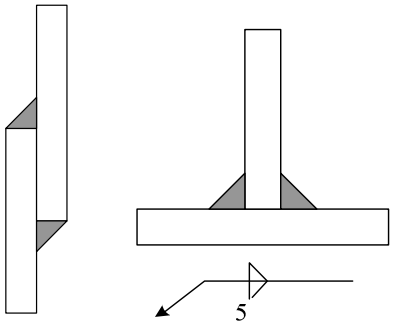
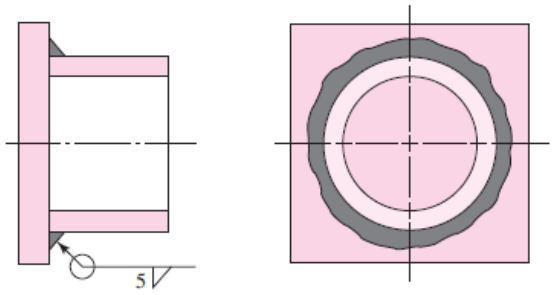
فصل هفتم: طراحی اتصالات جوشکاری شده

انواع جوش

۱- جوش نواری (ماهیچه‌ای) Fillet welds

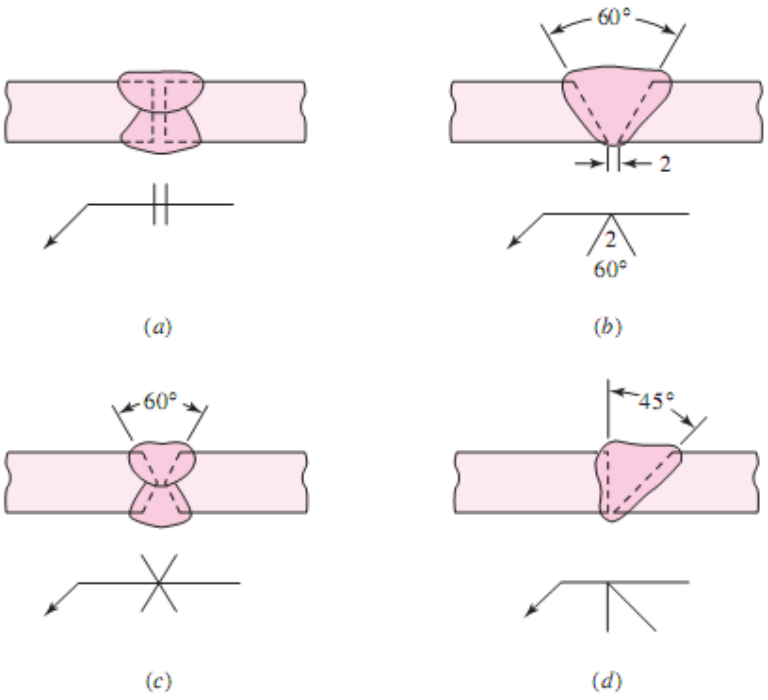




علامت دایره یعنی سراسر محیط دایره جوش است.

××

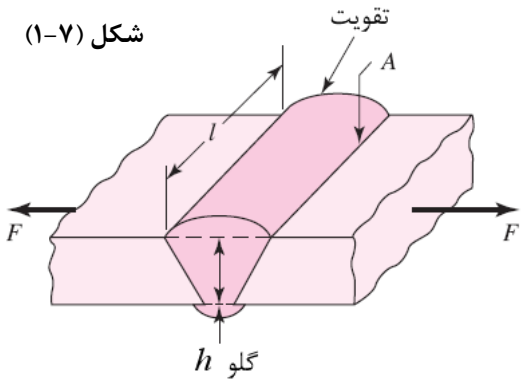
۲- جوش لب به لب (مغزی) Butt welds



××

طراحی استاتیک جوش لب به لب

شکل (۷-۱)



بارگذاری کششی

شکل (۷-۱) یک جوش لب به لب را نشان می‌دهد که توسط نیروی عمودی F بارگذاری شده است.

