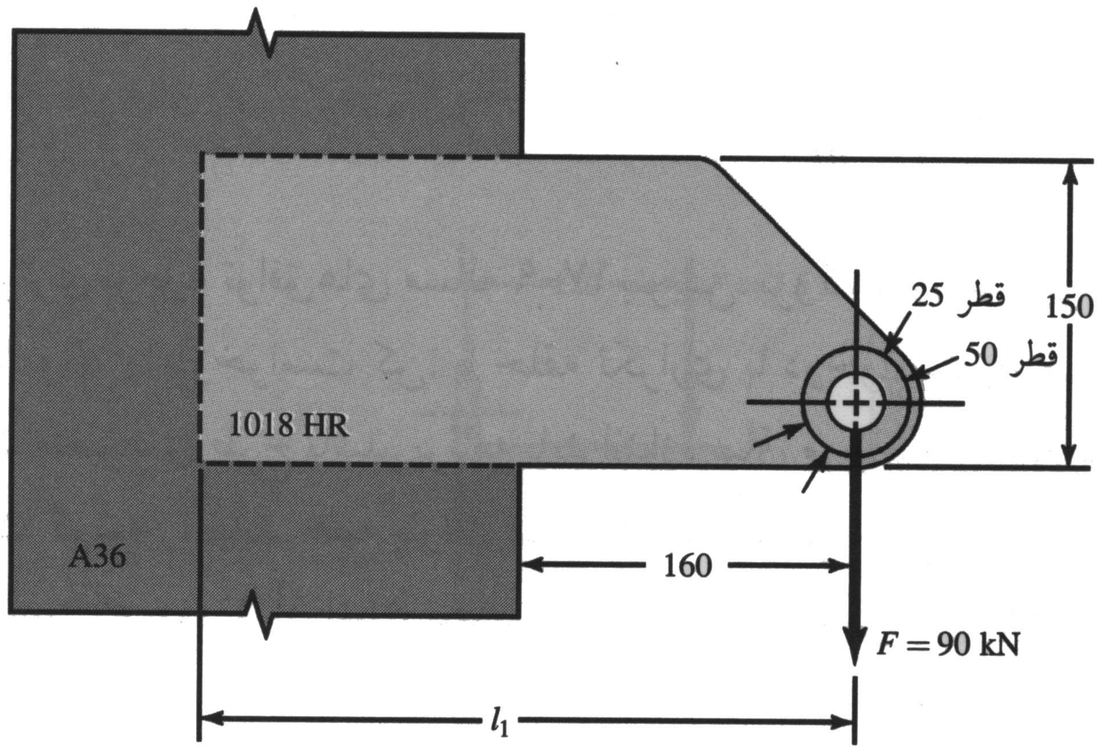
طول پیوست در مسأله ۹-۱۲ را نداریم. طول آن و جوش را مشخص کن (طرح درز، شمارهٔ الکترود، نوع، طول، و اندازهٔ ساق جوش).



شکل مسأله ۹-۱۳

۹-۱۴ طراحی

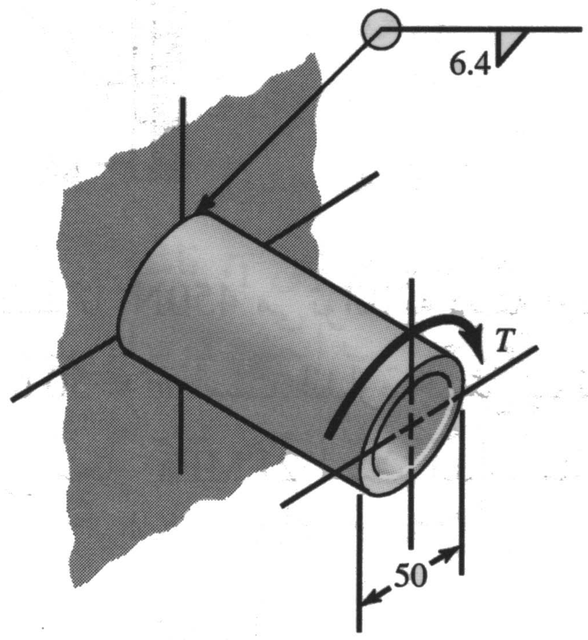
یک ستون قائم از فولاد ساختمانی ($S_y = 250$ MPa، $S_{ut} = 400 - 550$ MPa) به عرض 250 mm و عضو پیوست تا آن‌جا که در شکل می‌بینی طراحی شده است. کلفتی عضو پیوست 12.5 mm که در برآمدگی‌ها جوش می‌شود جوری که همهٔ اندازه‌ها معلوم است. طول l_1 و جوش را مشخص کن (طرح درز، شمارهٔ الکترود، نوع، طول، و اندازهٔ ساق جوش).



