

فصل ششم

بوسته‌ها و مخازن جدار نازک تحت فشار

۱-۶ مقدمه

در فصل‌های ۱ تا ۳ ما حالت‌های مختلف تنش‌های عمودی با توزیع یکبرابری با بررسی کردیم. کار برد دیگر تنش‌های عمودی با توزیع یکبرابری در تحلیل تقریبی بوسته‌ها و مخازن تحت فشار از قبیل بوسته‌های استوانه‌ای، کره‌ای، مخروطی و تورویید تحت فشار داخلی یا خارجی ناشی از یک گاز یا مایع می‌باشد. در این فصل ابتدا ما حلقه‌های نازک تحت بارگذاری شعاعی با توزیع یکبرابری را بررسی می‌کنیم و سپس به مطالعه تنش‌ها در انواع بوسته‌های دوار جدار نازک می‌پردازیم. در مطالعه بوسته‌ها فقط تغییر شکل‌های با تقارن محوری را در نظر می‌گیریم. مخازن تحت فشار جدار نازک کار برد زیادی دارند از جمله: مخازن ذخیره مایعات، لوله‌های آب، دیگ‌های بخار، بدنه کنش‌های زیر دریایی و بعضی از قسمت‌های هواپیما.

۲-۶ حلقه‌های نازک

در این بخش ما حالت حلقه دایره‌ای نازکی را که تحت اثر بارهای شعاعی با توزیع یکبرابری مطابق شکل ۱a-۶ می‌باشد مطالعه می‌کنیم. اگر مساحت سطح مقطع حلقه در طول محیط آن ثابت و ضخامت t حلقه در مقایسه A با شعاع r حلقه کوچک باشد، بارگذاری یوزبور در حلقه تنش و کرنش محیطی یکبرابری

چون محیط و قطر دایره به نسبت ثابت π می‌باشند، اضافه طول در واحد طول قطر با کرنش محیطی برابر می‌باشد، یعنی $\epsilon_d = \epsilon_c$. ϵ_d به کرنش قطری حلقه موسوم است. بار گذاری شعاعی یکنواخت شکل ۱-۶ را می‌توان با دوران دادن حلقه حول محور هندسی عمود بر صفحه حلقه با سرعت زاویه‌ای ثابت ω ایجاد نمود. عنصر حلقه کوچکی به جرم dm تحت چنین شرایطی با سرعت ثابتی در یک مسیر دایره‌ای به شعاع r دوران می‌کند و دارای شتاب عمودی $a_n = \omega^2 r$ با جهتی به طرف مرکز حلقه می‌باشد. نیروی گریز از مرکز مربوطه که شعاعی و به طرف خارج از مرکز است برابر $\omega^2 r dm$ می‌باشد. جرم عنصری به طول $ds = r d\theta$ و وزن واحد طول محیط w برابر $dm = wr d\theta / g$ است. بنابراین نیروهای گریز از مرکز مزبور معادل با بار شعاعی یکنواختی با شدت

$$q = \frac{w}{g} \omega^2 r \quad (6-4)$$

می‌باشد. با جایگزینی q از معادله فوق در معادلات 1-6 و 2-6 کشش محیطی S و تنش محیطی σ_c بدست می‌آیند.

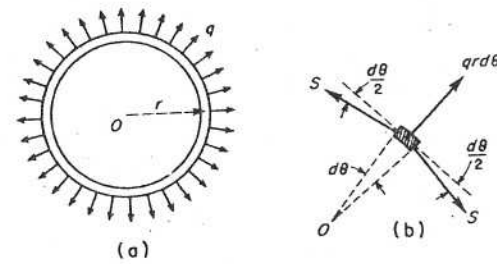
$$S = qr = \frac{w}{g} \omega^2 r^2 \quad (6-5)$$

$$\sigma_c = \frac{S}{A} = \frac{w}{Ag} \omega^2 r^2 = \frac{\gamma}{g} \omega^2 r^2 \quad (6-6)$$

در رابطه 6-6 کمیت $\gamma = w/A$ وزن واحد حجم مصالح حلقه می‌باشد. از این رابطه مشاهده می‌شود که تنش محیطی ناشی از نیروهای گریز از مرکز با مربع شعاع حلقه و سرعت زاویه‌ای افزایش می‌یابد. از این رو حلقه‌ای به شعاع زیاد که با سرعت زیادی دوران می‌کند ممکن است تحت تأثیر تنش‌های خیلی زیادی قرار گیرد.

مثال ۱-۶

لوله آب فولادی طولی به قطر متوسط $d = 60\text{cm}$ و ضخامت جدار $t = 3\text{mm}$ فشار داخلی $p = 10\text{Kg/cm}^2$ را تحمل می‌کند (شکل ۲-۶). مقدار تنش محیطی در جدار لوله و افزایش قطر آن را محاسبه کنید. $E = 2 \times 10^6 \text{Kg/cm}^2$.



شکل ۱-۶

ایجاد خواهد کرد و مسئله مشابه حالت کشش و فشار ساده در می‌آید. اگر بار گذاری شعاعی به طرف خارج حلقه باشد، حلقه تحت کشش محیطی، و اگر بار گذاری شعاعی به طرف داخل حلقه باشد، حلقه تحت فشار محیطی قرار خواهد گرفت. بار گسترده شعاعی ممکن است در اثر فشار داخلی یا خارجی و یا در مورد حلقه‌ای که در حال دوران می‌باشد در اثر نیروی گریز از مرکز ایجاد شود. در هر صورت شدت بار q را می‌توان به صورت نیرو در واحد طول محیط دایره مرکزی متوسط به شعاع r تعریف نمود.

برای اینکه نیروهای داخلی ایجاد شده در اثر بار گذاری شعاعی در روی حلقه را پیدا کنیم، تعادل عنصری از حلقه به طول $ds = r d\theta$ را در شکل ۱-۶ b در نظر می‌گیریم. در این شکل، S نیروی کششی محیطی و $qrd\theta$ بار شعاعی خارجی وارد بر عنصر مزبور می‌باشد. با نوشتن معادله تعادل عنصر در امتداد شعاعی و استفاده از رابطه $\sin(d\theta/2) \approx d\theta/2$ نتیجه می‌شود

$$qrd\theta - 2S \frac{d\theta}{2} = 0$$

از این رابطه نیروی S بدست می‌آید.

$$S = qr \quad (6-1)$$

اگر جهت بار گسترده q به طرف داخل حلقه باشد، معادله 1-6 فشار محیطی یکنواخت را در حلقه می‌دهد.

چون ضخامت t حلقه در مقایسه با شعاع متوسط r آن کوچک فرض می‌شود، کشش محیطی S را در روی سطح مقطع A حلقه می‌توان یکنواخت فرض نمود. در این صورت تنش محیطی σ_c برابر می‌شود با

$$\sigma_c = \frac{S}{A} = \frac{qr}{A} \quad (6-2)$$

همین طور کرنش محیطی که در طول محیط حلقه یکنواخت فرض می‌شود مساویست با

$$\epsilon_c = \frac{\sigma}{E} = \frac{qr}{AE} \quad (6-3)$$

برای بدست آوردن تنش محیطی σ_c قسمتی از استوانه به طول L را از بقیه استوانه جدا می‌کنیم. نمودار جسم آزاد نیمی از استوانه در شکل ۶-۳ a رسم شده است. شکل ۶-۳ b نیز نیروهای مؤثر بر مقطع استوانه را نشان می‌دهد. به علت تقارن مؤلفه‌های افقی فشارهای شعاعی یکدیگر را حذف می‌کنند، ولی در امتداد قائم معادله تعادل زیر موجود است:

$$\Sigma F_v = -2\sigma_c hL + \int_0^\pi p(r d\theta)(\sin\theta)L = 0$$

پس از انتگرال گیری، تنش محیطی σ_c بدست می‌آید.

$$\sigma_c = \frac{pr}{h} \quad (6-7)$$

توجه کنید مؤلفه قائم نیروی برآیند ناشی از فشار p را همچنین می‌توان با ضرب نمودن فشار در تصویر افقی سطحی که فشار بر آن اثر می‌کند بدست آورد.

برای بدست آوردن تنش طولی σ_l در استوانه، بوسیله صفحه‌ای عمود بر محور هندسی استوانه آن را قطع می‌کنیم. نمودار جسم آزاد قسمت باقی مانده استوانه در شکل ۶-۳ c رسم شده است. از معادله تعادل در امتداد افق نتیجه می‌شود

$$\Sigma F_h = -p\pi r^2 + 2\pi r h \sigma_l = 0$$

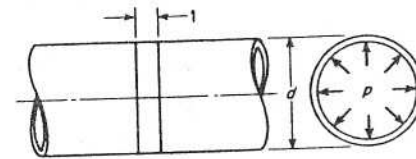
از این رابطه تنش طولی بدست می‌آید.

$$\sigma_l = \frac{pr}{2h} \quad (6-8)$$

در نتیجه تنش محیطی دو برابر تنش طولی می‌باشد. بنابراین اگر آب در لوله مسدودی بیخ ببندد، لوله در امتداد خطی موازی محور طولی آن خواهد ترکید. فرمول‌های ساده فوق برای تنش‌ها در مجاورت دو انتهای لوله دقیق نمی‌باشند.