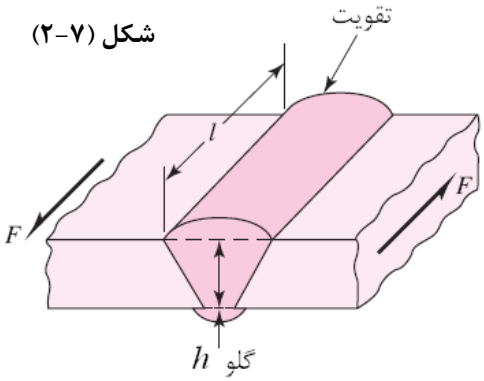
برای بارگذاری کششی یا فشاری تنش نرمال در جوش برابر است با:

$$\sigma = \frac{F}{hl} \qquad (۷-۱)$$

××

تقویت نشان داده شده در شکل برای بارگذاری استاتیکی مطلوب است.

شکل (۷-۲)



بارگذاری برشی

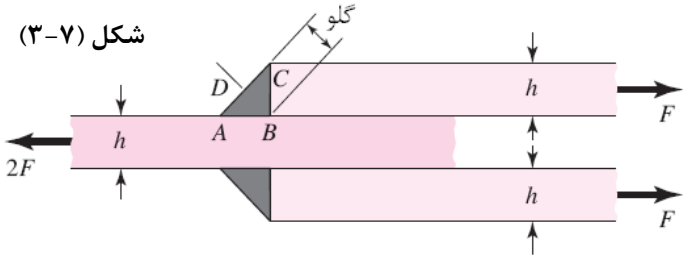
اگر جوش لب به لب مطابق شکل (۷-۲) تحت بارگذاری برشی قرار گیرد تنش برشی در آن برابر است با:

$$\tau = \frac{F}{hl} \qquad (۷-۲)$$

××

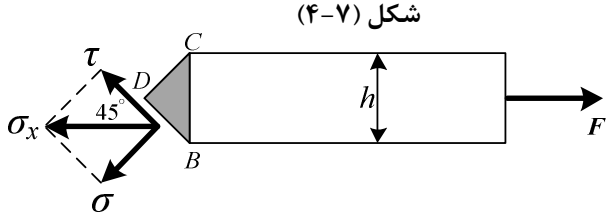
طراحی استاتیک جوش نواری

شکل (۷-۳)



شکل (۷-۳) یک جوش نواری را نشان می‌دهد.

شکل (۷-۴)



دیاگرام آزاد بخشی از جوش نواری در شکل (۷-۴) آمده است.

××

مساحت سطح مقطع گلو برابر است با:

(۷-۳)

که در آن l طول جوش است. بنابراین تنش σ_x برابر است با:

(۷-۴)

این تنش را می‌توان به دو مؤلفه تنش برشی τ و تنش نرمال σ تقسیم کرد:

(۷-۵)

با استفاده از دایره موهر بزرگترین تنش اصلی برابر است با:

$$\sigma_1 = \frac{F}{2hl} + \sqrt{\left(\frac{F}{2hl}\right)^2 + \left(\frac{F}{hl}\right)^2} = 1.618\frac{F}{hl} \qquad (۷-۶)$$

××

تنش برشی ماکزیمم هم برابر است با:

(۷-۷)

با این وجود در طراحی مرسوم است که تنش برشی روی سطح مقطع گلو را مبنا قرار داده و از تمام تنشهای نرمال صرف‌نظر گردد.

بنابراین معادله تنش برشی بصورت مقابل خواهد بود:

$$\tau = \frac{F}{0.707hl} = 1.414\frac{F}{hl} \qquad (۷-۸)$$

این معادله که برای طراحی بکار می‌رود تنش برشی را $\frac{1.414}{1.118} = 1.27$ برابر بیشتر از معادله (۷-۷) می‌دهد.