شکل مسأله ۹-۱۴

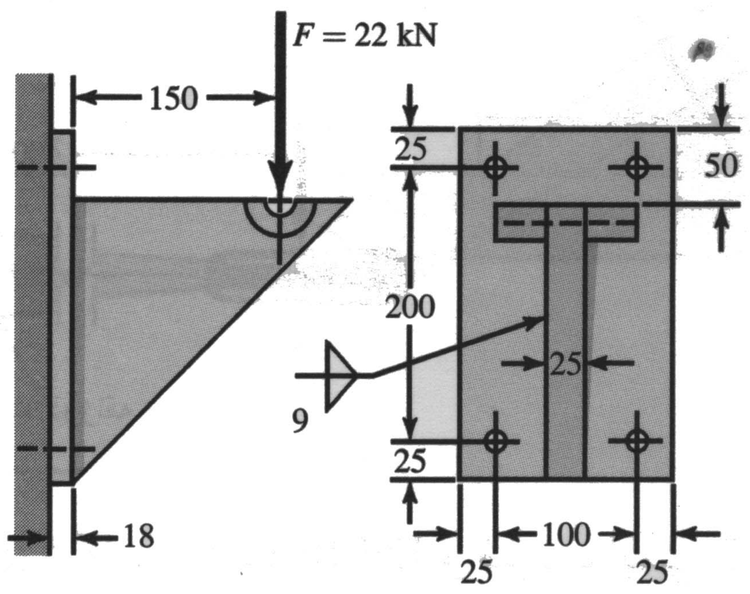
طراحی **۹-۱۹** به‌هنگام سنجش دو طرح مختلف درز جوش، یافتن پایداری به خمش یا پیچش و حجم فلز جوش سودمند است. سنجش کارایی که با گشتاور دوم سطح بخش بر حجم فلز جوش تعریف می‌شود، هم مفید است. اگر به مقطع $200\times150\ \text{mm}$ قطعهٔ یک‌سر آزادی، بار ایستای خمشی $45\ \text{kN}$ در فاصله $250\ \text{mm}$ از سطح پیوند وارد شود و تنش برشی مجاز $88\ \text{MPa}$ باشد، جوش‌های افقی را با جوش‌های قائم بسنج. طول درزهای افقی 150 و درزهای قائم $200\ \text{mm}$ باشد.

وارسی **۹-۲۰** گشتاور $T = 2300\ \text{N}\cdot\text{m}$ به درز جوش در شکل وارد می‌شود. بیشترین تنش برشی در گلوی جوش؟



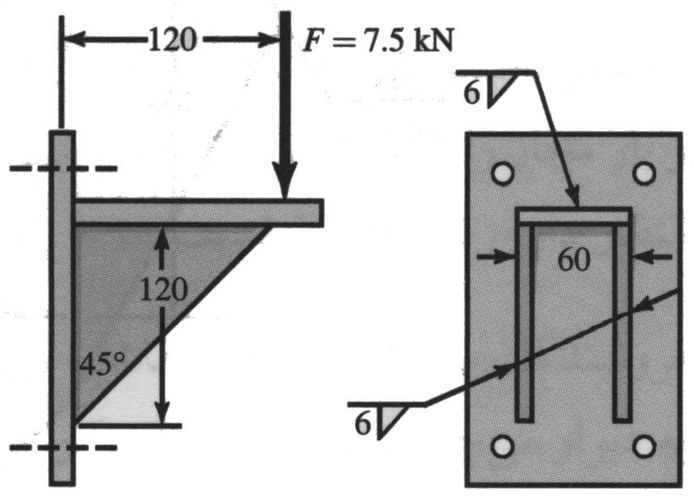
شکل مسأله ۹-۲۰

وارسی **۹-۲۱** بیشترین تنش برشی در گلوی جوش را پیدا کن.