مثال ۶-۲

مخزن یک ماشین تراکم هوا شامل استوانه‌ای می‌باشد که در دو انتها بوسیله دونیم کره بسته شده است. اگر مخزن مزبور، از فولاد با تنش تسلیم 250 MPa باشد، ضخامت جدار استوانه را با ضریب اطمینان 3.5 حساب کنید. از تأثیرات موضعی در محل



شکل ۶-۲

حل: قسمتی از لوله به طول 1 cm را به صورت حلقه‌ای در نظر می‌گیریم. مساحت سطح مقطع حلقه مزبور $A = 1 \text{ cm} \times 0.3 \text{ cm} = 0.3 \text{ cm}^2$ می‌باشد. فشار داخلی p برای این حلقه معرف شدت بار در واحد طول محیط آن می‌باشد. بنابراین از معادله 6-2 نتیجه می‌شود

$$\sigma_c = \frac{pr}{A} = \frac{10 \times 30}{0.3} = 1000 \text{ Kg/cm}^2$$

کرنش محیطی با استفاده از معادله 6-3 برابر است با

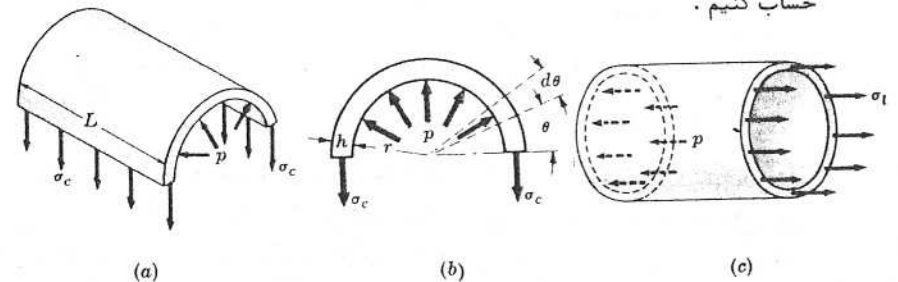
$$\epsilon_c = \frac{\sigma_c}{E} = \frac{1000}{2(10^6)} = 5 \times 10^{-4}$$

چون کرنش قطری با کرنش محیطی یکسان است، اضافه طول قطر لوله مساوی است با

$$\Delta d = 5 \times 10^{-4} \times 60 = 0.03 \text{ cm}$$

۶-۳ استوانه‌های جدار نازک

فرض کنید استوانه جدار نازکی در دو انتهایش بوسیله صفحه‌هایی بسته و تحت فشار داخلی یکنواخت p باشد (شکل ۶-۳). ضخامت جدار استوانه را h و شعاع داخلی آن را r فرض می‌کنیم. با صرف نظر کردن از اثرهای ناشی از گیر داری دو انتهای استوانه می‌توانیم تنش‌های عمودی طولی و محیطی را در اثر بارگذاری مذکور حساب کنیم.



شکل ۶-۳

مشخص شده است بدست می‌آید. بنابراین با فرض اینکه شعاع داخلی نیم کره r و ضخامت جدار آن h باشد داریم

$$\Sigma F_h = \sigma_c (2\pi r h) - p\pi r^2 = 0$$

$$\sigma_c = \frac{pr}{2h} \quad (6-9)$$

به علت تقارن این تنش محیطی در هر نقطه از جدار کره در تمام جهات یکسان می‌باشد.

مثال ۳-۶

یک مخزن کروی به قطر 20m باید برای ذخیره کردن گاز بکار رود. ضخامت جدار مخزن 10mm و تنش مجاز مصالح آن 125 MPa می‌باشد. حداکثر فشار گاز مجاز p چقدر می‌باشد؟

حل: حداکثر فشار گاز مجاز p از رابطه 6-9 بدست می‌آید.

$$125 = \frac{p(10 \times 10^3)}{2(10)} \quad : \quad p = 0.25 \text{ MPa}$$

۶-۵ پوسته‌های مخروطی

محاسبه تنش‌ها در پوسته‌های مخروطی را به کمک مثالی شرح می‌دهیم.

مثال ۴-۶

پوسته مخروطی شکل a - ۵ شامل مایعی به وزن مخصوص γ می‌باشد. پوسته در اطراف لبه فوقانی تکیه دارد و ارتفاع مایع در آن H می‌باشد. تنش‌های ایجاد شده در جدار پوسته را حساب کنید. محور هندسی پوسته قائم می‌باشد.

حل: حالت تنش در پوسته دارای تقارن محوری می‌باشد. فرض می‌شود که ضخامت

اتصال استوانه و نیم کره صرف نظر نمایید. قطر داخلی استوانه 600mm و فشار داخلی آن 3.5 MPa می‌باشد.

حل: چون دو انتهای مخزن بسته می‌باشد، از فرمول‌های 6-7 و 6-8 برای تعیین ضخامت جدار استوانه می‌توان استفاده نمود.

تنش محیطی در جدار استوانه دو برابر تنش طولی است، بنابراین تنش بحرانی تنش محیطی می‌باشد که نباید از تنش مجاز 250/3.5MPa تجاوز کند. با استفاده از رابطه 6-7 داریم

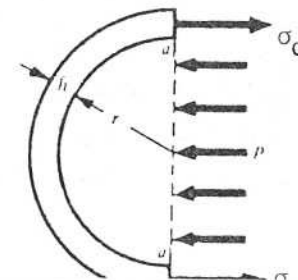
$$\frac{250}{3.5} = \frac{3.5(300)}{h}$$

از این رابطه $h = 14.7\text{mm}$ بدست می‌آید.

در تحلیل‌های کامل‌تر تنش‌ها در دو انتهای نیم کره‌ای نیز باید بررسی شوند.

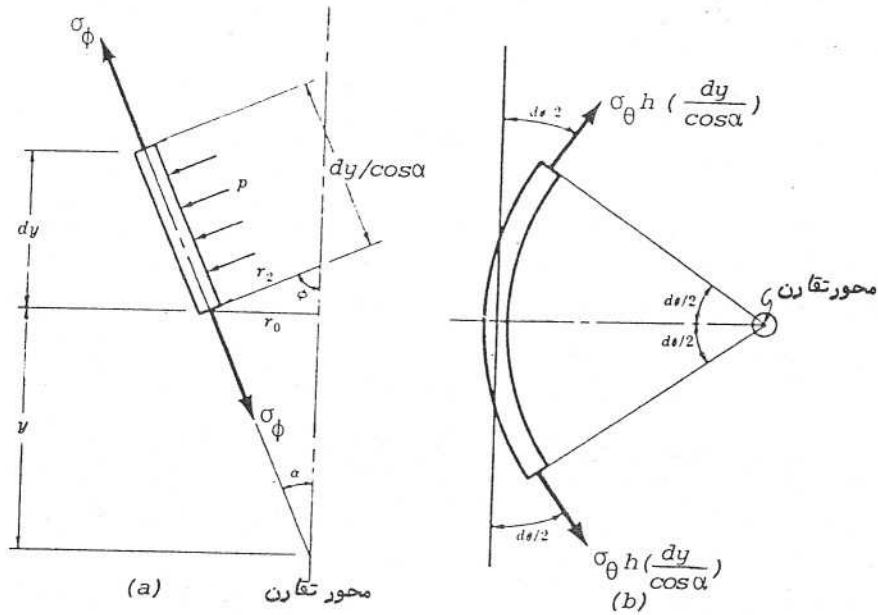
۶-۴ پوسته‌های کروی

یک پوسته کروی تحت فشار داخلی یکنواخت p را در نظر می‌گیریم. در اثر فشار مزبور در پوسته تنش‌های کششی ایجاد می‌شود. برای بدست آوردن مقدار این تنش‌ها نیمی از کره را مطابق شکل ۴-۶ در نظر می‌گیریم و نمودار جسم آزاد آن را رسم می‌کنیم. به علت تقارن بار گذاری و تغییر شکل، در پوسته تنش‌های کششی محیطی σ_c مطابق شکل ۴-۶ ایجاد می‌گردد. با نوشتن معادله تعادل نیم کره در امتداد افق تنش σ_c بدست می‌آید. چون نیم کره و بار گذاری روی آن نسبت به یک محور افقی متقارن می‌باشند مؤلفه‌های قائم نیروهای ناشی از فشار p یکدیگر را خنثی می‌کنند، و برآیند این نیروها با ضرب نمودن فشار p در مساحت تصویر قائم سطح نیم کره که در شکل ۴-۶ با $a-a$