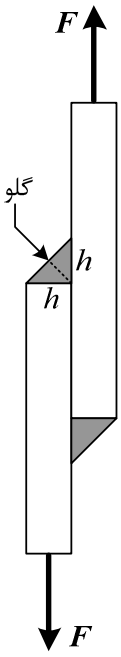
لذا برای طراحی از معادله زیر استفاده می‌کنیم:

(۷-۹)

××

در شکل روبرو بارگذاری روی دو جوش موازی انجام می‌شود. چون دو جوش داریم سطح مقطع گلو برای دو نوار برابر است با:

$$A = 2 \times 0.707hl = 1.414hl \qquad (۷-۱۰)$$



بنابراین تنش برشی با رابطه زیر حاصل می‌شود:

(۷-۱۱)

و برای طراحی داریم:

(۷-۱۲)

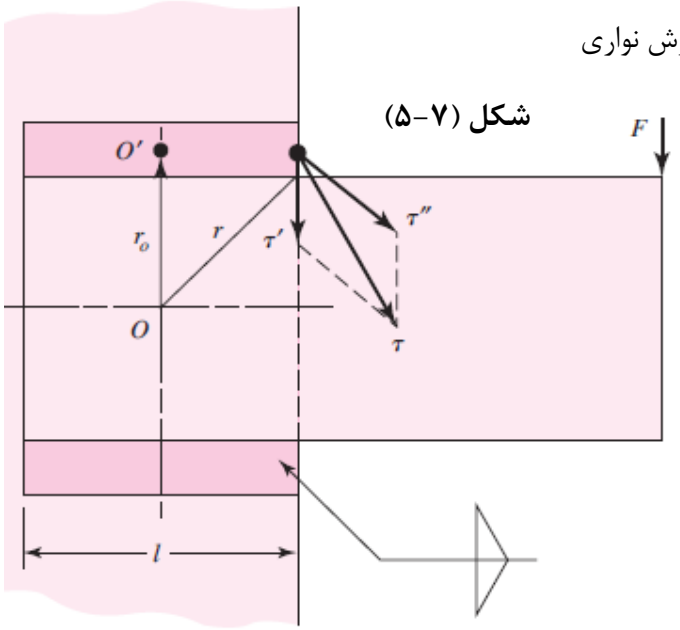
××

پیچش در اتصالات جوش شده

شکل (۷-۵) تیری یکسرگیردار را نشان می‌دهد که با دو جوش نواری

هر کدام بطول l به یک ستون جوش شده است.

شکل (۷-۵)



××

نیروی برشی V سبب ایجاد برش اولیه τ'

در جوش می‌شود:

(۷-۱۳)

که در آن A سطح مقطع گلوی تمام جوشهاست.

گشتاور سبب ایجاد برش ثانویه یا پیچشی τ'' در جوش می‌شود که برابر است با:

(۷-۱۴)

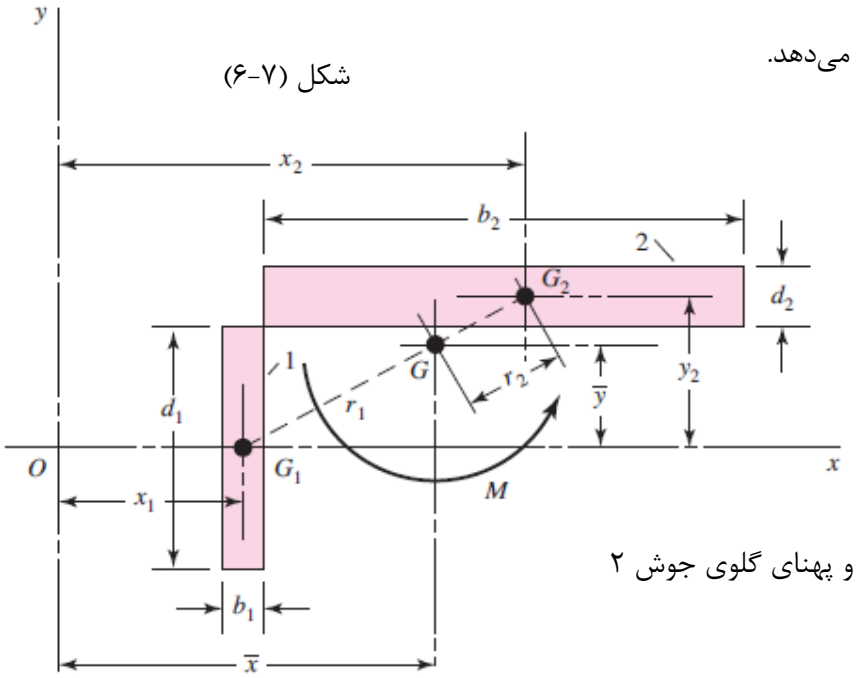
در این رابطه r فاصله نقطه مورد نظر در جوش از مرکزوار جوش و J ممان اینرسی مجموعه جوش حول مرکزوار مجموعه است.