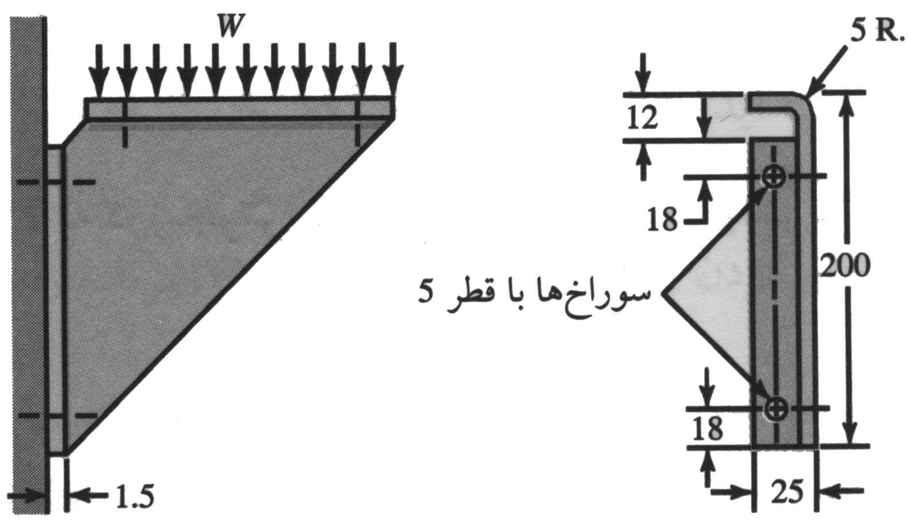
شکل مسأله ۹-۲۱

وارسی **۹-۲۲** شکل دیوارکوب فولادی جوشکاری‌شده را زیر بار ایستای F می‌بینیم. اگر تنش برشی مجاز در گلوی جوش $120\ \text{MPa}$ باشد، ضریب ایمنی؟



شکل مسأله ۹-۲۲

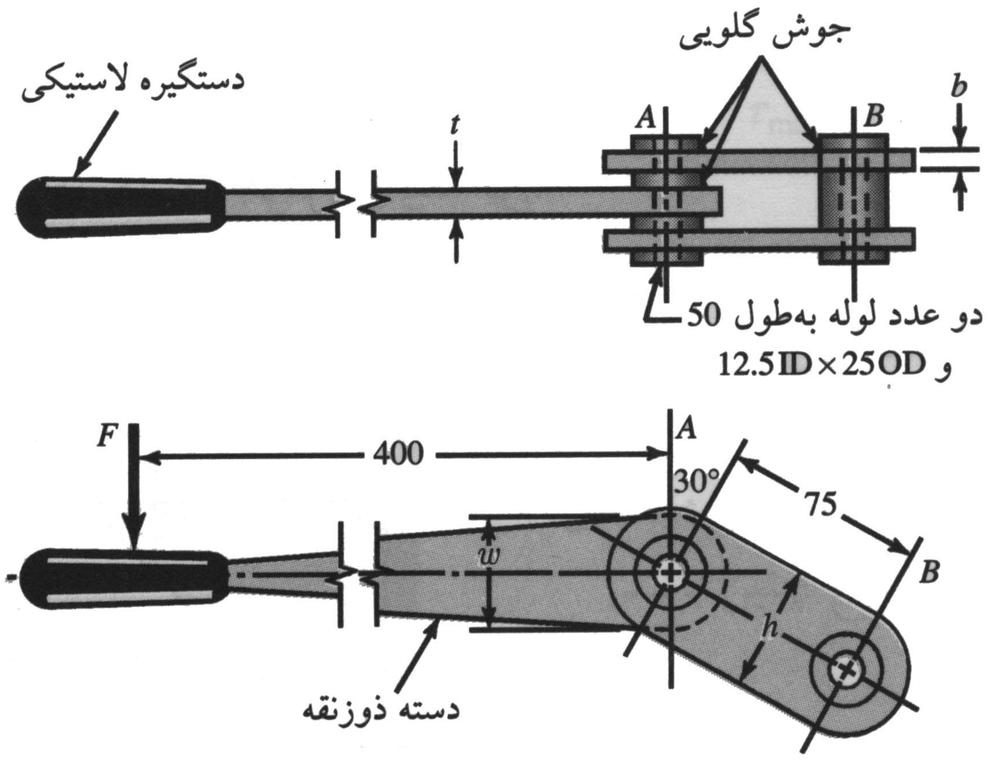
وارسی **۹-۲۳** نمایش دیوار کوبی که از برش و خمکاری ورق فولادی ساخته شده را در شکل می‌بینی که بناست به‌جای پیچ، آن را به تکیه‌گاه جوش دهند. اگر تنش مرکب در فلز جوش تا 6.2 MPa محدود باشد، همه بار W وارد به آن را برآورد کن.