شکل ۴-۶

۲۷۱



شکل ۶-۶

چون $\sin d\theta / 2$ کوچک است برآیند مزبور برابر می شود با $\sigma_\theta h (dy / \cos \alpha) d\theta$

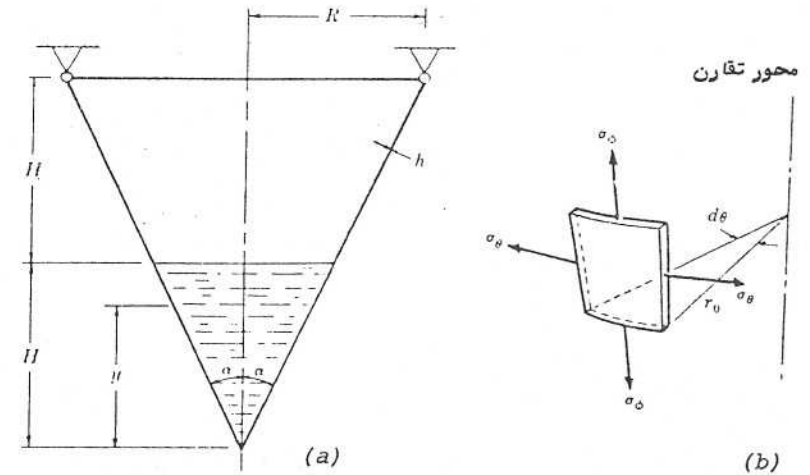
از شکل a ۶-۶ مشاهده می شود که این برآیند باید در $\cos \alpha$ ضرب شود تا مؤلفه برآیند در جهت عمود بر سطح پوسته بدست آید. واضح است که نیروهای نصف النهاری مربوط به شکل a ۶-۶ یکدیگر را خنثی می کنند. مابعد مطابق شکل فشار p را بر سطحی به مساحت $(r_0 d\theta) (dy / \cos \alpha)$ وارد می کند. بنابراین از تعادل عنصر در جهت عمود بر سطح آن داریم

$$\sigma_\theta h \left(\frac{dy}{\cos \alpha} \right) (d\theta) (\cos \alpha) - p (r_0 d\theta) \frac{dy}{\cos \alpha} = 0$$

از این رابطه تنش محیطی σ_θ بدست می آید.

$$\sigma_\theta = \frac{pr_0}{h \cos \alpha} = \frac{p r_0 \tan \alpha}{h \cos \alpha} = \frac{p r_2}{h} \quad (6-10)$$

۲۷۰



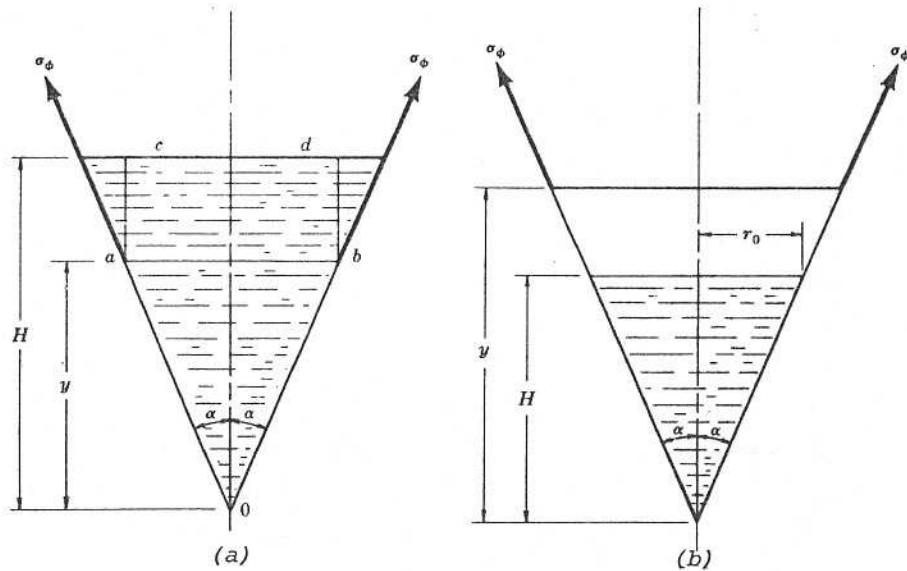
شکل ۶-۵

h پوسته در مقایسه با R و H کوچک باشد. با مطالعه تعادل عنصری از پوسته بین دو صفحه موازی افقی مجاور هم (عمود بر محور تقارن) و دو مولد نزدیک بهم مخروط، تنش ها در پوسته مخروطی را حساب می کنیم. بر روی عنصر مزبور تنش های σ_θ در جهت افق (شکل b ۶-۵) و σ_ϕ در جهت مولد مخروط اثر می کنند. تنش σ_θ به نام تنش محیطی و تنش σ_ϕ به نام تنش نصف النهاری موسوم می باشد.

زاویه θ در شکل b ۶-۵ در یک صفحه افقی اندازه گیری می شود. شعاع r_0 مخروط در محل مزبور است که البته تابعی از محل عنصر مورد نظر نسبت به محور تقارن می باشد. یکی از مختصات مفید دیگر که هندسه مخروط را مشخص می کند کمیت r_2 است که شعاع انحنا، سطح پوسته در جهت عمود بر مولد آن می باشد. از شکل a ۶-۶ مشاهده می شود که بین r_0 و r_2 رابطه $r_0 = r_2 \cos \alpha$ وجود دارد و چون $r_0 = y \tan \alpha$ می باشد، شعاع انحنا r_2 برابر است با $r_2 = y \tan \alpha / \cos \alpha$.

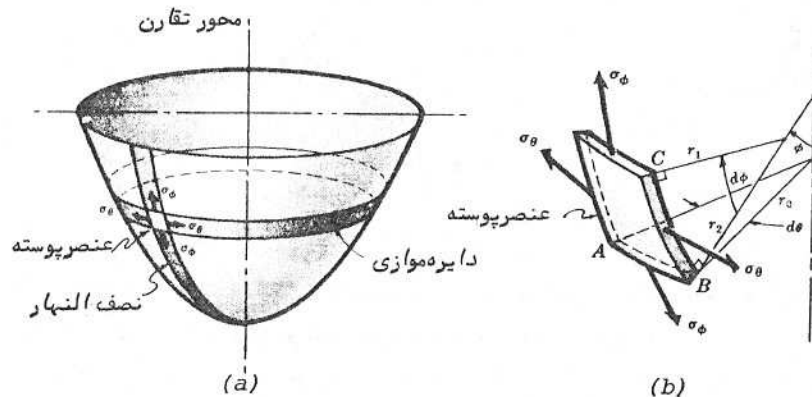
نیروهای محیطی در شکل b ۶-۶ که تصویر افقی عنصر است بهتر قابل تجسم می باشد. واضح است که هر یک از نیروهای محیطی $\sigma_\theta h (dy / \cos \alpha)$ با مماس بر عنصر زاویه $d\theta / 2$ می سازد. برآیند این نیروهای محیطی برابر $2\sigma_\theta h (dy / \cos \alpha) \sin d\theta / 2$

است که در یک صفحه افقی عمل می کند و جهت آن به طرف محور هندسی پوسته می باشد.



شکل ۶-۷

حول محوری در داخل صفحه منحنی ایجاد می شود. منحنی مزبور که همان منحنی مولد پوسته دوار می باشد به نام نصف النهار پوسته خوانده می شود. شعاع انحنا نصف النهار با r_1 نشان داده می شود، و البته این شعاع در طول نصف النهار متغیر می باشد. این شعاع انحنا بوسیله دو خط عمود بر پوسته که از نقاط B و C عبور میکنند مشخص



شکل ۶-۸

این معادله در هر نقطه پوسته مخروطی صادق است. در نیمه پایین ($0 < y < H$) داریم بنابراین $p = \gamma(H-y)$

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma(H-y)y \tan \alpha}{h \cos \alpha} \quad (6-11)$$

در نیمه بالا ($H < y < 2H$) $p = 0$ می باشد و در نتیجه داریم $\sigma_\theta = 0$. تنش نصف النهاری σ_ϕ را می توان با مطالعه تعادل قائم پوسته مخروطی بدست آورد. در ناحیه $0 < y < H$ وزن مایع در ناحیه مخروطی abo و ناحیه استوانه ای abcd در معادله تعادل در امتداد قائم برای تعیین σ_ϕ وارد می شوند (شکل ۶-۷ a). در این صورت معادله تعادل قائم به صورت زیر نوشته می شود:

$$\sigma_\phi h (2\pi y \tan \alpha) \cos \alpha - \frac{1}{3} \pi (y \tan \alpha)^2 y \gamma + (H-y) \pi (y \tan \alpha)^2 \gamma = 0$$