به جای r معمولاً بیشترین فاصله از مرکزوار جوش را قرار می‌دهیم.

××

شکل (۷-۶) مجموعه‌ای از دو جوش را نشان می‌دهد.

شکل (۷-۶)



××××××××××××××××××××××××××××××××

پهنای گلوی جوش ۱ مساوی $b_1=0.707h_1$ و پهنای گلوی جوش ۲ مساوی $d_2=0.707h_2$ است.

مساحت سطح مقطع گلوی دو جوش برابر است با:

(۷-۱۵)

این مساحتی است که باید برای محاسبه τ' در معادله (۷-۱۳) استفاده شود.

در شکل (۷-۶) محور x از مرکزوار جوش ۱ یعنی G_1 می‌گذرد. ممان اینرسی حول این محور برابر است با:

(الف)

××

به طور مشابه ممان اینرسی حول محوری که از نقطه G_1 می‌گذرد و با محور y موازی است مساوی است با:

$$I_y = \frac{d_1 b_1^3}{12}$$ (ب)

بنابراین ممان اینرسی قطبی جوش ۱ حول مرکز ثقل آن برابر است با:

(۷-۱۶)

به همین صورت ممان اینرسی قطبی جوش ۲ حول مرکز ثقل آن برابر است با:

$$J_{G_2} = I_x + I_y = \frac{b_2 d_2^3}{12} + \frac{d_2 b_2^3}{12}$$ (۷-۱۷)

××

حال باید مرکز ثقل مجموعه جوش یعنی G را بیابیم:

$$\bar{x} = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A} \quad , \quad \bar{y} = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A} \qquad (۷-۱۸)$$

فاصله G_1 تا G یعنی r_1 برابر است با:

$$r_1 = \sqrt{(\bar{x} - x_1)^2 + \bar{y}^2} \qquad (۷-۱۹)$$

فاصله G_2 تا G یعنی r_2 برابر است با:

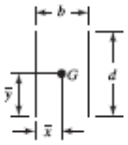
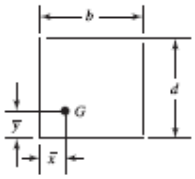
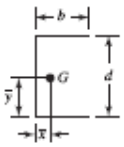
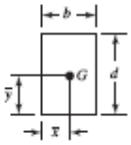
$$r_2 = \sqrt{(y_2 - \bar{y})^2 + (x_2 - \bar{x})^2} \qquad (۷-۲۰)$$

حال با استفاده از قضیه محورهای موازی ممان اینرسی مجموعه جوش بدست می‌آید:

(۷-۲۱)

××

جدول (۷-۱): خواص پیچشی جوشهای نواری

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Polar Moment of Area
	$A = 0.70\,hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.41\,hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414\,\pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

این مقداری است که باید در معادله (۷-۱۴) مورد استفاده قرار گیرد.

ضمناً فاصله r باید از G و گشتاور M باید حول G یعنی مرکزوار مجموعه جوش محاسبه شود.