شکل مسأله ۹-۲۳

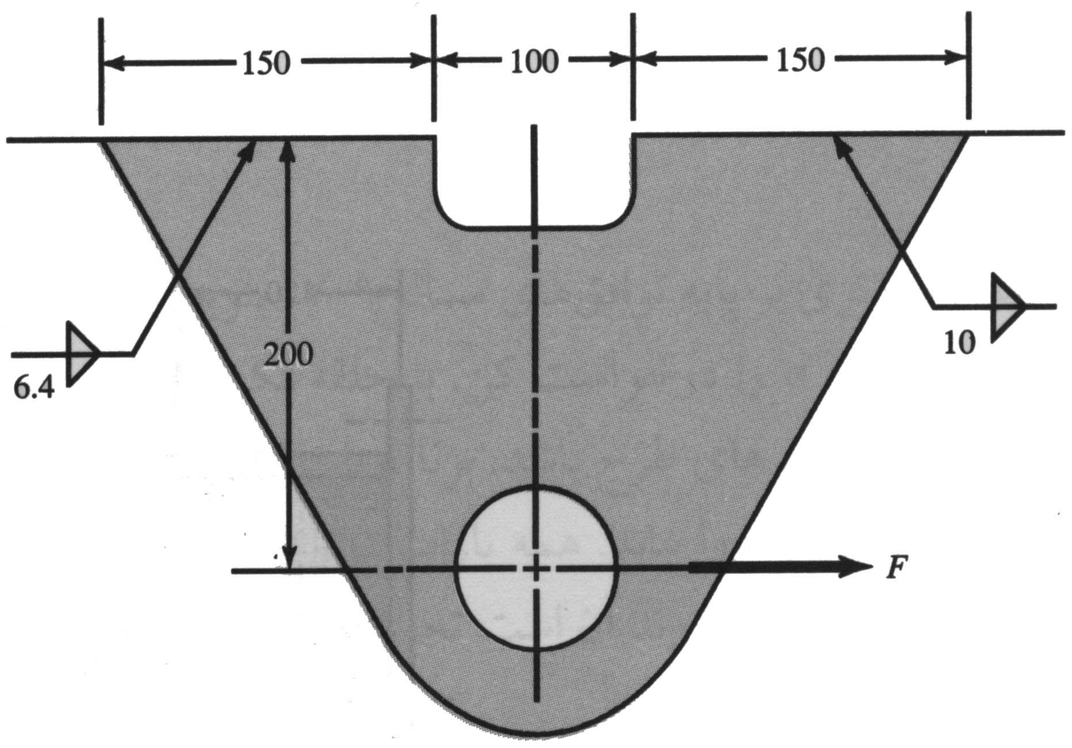
ستون تکیه‌گاه از فولاد ساختمانی A26، دیوارکوب فولادی با خمکاری سرد. الکترود جوش 6010 است.

وارسی **۹-۲۴** هر کارگر مکانیک بی‌آنکه زور زیاد بزند، فقط تا 450N می‌تواند به دسته آچار یا ابزار نیرو وارد کند. در اهرمی همچون شکل، $t = 12.5\ \text{mm}$ و $w = 50\ \text{mm}$ است. اندازه جوش پیوند اهرم به قطعه لوله‌ای A را تعیین کن. هردو تکه فولادی و تنش برشی مجاز 21 MPa است. اندازهٔ مناسب جوش را پیدا کن.



شکل مسأله ۹-۲۴

وارسی **۹-۲۵** اگر در جوشکاری لچکی همچون شکل، الکترود E6010 و ضریب ایمنی 2 باشد، بار ایستای F مطمئن وارد به آن را به‌روش مرسوم پیدا کن.



شکل مسأله ۹-۲۵

منابع :

کتاب طراحی اجزای ماشین ویرایش هفتم

ترجمه دکتر شادروان