از این رابطه σ_ϕ بدست می آید.

$$\sigma_\phi = \frac{\gamma \tan \alpha}{h \cos \alpha} \left(\frac{Hy}{2} - \frac{y^2}{3} \right) \quad (6-12) \quad \text{برای } 0 < y < H$$

همین طور در ناحیه $H < y < 2H$ وزن تمام مایع در معادله تعادل در امتداد قائم وارد می شود (شکل ۶-۷ b) بطوریکه

$$\sigma_\phi h (2\pi y \tan \alpha) \cos \alpha - \frac{1}{3} \pi r_0^2 H \gamma = 0$$

پس از حل برای σ_ϕ و استفاده از رابطه $r_0 = H \tan \alpha$ خواهیم داشت

$$\sigma_\phi = \frac{\gamma H^3 \tan \alpha}{6 h y \cos \alpha} \quad (6-13) \quad \text{برای } H < y < 2H$$

باید توجه نمود که تنش های مربوط به تغییر شکل های با تقارن محوری پوسته ایزواستاتیک می باشند، یعنی اینکه تنش های مزبور بدون استفاده از هیچ رابطه تغییر شکلی بدست می آیند. بنابراین روابط فوق در حد خمیری مصالح نیز صادق می باشند.

۶-۶ تنش ها در یک پوسته دوار

پوسته دواری که در شکل ۶-۸ a مشاهده می شود از دوران یک منحنی سطح

و مؤلفه آنها عمود بر سطح عنصر پوسته $\sigma_\phi hr_0 d\theta d\phi$ می باشد. فشار p در روی سطحی به مساحت $(r_0 d\theta)(r_1 d\phi)$ اثر می کند. بنابراین معادله تعادل عنصر در امتداد عمود بر سطح عنصر پوسته عبارت است از

$$\sigma_\theta hr_1 d\theta d\phi \sin\phi + \sigma_\phi hr_0 d\theta d\phi - pr_0 d\theta r_1 d\phi = 0$$

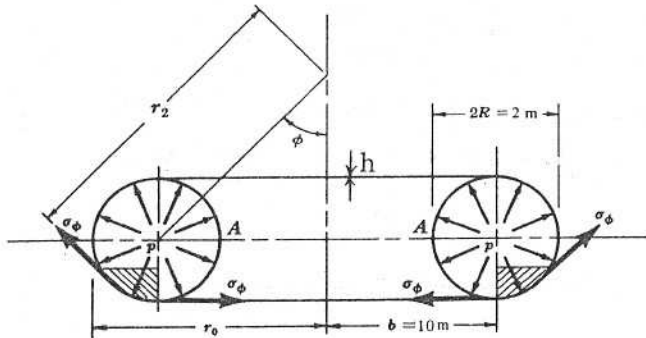
با استفاده از رابطه $r_0 = r_2 \sin\phi$ رابطه فوق به صورت زیر در می آید :

$$\frac{\sigma_\phi}{r_1} + \frac{\sigma_\theta}{r_2} = \frac{p}{h} \quad (6-14)$$

این فرمول اساسی در مورد تمام پوسته های دوار که تغییر شکل آنها دارای تقارن محوری است صادق می باشد. با در نظر گرفتن تعادل قائم قسمتی از پوسته در پایین یک صفحه افقی (مشابه آنچه که در مثال ۴-۶ عمل شد) می توان معادله دیگری برای تنش ها بدست آورد. این معادلات در حد خمیری مصالح نیز صادق می باشند. کار برد فرمول 6-14 در مثال زیر نشان داده می شود.

مثال ۵-۶

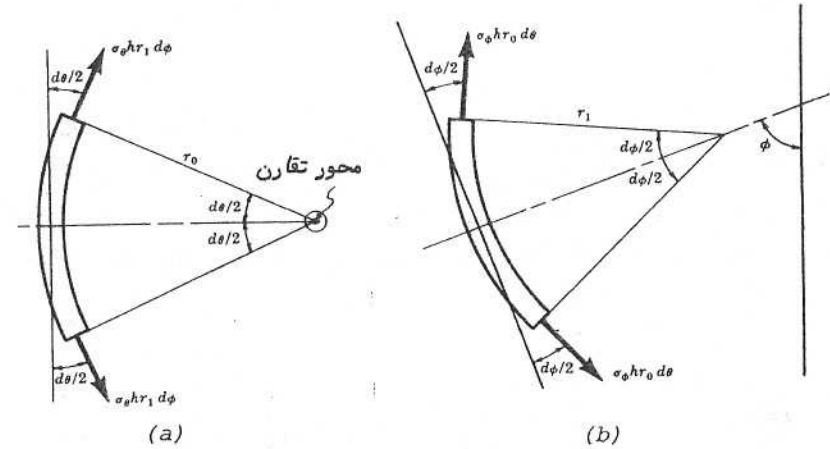
پوسته های توروئیدی بعضی از مواقع بعنوان مخازن ذخیره گاز در وسایل نقلیه فضایی بکار می روند. یکی از طرح هایی که بوسیله اداره فضا نوردی ایالات متحده امریکا (ناسا) پیشنهاد شده در شکل ۶-۱۰ مشاهده می گردد. قطر متوسط توروئید مزبور $2b = 20$ m و قطر سطح مقطع آن $2R = 2$ m میباشد. فشار داخلی p برابر 0.15 MPa



شکل ۱۰-۶

می شود. پارامتر دیگر پوسته شعاع r_2 است که شعاع انحنا^۱ سطح پوسته در جهت عمود بر نصف النهار می باشد. این شعاع انحنا^۲ بوسیله دو خط عمود بر پوسته که از نقاط A و B عبور می کنند مشخص می گردد. مرکز انحنا^۳ مربوط به شعاع r_2 باید در روی محور تقارن پوسته قرار داشته باشد، ولی مرکز انحنا^۴ مربوط به r_1 در حالت کلی بر روی محور پوسته قرار ندارد. موقعی که پوسته تحت فشار داخلی p عمود بر سطح منحنی آن قرار می گیرد در آن تنش های نصف النهاری σ_ϕ و تنش های محیطی σ_θ مطابق شکل b-۸-۶ بوجود می آید.

برای تعیین تنش ها در پوسته دوار موقعی که تحت فشار داخلی p میباشد عنصری از پوسته را مطابق شکل b-۸-۶ در نظر می گیریم. این عنصر بوسیله دو دایره موازی مجاور هم که صفحه آنها عمود بر محور تقارن قائم پوسته است و دو مولد یا نصف النهار مجاور هم محدود شده است. عنصر مزبور شبیه عنصر شکل b-۵-۶ می باشد با این تفاوت که اضلاع قائم آن مستقیم نیستند بلکه منحنی می باشند.

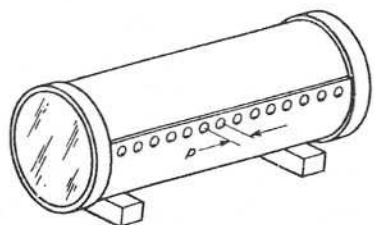


شکل ۹-۶

در تصویر افقی عنصر در شکل a-۹-۶ نیروهای محیطی نشان داده شده اند (مشابه آنچه که در مثال ۴-۶ بحث شد). مؤلفه این نیروها در امتداد افق برابر $2\sigma_\theta hr_1 d\phi (d\theta/2)$ می باشد که جهت آنها به سوی محور تقارن پوسته است. این مؤلفه در $\sin\phi$ ضرب می شود تا مؤلفه عمود بر سطح عنصر پوسته به دست آید. نیروهای نصف النهاری در شکل b-۹-۶ که تصویر قائم عنصر می باشد مشاهده میشوند

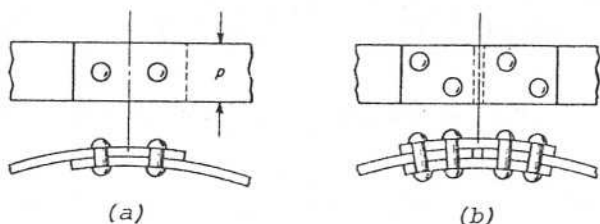
۶-۲ اتصالات با پرچ و جوش در مخازن تحت فشار

در هنگام ساختن انواع مختلف مخازن تحت فشار معمولاً "اتصالات با پرچ یا جوش لازم می‌گردد (شکل ۱۱-۶) . انتخاب نوع اتصال بستگی به نوع مصالح و شرایط بهره برداری مخزن تحت فشار دارد .