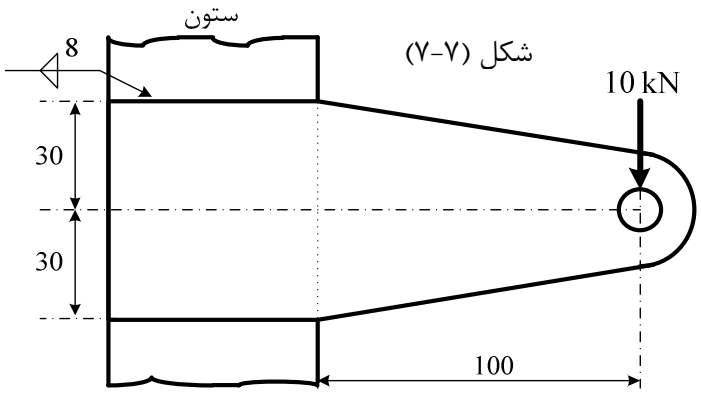
در عمل برای آسان کردن کار محاسبه ممان اینرسی قطبی جوش نواری بجای محاسبات قبلی از رابطه زیر استفاده می‌کنند:

(۷-۲۲)

××

مثال (۷-۱)

مجموعه جوش شکل زیر برای اتصال تیر یکسر گیردار به ستون استفاده شده است. اگر استحکام تسلیم ماده جوش 300MPa باشد ضریب ایمنی را برای معیار انرژی واپیچش حساب کنید.

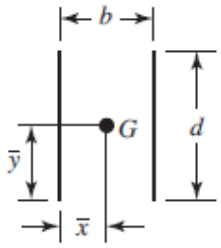


شکل (۷-۷)

ابعاد به میلی‌متر هستند.

××

حل: ابتدا باید تنش برشی اولیه τ' را بیابیم.



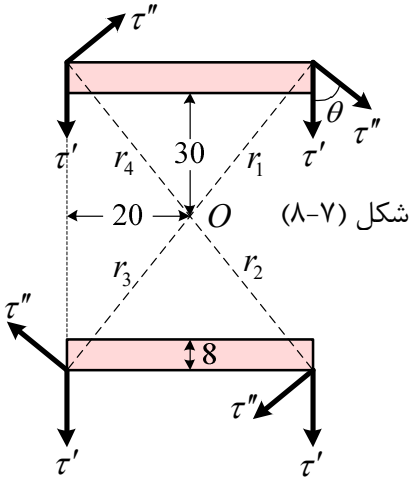
سطح مقطع گلو برای این جوش طبق جدول (۷-۱) برابر است با:

بنابراین تنش برشی اولیه برابر است با: $\tau' = \frac{V}{A} =$

××

مختصات مرکز ثقل الگوی جوش یعنی نقطه O عبارت است از:

$\bar{x} =$, $\bar{y} =$



شکل (۷-۸)

سپس فاصله گوشه‌های جوش از مرکز ثقل یعنی r_iها را پیدا می‌کنیم:

××

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = \sqrt{\left(\frac{b}{2}+h\right)^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{60\times10^{-3}}{2}+8\times10^{-3}\right)^2 + \left(\frac{40\times10^{-3}}{2}\right)^2} = 42.9\times10^{-3}\ \text{m}$$

در مرحله بعد باید J را بیابیم. با استفاده از جدول (۷-۱):

$$J_u = \frac{d\left(3b^2+d^2\right)}{6} = \frac{40\times10^{-3}\left(3\left(60\times10^{-3}\right)^2+\left(40\times10^{-3}\right)^2\right)}{6} = 8.2667\times10^{-5}\ \text{m}^3$$

$J =$

××

از طرف دیگر گشتاور M برابر است با:

بنابراین تنش برشی ثانویه در هر گوشه از جوش برابر است با: $\tau'' = \frac{Mr}{J} =$

در نهایت تنش‌های برشی اولیه و ثانویه را طبق شکل (۷-۸) در گوشه‌های جوش رسم کرده و برآیند آنها را بدست می‌آوریم.

البته تنش برآیند را تنها در گوشه‌های سمت راست جوش که بحرانی‌ترند تعیین می‌کنیم.

××

زاویه بین تنش برشی اولیه و ثانویه در گوشه‌های سمت راست عبارت است از: $\theta = 90 - \tan^{-1}\frac{20}{38} = 62.24^\circ$

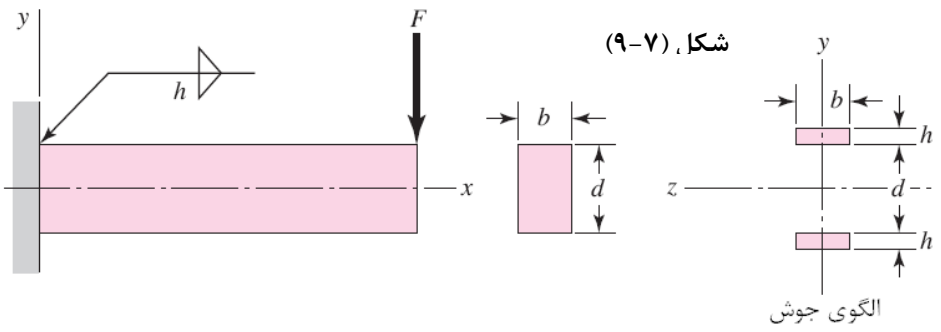
بنابراین تنش برشی برآیند برابر است با: $\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2 + 2\tau'\tau''\cos\theta} = 122.12\ \text{MPa}$

حال با استفاده از معیار وان میزز داریم: $S_{sy} = 0.577 S_y =$

در نتیجه ضریب ایمنی مساوی است با: $n =$

××

خمش در اتصالات جوش شده



شکل (۷-۹)

در صورت رسم دیاگرام آزاد تیر، یک نیروی عکس‌العمل برشی V و یک گشتاور عکس‌العمل M در جوش خواهیم داشت.

××

نکته: اگر جوش و نیروی اعمالی در یک صفحه باشند جوش تحت پیچش است و اگر در دو صفحه عمود بر هم باشند جوش تحت خمش است.

تنش برشی در جوش برابر است با:

(۷-۲۳)

در این رابطه A مساحت کل گلوی جوش است.

گشتاور M سبب ایجاد تنش خمشی نرمال σ در جوشها می‌شود.

در تحلیل جوش فرض می‌کنیم این تنش بر سطح مقطع گلو عمود است.

تنش ناشی از گشتاور خمشی برابر است با:

(۷-۲۴)

××

در این رابطه I ممان اینرسی بر پایه گلوی جوش بوده و برابر است با:

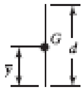
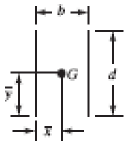
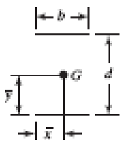
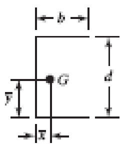
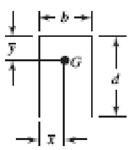
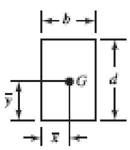
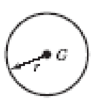
(۷-۲۵)

وقتی مؤلفه‌های تنش σ و τ (همان τ') را برای جوشهای تحت خمش بدست آوردیم می‌توانیم تنشهای اصلی یا تنش برشی ماکزیمم را بیابیم.

سپس با بکارگیری یک معیار واماندگی مناسب (وان- میزز یا ترسکا) وقوع واماندگی یا ایمنی جوش را پیش‌بینی کنیم.

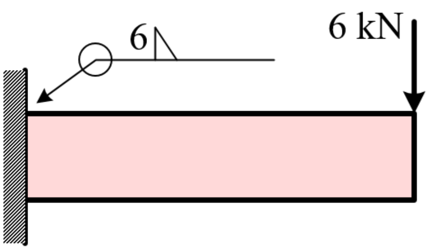
××

جدول (۷-۲): خواص خمشی جوشهای نواری

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b+d)$
	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b+2d)\bar{y}^2$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b+d)$
	$A = 1.414\pi hr$		$I_u = \pi r^3$

مثال (۷-۲)

تیر مقابل دارای طول 50 mm و قطر 20 mm است. اگر استحکام تسلیم ماده جوش 450 MPa باشد ضریب ایمنی اتصال را بر اساس معیار وان‌میزز تعیین کنید.