شکل ۱۱-۶

اتصالات با پرچ در دیگ‌های بخار و سایر مخازن تحت فشار معمولاً " به دو صورت انجام می‌شود : اتصال روی هم (شکل ۱۲ a-۶) و اتصال لب به لب (شکل ۱۲ b-۶) . پرچ‌ها در این اتصالات آنقدر حرارت داده می‌شوند تا به حالت قرمز درآیند . در این صورت پرچ‌ها پس از خنک شدن ورق‌های فلز را کاملاً " به یکدیگر می‌فشارند و غیر قابل نفوذ می‌سازند . موقعی که پوسته تحت فشار داخلی قرار می‌گیرد ، پرچ‌ها از حرکت نسبی بین ورق‌ها بوسیله اصطکاک و مقاومت برشی شان جلوگیری می‌کنند . بدین ترتیب رفتار یک اتصال با پرچ تحت بار بسیار پیچیده است . برای ساده نمودن مسئله معمولاً " از اصطکاک صرف نظر می‌گردد و فرض می‌شود که پرچ‌ها تمام بار را بوسیله مقاومت برشی شان که به طور یکنواخت در سطح مقطع پرچ توزیع شده است تحمل کنند . شکست اتصالات پرچی فقط به صورت برش صورت نمی‌گیرد . در شکل ۱۳-۶ حالت های مختلف شکست اتصال نشان داده شده است . همان طوریکه قبلاً " بحث



شکل ۱۲-۶

و مصالح پوسته از آلیاژ آلومینیوم با تنش تسلیم 350 MPa (در درجه حرارت اتاق) می‌باشد . اگر ضریب اطمینانی برابر 1.5 بکار رود ، ضخامت لازم برای جدار تورویید را حساب کنید .

حل : تعادل قائم قسمتی از تورویید به شکل حلقه را (قسمت هاشور خورده در شکل ۱۰-۶) در نظر می‌گیریم . با توجه به اینکه مؤلفه قائم نیروهای ناشی از فشار p با ضرب نمودن فشار p در تصویر افقی سطح منحنی بدست می‌آید ، می‌توانیم بنویسیم

$$2\pi r_0 \sigma_\phi h \sin\phi = \pi p (r_0^2 - b^2)$$

تنش نصف النهاری σ_ϕ از معادله فوق با استفاده از رابطه $\sin\phi = (r_0 - b) / R$ بدست می‌آید .

$$\sigma_\phi = \frac{pR(r_0 + b)}{2r_0 h} \quad (6-15)$$

تنش σ_ϕ وقتی ماکزیمم است که r_0 حداقل باشد . بنابراین این تنش در نقطه A ماکزیمم می‌باشد .

$$(\sigma_\phi)_{\max} = \frac{pR}{2h} \left(\frac{2b-R}{b-R} \right) \quad (6-16)$$

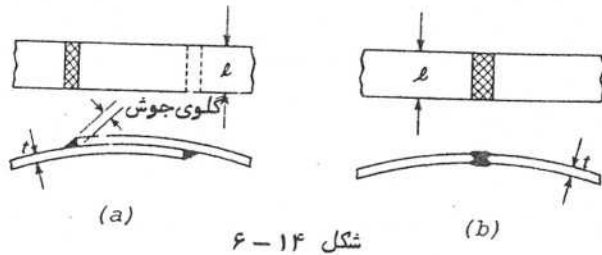
اگر $b = 0$ باشد ، تورویید به کره تبدیل می‌شود و معادله 6-16 با معادله 6-9 برای پوسته‌های کره‌ای یکسان می‌گردد . با جایگزینی مقادیر عددی در معادله 6-16 ضخامت جدار h تورویید بدست می‌آید .

$$\frac{350}{1.5} = \frac{(0.15)(1000)(20000-1000)}{2h(10000-1000)} : h = 0.7\text{mm}$$

اگر σ_ϕ از معادله 6-15 در معادله 6-14 جایگزین شود و با توجه به روابط $r_1 = R$ و $r_2 = r_0 / \sin\phi = (b + R \sin\phi) / \sin\phi$ ، تنش محیطی σ_θ بدست می‌آید .

$$\sigma_\theta = \frac{pR}{2h} \quad (6-17)$$

مقدار ماکزیمم σ_ϕ از σ_θ بیشتر است . بنابراین σ_ϕ تعیین کننده طرح می‌باشد و ضخامت جدار لازم همان $h = 0.7\text{mm}$ است .



شکل ۱۴-۶

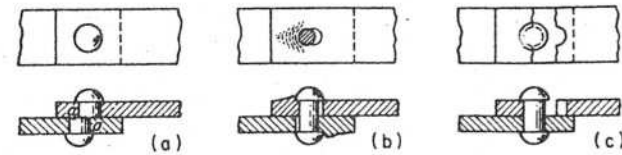
مساحت سطح مقطع جوش برابر است با حاصل ضرب طول جوش در طول گلوئی جوش. در جوش لب به لب شکل b ۱۴-۶ مساحت سطح مقطع جوش برابر است با حاصل ضرب طول جوش در ضخامت ورق. محاسبات اتصال با جوش معمولاً به صورت تقریبی صورت می‌گیرد (فصل چهارم را ببینید).

مثال ۶-۶

مخزن استوانه‌ای شکل ۱۱-۶ از ورق فولاد به ضخامت $t = 6 \text{ mm}$ ساخته شده است. پرچ‌ها به قطر 18 mm و فاصله بین آنها $p = 4 \text{ cm}$ می‌باشد. مقاومت نهایی اتصال را بر حسب آیین نامه جامعه مهندسی مکانیک امریکا حساب کنید.

حل: با مراجعه به شکل a ۱۲-۶ طولی از اتصال را برابر با $p = 4 \text{ cm}$ در نظر می‌گیریم. برای این طول مقاومت پوسته بدون سوراخ $3870 \times 0.6 \times 4 = 9290 \text{ Kg}$ می‌باشد. مساحت سطح مقطع هر پرچ برابر 2.55 cm^2 و مقاومت برشی نظیر آن $3090 \times 2.55 = 7880 \text{ Kg}$ است. مساحت مقطع قائم تصویر شده هر پرچ برابر $0.6 \times 1.8 = 1.08 \text{ cm}^2$ و مقاومت خرد شوندگی مربوطه $6680 \times 1.08 = 7210 \text{ Kg}$ می‌باشد. مساحت سطح مقطع خالص ورق بین سوراخ‌های پرچ برابر $0.6(4 - 1.8) = 1.32 \text{ cm}^2$ و مقاومت کششی نظیر اتصال برابر $3870 \times 1.32 = 5110 \text{ Kg}$ است. کوچکترین مقادیر فوق (5110 Kg) مقاومت اتصال می‌باشد.

۸-۶ مسائل حل شده



شکل ۱۳-۶

شد پرچ ممکن است در اثر برش در امتداد مقطع a-a (شکل ۱۳ a-۶) گسیخته شود. مقاومت پرچ را در مقابل شکست برشی می‌توان با زیاد نمودن قطر آن افزایش داد. یک حالت دیگر شکست که در شکل b ۱۳-۶ مشاهده می‌شود خرد شدن ورق در اثر فشار ایجاد شده در پشت پرچ می‌باشد که باعث باز شدن اتصال می‌گردد. با اضافه نمودن قطر پرچ یا ضخامت ورق می‌توان بر مقاومت اتصال در مقابل این نوع شکست افزود. اگر پرچ‌ها خیلی نزدیک بهم بکار روند، سطح مقطع خالص ورق در بین سوراخ‌های پرچ ممکن است به قدری کاهش یابد که شکست اتصال در اثر پاره شدن کششی ورق در بین پرچ‌ها مطابق شکل c ۱۳-۶ صورت گیرد. مقاومت در مقابل این نوع شکست را می‌توان با زیاد نمودن فاصله بین پرچ‌ها (فاصله p در شکل ۱۱-۶) افزایش داد.

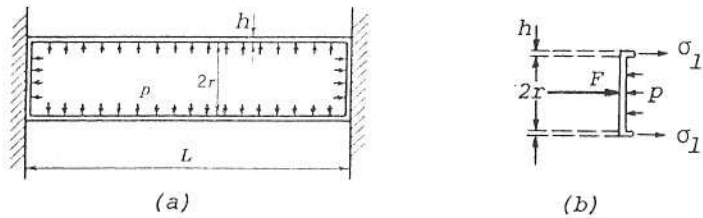
مسئله طرح اتصال یک دیگ بخار (یا مخازن تحت فشار دیگر) شامل تنظیم ضخامت ورق، قطر پرچ و فاصله بین پرچ‌ها می‌باشد بطوریکه اتصال در مقابل هر یک از حالت‌های شکست بطور یکسان قوی باشد. برای اتصالات مخازن تحت فشار فولادی، آیین‌نامه جامعه مهندسی مکانیک امریکا تنش‌های نهایی زیر را با ضریب اطمینان 5 توصیه می‌کند:

$\sigma_t = 3870 \text{ Kg/cm}^2$: برای کشش
$\tau = 3090 \text{ Kg/cm}^2$: برای برش
$\sigma_c = 6680 \text{ Kg/cm}^2$: برای خرد شدن

واضح است که مقاومت اتصال یک مخزن تحت فشار در عمل هرگز نمیتواند بیش از مقاومت خود پوسته مخزن باشد.