حل: ابتدا باید تنش برشی اولیه τ' را بیابیم.

$$A = 1.414\pi hr = 1.414 \times \pi \times \left(6\times10^{-3}\right) \times \left(10\times10^{-3}\right) = 2.6653\times10^{-4}\ \text{m}^2$$

××

در نتیجه:

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{6\times10^{3}}{2.6653\times10^{-4}} = 22.51\,\text{MPa}$$

در مرحله بعد باید I را بیابیم. با استفاده از جدول (۷-۱):

$$J_u = 2\pi r^3 = 2\pi\left(10\times10^{-3}\right)^3 = 6.2832\times10^{-6}\ \text{m}^3$$

$$J = 0.707\,h\,J_u = 0.707\times6\times10^{-3}\times6.2832\times10^{-6} = 2.6653\times10^{-8}\ \text{m}^4$$

سطح مقطع جوش دایره‌ای است بنابراین:

××

از طرف دیگر گشتاور M برابر است با:

$$M = F\times l = 6\times10^{3}\times50\times10^{-3} = 300\,\text{N.m}$$

بنابراین تنش خمشی در هر نقطه از جوش برابر است با:

تنش معادل وان- میزز در گلوی جوش برابر است با:

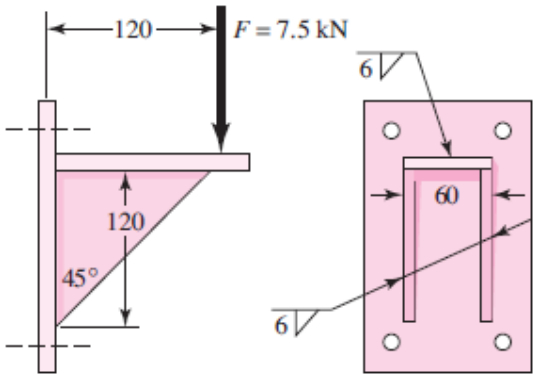
$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau'^2} = \sqrt{360.17^2 + 3\times22.51^2} = 362.27\,\text{MPa}$$

در نهایت:

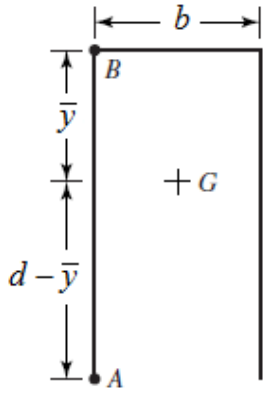
$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{450}{362.27} = 1.24$$

مسائل فصل هفتم

مسأله ۷-۱- اگر استحکام تسلیم جوش شکل زیر 200MPa باشد ضریب ایمنی اتصال را بیابید.



Dimensions in millimeters



حل: مجموعه جوش مقابل که نمایش آن در شکل زیر آمده است تحت خمش قرار دارد.

با استفاده از جدول (۷-۲) مشخصات هندسی این جوش عبارتند از:

$$h=6\text{ mm}\quad,\quad d=120\text{ mm}\quad,\quad b=60\text{ mm}\quad\Rightarrow$$

$$A=0.707h(b+2d)=0.707\times6\times\left(60+2\times120\right)=1270\text{ mm}^2=1270\times10^{-6}\text{ m}^2$$

$$\bar{y}=\frac{d^2}{b+2d}=\frac{120^2}{60+2\times120}=48\,\text{mm}$$

$$I_u=\frac{2d^3}{3}-2d^2\bar{y}+(b+2d)\bar{y}^2=\frac{2\times120^3}{3}-2\times120^2\times48+\left(60+2\times120\right)\times48^2=461000\,\text{mm}^3=461000\times10^{-9}\text{ m}^3$$

$$I=0.707hI_u=0.707\times6\times461000=1960000\,\text{mm}^4=1960000\times10^{-12}\text{ m}^4$$

تنش‌ها را باید در بحرانی‌ترین نقطه جوش حساب کنیم. با توجه به مقدار $\bar{y}$ نقطه A بیشترین فاصله را از مرکزوار مجموعه جوش داشته و از نقاط دیگر جوش بحرانی‌تر است.

$$c_A=\sqrt{\bar{x}^2+\left(d-\bar{y}\right)^2}=\sqrt{30^2+\left(120-48\right)^2}=78\,\text{mm}$$

$$\tau'=\frac{F}{A}=\frac{7.5\times10^3}{1270\times10^{-6}}=5.91\,\text{MPa}$$

$$M=7.5\times10^3\times120\times10^{-3}=900\text{ N.m}\qquad\Rightarrow\qquad\sigma_A=\frac{Mc_A}{I}=\frac{900\times72\times10^{-3}}{1960000\times10^{-12}}=33.1\,\text{MPa}$$

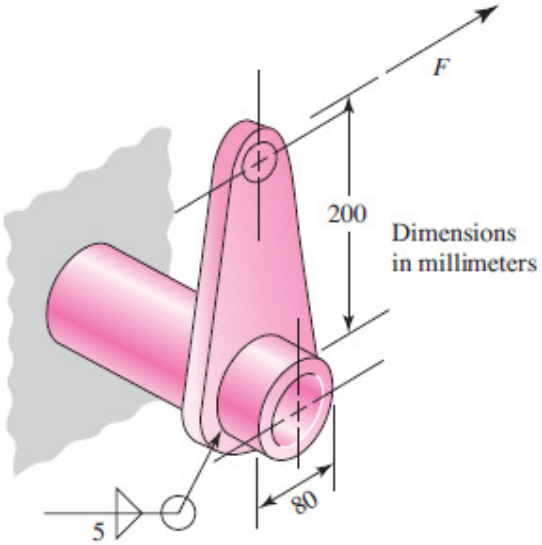
بنابراین تنش معادل وان- میزز در گلوی جوش برابر است با:

$$\sigma'_A=\sqrt{{\sigma_A}^2+3\tau'^2}=\sqrt{33.1^2+3\times5.91^2}=34.65\,\text{MPa}$$

ضریب ایمنی هم برابر است با:

$$n=\frac{S_y}{\sigma'_A}=\frac{200}{34.65}=5.77$$

مسأله ۷-۲- تنش برشی مجاز جوش زیر 140MPa است. نیروی F که سبب این تنش در گلوی جوش می‌شود را تعیین کنید.



حل: با توجه به علامت جوش مشخص است که در دو طرف بازو (عضو عمودی) یک جوش سرتاسری با گلوی 5mm وجود دارد.

تنش برشی اولیه در جوش صفر است. زیرا حتی اگر جوش وجود هم نداشت بدلیل ممانعت عضو افقی، بازو نمی‌توانست حرکت انتقالی در جهت نیرو داشته باشد. بلکه تنها می‌تواند در اثر نیروی

F حول عضو افقی بچرخد که این چرخش که ناشی از گشتاور پیچشی است در جوش تولید تنش برشی ثانویه می‌کند. این تنش برشی ثانویه را بصورت زیر تعیین می‌کنیم:

$$\tau' = 0$$

$$J_u = 2\pi r^3 = 2\pi \times 40^3 = 402000 \text{ mm}^3 = 402000 \times 10^{-9} \text{ m}^3$$
$$J = 0.707 h J_u = 0.707 \times 5 \times 402000 = 1420000 \text{ mm}^4 = 1420000 \times 10^{-12} \text{ m}^4$$

$$M = 200 \times 10^{-3} \times F = 0.2F \text{ N.m}$$

$$\tau'' = \frac{1}{2}\frac{Mr}{J} = \frac{0.2F \times (40+5) \times 10^{-3}}{2 \times 1420000 \times 10^{-12}} = 3.17 \times 10^3 F$$

ضریب یک دوم از آن جهت ایجاد شده است که در دو طرف بازو جوش داریم.

$$\tau'' = \tau_{all} \quad \Rightarrow \quad 3.17 \times 10^3 F = \tau_{all} = 140 \times 10^6 \quad \Rightarrow \quad F = 44.2 \times 10^3 \text{ N} = 44.2 \text{ kN}$$

ضریب یک دوم از آن جهت ایجاد شده است که در دو طرف بازو جوش داریم.

مسأله ۷-۳- اگر در مثال (۷-۱) در مرکزوار مجموعه جوش یک پیچ M32×4 با کلاس ISO 4.8 اضافه کنیم ضریب ایمنی اتصال چه مقدار خواهد شد؟

حل: به عهده دانشجو