با پیشرفت‌هایی که امروزه در زمینه جوشکاری حاصل شده است، اتصالات با جوش برای مخازن تحت فشار و سازه‌های دیگر به سرعت جایگزین اتصالات با پرچ می‌شود. دو نوع اتصال روی هم و لب به لب در شکل ۱۴-۶ مشاهده می‌شود. در شکل a ۱۴-۶

می شود تعیین کنید .



شکل ۱۶ - ۶

حل : تنش محیطی در جدار استوانه برابر است با

$$\sigma_c = \frac{pr}{h}$$

چون فاصله دیوارها ثابت است و دیوارها تغییر شکل نمی دهند تغییر شکل در امتداد طول استوانه و در نتیجه کرنش طولی باید برابر صفر باشد .

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1 - \nu\sigma_c}{E} = 0$$

در این رابطه E ضریب ارتجاعی و ν ضریب پواسون ماده جدار استوانه می باشد . از رابطه مزبور تنش طولی σ_1 بدست می آید .

$$\sigma_1 = \nu\sigma_c = \frac{\nu pr}{h}$$

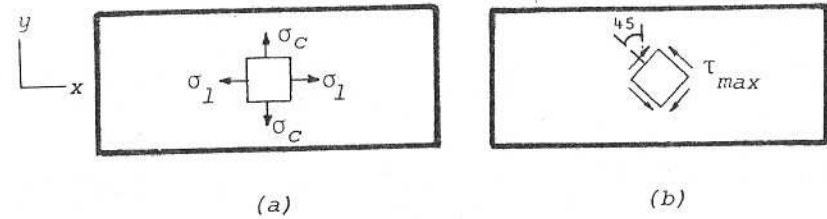
نمودار جسم آزاد انتهای چپ استوانه در شکل ۱۶ b - ۶ رسم شده است . در این شکل F نیرویی است که دیوار به مخزن وارد می کند . تنش طولی است که در جدار استوانه وجود دارد و در روی حلقه ای به شعاع داخلی r و شعاع خارجی r + h اثر می کند و برآیند آن برابر است با

$$F_1 = 2\pi r h \sigma_1 = 2\pi r h \frac{\nu pr}{h} = 2\nu\pi r^2 p$$

فشار p بر روی سطحی به شعاع r اثر می کند و برآیند آن برابر است با

$$F_2 = \pi r^2 p$$

حداکثر تنش برشی را در جدار یک لوله جدار نازک دو سر بسته به ضخامت جدار h و شعاع داخلی r تعیین کنید . فشار داخلی لوله p می باشد .



شکل ۱۵ - ۶

حل : اگر در جدار لوله عنصری را مانند شکل a - ۱۵ در نظر بگیریم در امتداد x بر آن تنش طولی σ_1 و در امتداد y بر آن تنش محیطی σ_c اثر میکند . حالت تنش برای عنصر مزبور دو محوری می باشد . تنش های اصلی عبارتند از

$$\sigma_1 = \sigma_c = \frac{pr}{h} ; \quad \sigma_2 = \sigma_1 = \frac{pr}{2h}$$

تنش برشی ماکزیمم برابر است با

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{pr}{4h}$$

تنش برشی ماکزیمم در صفحه هایی وجود دارد که با صفحه های اصلی زاویه 45 درجه تشکیل می دهند (شکل b - ۱۵ - ۶) .

وقتی که در درون مخزن استوانه ای جدار نازک و طویل شکل a - ۱۶ - ۶ فشاری وجود ندارد ، مخزن دقیقاً " بین دو دیوار صلب جا می گیرد . شعاع داخلی مخزن استوانه ای r و ضخامت جدار آن h می باشد . اگر فشار در داخل مخزن p و مخزن از ماده ای ساخته شده باشد که از قانون هوک پیروی کند نیرویی را که از طرف مخزن به دیوار وارد

۲۸۳

اگر وزن مخصوص آب را γ بنامیم فشار آب در عمق x برابر γx می باشد. بنابراین فشار آب و در نتیجه تنشهای محیطی در ته استوانه حداکثر می باشد. وقتی که حداکثر ارتفاع آب $H = 15 \text{ m}$ باشد حداکثر تنش محیطی برابر است با

$$\sigma_c = \frac{pr}{h} = \frac{\gamma H r}{h} = \frac{0.001(1500)(360)}{2.5} = 216 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{کششی})$$

تنش طولی در اثر وزن خود مخزن ایجاد می شود و حداکثر آن نیز در ته استوانه می باشد. اگر A ، H_1 و δ به ترتیب مساحت سطح مقطع استوانه، ارتفاع استوانه و وزن مخصوص فولاد باشد حداکثر تنش طولی در مخزن برابر است با

$$\sigma_1 = \frac{\text{وزن استوانه}}{\text{مساحت سطح مقطع}} = \frac{\delta A H_1}{A} = \delta H_1 = 0.008(1800) = 14.4 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{فشاری})$$

ب - چون حداکثر تنشهای محیطی و طولی در ته مخزن می باشد حداکثر تنش برشی نیز در ته مخزن خواهد بود و مقدار آن با استفاده از دایره موهر برابر است با (شکل b-۱۷-۶)

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_c - \sigma_1}{2} = \frac{216 - (-14.4)}{2} = 115.2 \text{ Kg/cm}^2$$

مسئله ۴-۶

دیگ بخاری از ورقهای فولادی به ضخامت 8 mm ساخته شده است (شکل ۱۸-۶). طول قسمت استوانه ای دیگ 4 m و قطر داخلی استوانه 1.8 m می باشد. دیگ مزبور تحت فشار داخلی 10 Kg/cm^2 قرار دارد. ازدیاد طول قطر استوانه و ازدیاد طول قسمت استوانه ای دیگ و همچنین اضافه حجم نسبی قسمت استوانه ای دیگ را حساب کنید. ضریب پواسون و ضریب ارتجاعی برای فولاد به ترتیب 0.3 و $2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ می باشند.

حل: تنشهای محیطی σ_c و طولی σ_1 در جدار دیگ عبارتند از

$$\sigma_c = \frac{pr}{t} = \frac{10(0.9)(100)}{0.8} = 1125 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{2t} = \frac{1}{2} \sigma_c = 562.5 \text{ Kg/cm}^2$$

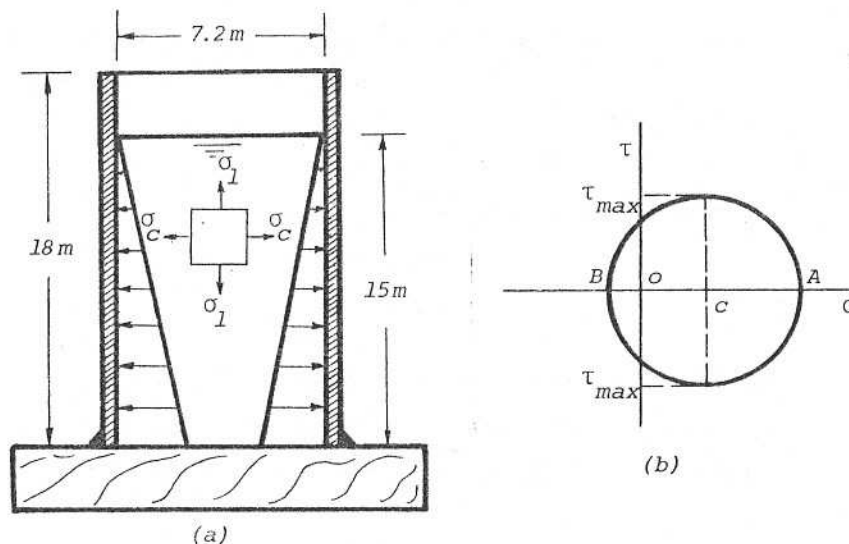
۲۸۲

با نوشتن معادله تعادل در امتداد افق نیروی F بدست می آید.

$$F = F_2 - F_1 = \pi r^2 p - 2\nu \pi r^2 p = (1-2\nu) \pi r^2 p$$

مسئله ۳-۶

مخزن آب سربازی از فولاد به شکل استوانه ساخته شده است (شکل a-۱۷-۶). ارتفاع مخزن آب 18 m و ضخامت آن 2.5 سانتیمتر است. حداکثر ارتفاع آب در مخزن به 15 m متر می رسد. وزن واحد حجم فولاد مصرف شده 0.008 Kg/cm^3 و وزن واحد حجم آب 0.001 Kg/cm^3 می باشد. قطر استوانه 7.2 m است. الف - حداکثر تنشهای عمودی (فشاری و کششی) ایجاد شده در مخزن را حساب کنید. ب - با استفاده از دایره موهر حداکثر تنش برشی را در مخزن حساب کنید. در حل این مسئله از خمش استوانه صرف نظر کنید.



شکل ۱۷-۶

حل: الف - در اثر فشار آب در جدار استوانه تنشهای محیطی ایجاد میشود.

۲۸۵

$$\ln V = \ln \pi + 2 \ln r + \ln L$$

$$\frac{dV}{V} = 2 \frac{dr}{r} + \frac{dL}{L}$$

چون تغییر شکل‌های ارتجاعی کوچک هستند می‌توانیم بنویسیم

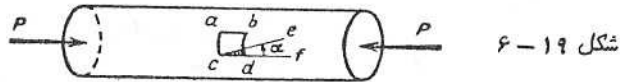
$$\epsilon_c = \frac{dr}{r} \quad ; \quad \epsilon_l = \frac{dL}{L}$$

بنابراین

$$\frac{\Delta V}{V} = 2\epsilon_c + \epsilon_l = 2 \times 455 \times 10^{-6} + 107 \times 10^{-6} = 1.017 \times 10^{-3}$$

مسئله ۵-۶

استوانه شکل ۱۹-۶ به قطر ۱۰۰ cm و ضخامت جدار ۱۰ mm می‌باشد و تحت فشار داخلی ۲۰ atm قرار دارد. استوانه همچنین بوسیله نیروهای P در دو انتهایش فشرده می‌شود. اضلاع ab و cd عنصر abcd در روی استوانه موازی محور استوانه می‌باشند. تنش‌های عمودی و برشی را در روی مقطع ce که با مولد cf استوانه زاویه $\alpha = 60^\circ$ در جه می‌سازد پیدا کنید.



حل: ابتدا تنش‌های محیطی σ_c و طولی σ_l را که تنش‌های اصلی برای عنصر می‌باشند پیدا می‌کنیم.

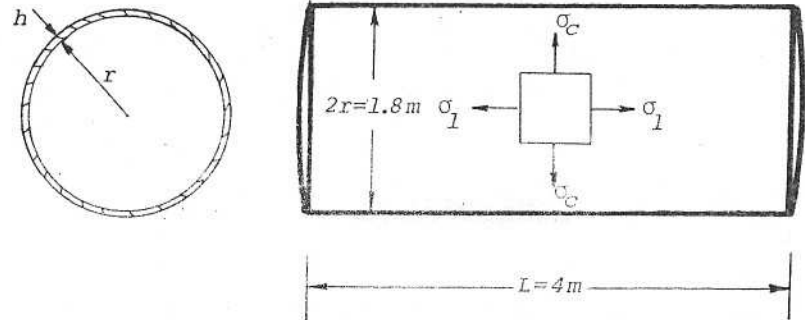
$$\sigma_c = \frac{pr}{h} = \frac{20(50)}{1} = 1000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_l = \frac{pr}{2h} - \frac{P}{2\pi r t} = \frac{20 \times 50}{2 \times 1} - \frac{50000}{2\pi(50)(1)} = 341 \text{ Kg/cm}^2$$

بنابراین تنش‌های اصلی عبارتند از

$$\sigma_1 = 1000 \text{ Kg/cm}^2 \quad ; \quad \sigma_2 = 341 \text{ Kg/cm}^2$$

۲۸۴



شکل ۱۸-۶

با استفاده از مقادیر فوق کرنش محیطی ϵ_c و کرنش طولی ϵ_l را حساب می‌کنیم. در روابط زیر ν ضریب پواسون و E ضریب ارتجاعی می‌باشد.

$$\epsilon_c = \frac{1}{E} (\sigma_c - \nu \sigma_l) = \frac{\sigma_c}{E} \left(1 - \frac{\nu}{2} \right)$$

$$= \frac{1125}{2100000} \left(1 - \frac{0.3}{2} \right) = 455 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon_l = \frac{1}{E} (\sigma_l - \nu \sigma_c) = \frac{\sigma_c}{E} \left(\frac{1}{2} - \nu \right)$$

$$= \frac{1125}{2100000} \left(\frac{1}{2} - 0.3 \right) = 107 \times 10^{-6}$$

اضافه طول استوانه برابر است با

$$\Delta L = L \epsilon_l = 4000(107)(10^{-6}) = 0.43 \text{ mm}$$

اضافه طول قطر استوانه مساوی است با

$$\Delta D = D \epsilon_d = D \epsilon_c = 1800(455)(10^{-6}) = 0.82 \text{ mm}$$

در رابطه فوق ϵ_d کرنش در جهت قطر استوانه است که با کرنش محیطی یکسان می‌باشد (چون بین محیط و قطر نسبت ثابت π وجود دارد). حجم قسمت استوانه‌ای دیگر مساویست با

$$V = \pi r^2 L$$

از طرفین رابطه فوق ابتدا لگاریتم و سپس دیفرانسیل می‌گیریم.

نیروی وجود ندارد. تغییر طول شعاع استوانه‌ای تحت فشار شعاعی p برابر است با

$$\Delta r = r\epsilon_r = r\epsilon_c = \frac{r\sigma_c}{E} = \frac{pr^2}{Eh} \quad (6-18)$$

ϵ_r در رابطه فوق کرنش در جهت شعاع استوانه است که با کرنش محیطی برابر می‌باشد (چون بین محیط و شعاع دایره نسبت ثابت 2π وجود دارد). اضافه طول شعاع پوسته خارجی در اثر فشار p بعلاوه کاهش طول شعاع پوسته داخلی در اثر p باید برابر با اضافه طول اولیه شعاع استوانه داخلی باشد.

$$\frac{p(50)^2}{2 \times 10^{11} \times 10^{-6} \times 2.5} + \frac{p(50)^2}{2 \times 10^{11} \times 10^{-6} \times 2} = \frac{0.25}{2}$$

از این رابطه $p = 11.1 \text{ MPa}$ بدست می‌آید. این فشار در استوانه داخلی تنش محیطی فشاری

$$\sigma_c = \frac{pr}{h} = -\frac{11.1 \times 50}{2.5} = -222 \text{ MPa}$$

ایجاد می‌کند. تنش محیطی کششی در استوانه خارجی در اثر فشار p برابر است با

$$\sigma'_c = \frac{pr}{h} = \frac{11.1 \times 50}{2} = 277 \text{ MPa}$$

اگر مخزن مزبور تحت فشار داخلی باشد، تنش‌های فوق باید بر تنش‌های ایجاد شده بوسیله فشار داخلی افزوده شود.

مسئله ۶-۷

استوانه فولادی جدار نازکی مطابق شکل ۶-۲۱ - ۶ دقیقاً در روی استوانه مسی جدار نازکی قرار می‌گیرد. اگر درجه حرارت به اندازه 30°C اضافه شود تنش‌های محیطی ایجاد شده در هر یک از استوانه‌ها را پیدا کنید. از تائشیرات ناشی از انبساط طولی صرف نظر کنید. ضرائب انبساط حرارتی فولاد و مس به ترتیب برابر $\alpha_s = 12 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ و $\alpha_c = 18 \times 10^{-6} \text{ C}^{-1}$ ، و ضرائب ارتجاعی فولاد و مس به ترتیب برابر $E_s = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ و $E_c = 9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ می‌باشد. این نوع استوانه‌ها بعضی از مواقع برای ذخیره کردن مایعات خورنده (مایعاتی که باعث زنگ زدگی می‌شوند) بکار می‌روند.

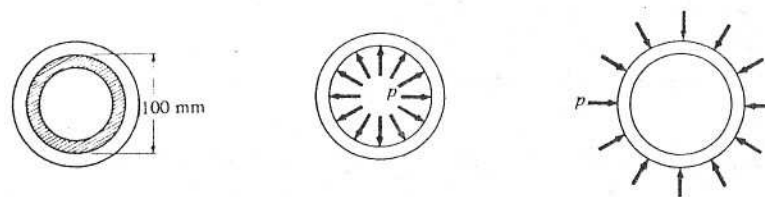
تنش‌ها در روی مقطع ce از روابط 5-9 و 5-12 بدست می‌آیند. زاویه θ در این روابط زاویه بین عمود بر سطح ce و امتداد تنش اصلی ماکزیم σ_1 می‌باشد. در این مثال σ_1 عمود بر محور استوانه است. در نتیجه زاویه بین عمود بر صفحه و امتداد σ_1 برابر 60° درجه می‌باشد.

$$\sigma_{60} = 1000 \cos^2 60^\circ + 341 \sin^2 60^\circ = 506 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_{60} = \frac{1000-341}{2} \sin 120^\circ = 285 \text{ Kg/cm}^2$$

مسئله ۶-۶

مخزن تحت فشاری از دو استوانه هم محور مطابق شکل ۶-۲۰ ساخته شده است. قبل از ساختن مخزن مشاهده می‌شود که استوانه داخلی کمی بزرگتر از اندازه است و در داخل استوانه خارجی جا نمی‌گیرد. استوانه خارجی حرارت داده شده و در روی استوانه داخلی جا داده می‌شود. سپس استوانه خارجی خنک شده به درجه حرارت اولیه‌اش باز می‌گردد. اگر هر دو استوانه از فولاد و قطر متوسط مجموعه استوانه‌ها برابر 100 mm باشد، تنش‌های محیطی ایجاد شده در هر یک از پوسته‌ها را حساب کنید. اضافه طول اولیه قطر استوانه داخلی را 0.25 mm فرض کنید. ضخامت جدار پوسته داخلی 2.5 mm و ضخامت جدار پوسته خارجی 2 mm می‌باشد. برای فولاد $E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$.



مخزن دو جداره

استوانه خارجی

استوانه داخلی

شکل ۶-۲۰

حل: در اثر انقباض لوله خارجی بین دو استوانه فشار p مطابق شکل ۶-۲۰ ایجاد می‌گردد. توجه کنید که هیچ گونه بار خارجی وجود ندارد. فشار p باعث میشود که قطر پوسته خارجی افزایش و قطر پوسته داخلی کاهش یابد. در جهت طول استوانه‌ها

۲۸۹

از این رابطه $p=0.109 \text{ MPa}$ بدست می آید. این فشار در استوانه های فولادی و مسی تنش های محیطی ایجاد می کند که مقدار آن از رابطه 6-7 بدست می آید.

$$\sigma_s = \frac{0.109(507.5)}{5} = 11.06 \text{ MPa} \quad \text{در استوانه فولادی: (کششی)}$$

$$\sigma_c = -\frac{0.109(502.5)}{5} = -10.95 \text{ MPa} \quad \text{در استوانه مسی: (فشاری)}$$

مسئله ۸-۶

یک وسیله نقلیه تحقیقاتی زیر دریایی دارای بدنه ای به شکل کره به شعاع یک متر و ضخامت جدار 30 میلی متر می باشد. زیر دریایی مزبور از فولاد با تنش تسلیم 700 MPa ساخته شده است. تعیین کنید عمقی از دریا را که در آن تنش در پوسته کروی به حد تسلیم می رسد. وزن مخصوص آب دریا را 10^4 N/m^3 فرض کنید.

حاصل: تنش فشاری ناشی از فشار هیدرواستاتیک خارجی در جدار پوسته از رابطه 6-9 بدست می آید. فشار هیدرواستاتیک p که در پوسته تنش تسلیم ایجاد می کند از رابطه زیر بدست می آید:

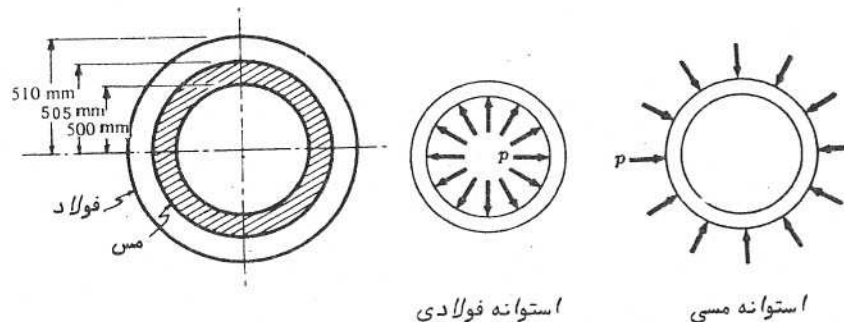
$$700 = \frac{p(1000)}{2(30)} : p = 42 \text{ MPa}$$

اگر وزن مخصوص آب γ باشد، فشار هیدرواستاتیک در عمق H برابر $p = \gamma H$ است. بنابراین

$$42 \times 10^6 = (10^4)(H) : H = 4200 \text{ m}$$

در این مسئله از اختلاف فشار بین بالا و پایین پوسته کروی صرف نظر شده است (چون قطر 2 m کره در مقابل عمق 4200 m آب ناچیز است). در این مسئله از احتمال کماتش کره در اثر فشار هیدرواستاتیک و همچنین تأثیرات درهای ورودی در روی مقاومت پوسته کروی صرف نظر شده است. به حساب آوردن این عوامل خارج از موضوع این کتاب می باشد.

۲۸۸



استوانه فولادی

استوانه مسی

شکل ۲۱-۶

حل: اگر دو استوانه فولادی و مسی با یکدیگر در تماس نبوده و از یکدیگر جدا بودند در اثر ازدیاد درجه حرارت به اندازه 30°C محیط استوانه فولادی به اندازه

$$2\pi(507.5)(30)(12 \times 10^{-6}) = 1.148 \text{ mm}$$

و محیط استوانه مسی به اندازه

$$2\pi(502.5)(30)(18 \times 10^{-6}) = 1.705 \text{ mm}$$

اضافه می شد. بدین ترتیب پس از گرم شدن اختلاف بین شعاع های استوانه ها در اثر گرم شدن برابر می بود با

$$(1.705 - 1.148)/2\pi = 0.089 \text{ mm}$$

اما بر اساس فرض مسئله دو استوانه در داخل یکدیگر قرار دارند و با یکدیگر در تماس می باشند و در نتیجه بین آنها فشار p ایجاد می گردد. این فشار p موجب اضافه شدن شعاع استوانه فولادی و کم شدن شعاع استوانه مسی می شود. فشار p در روی نمودارهای جسم آزاد استوانه های فولادی و مسی در شکل ۲۱-۶ نشان داده شده است.

تغییر شعاع یک استوانه جدار نازک تحت فشار شعاعی یکنواخت p که در مسئله

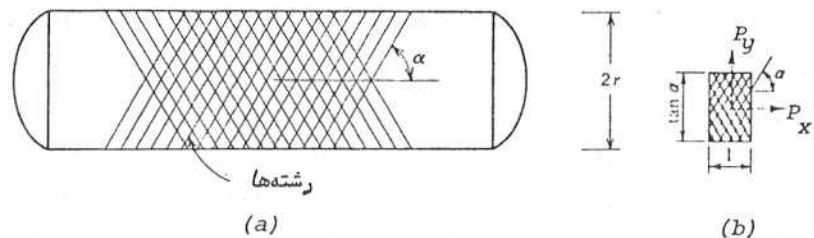
۶-۶ حساب شد (رابطه 6-18) برابر است با

$$\Delta r = \frac{pr^2}{Eh}$$

بنابراین اضافه طول شعاع استوانه فولادی در اثر فشار p بعلاوه کاهش طول شعاع استوانه مسی در اثر فشار p باید مساوی باشد با اختلاف بین شعاع های استوانه ها در اثر گرم شدن (موقعی که استوانه ها از یکدیگر جدا باشند).

$$\frac{p(507.5)^2}{2 \times 10^{11} \times 10^{-6} \times 5} + \frac{p(502.5)^2}{9 \times 10^{10} \times 10^{-6} \times 5} = 0.089$$

مخازن تحت فشار سبک وزن اغلب از رشته‌های شیشه برای تحمل نیروی کششی و از صغ اپاکسی به عنوان چسبنده استفاده می‌کنند (شکل a ۲۳-۶). اگر لوله تحت فشار در دو انتهایش باز باشد در این صورت در آن فقط تنش‌های محیطی ایجاد می‌شود و زاویه مارپیچ رشته‌ها $\alpha = 90^\circ$ می‌باشد. اما اگر دو انتهای استوانه بسته باشد در آن تنش‌های طولی نیز ایجاد می‌شود. در این حالت زاویه α چقدر باید باشد تا نیروهای کششی در رشته‌های شیشه یکسان باشند؟



شکل ۲۳-۶

حل: عنصری از استوانه را به عرض واحد و ارتفاع $\tan \alpha$ جدا می‌کنیم (شکل b ۲۳-۶). برای عنصر مزبور تعداد رشته‌ها در هر یک از مقاطع آن یکسان می‌باشد. اگر نیروی کششی در هر یک از رشته‌ها n و تعداد رشته‌ها در یک مقطع عنصر مزبور باشد، برآیند نیروهای کششی رشته‌ها در امتداد طول و محیط استوانه از روابط زیر بدست می‌آید.

$$P_x = n F \cos \alpha \quad ; \quad P_y = n F \sin \alpha \quad (1)$$

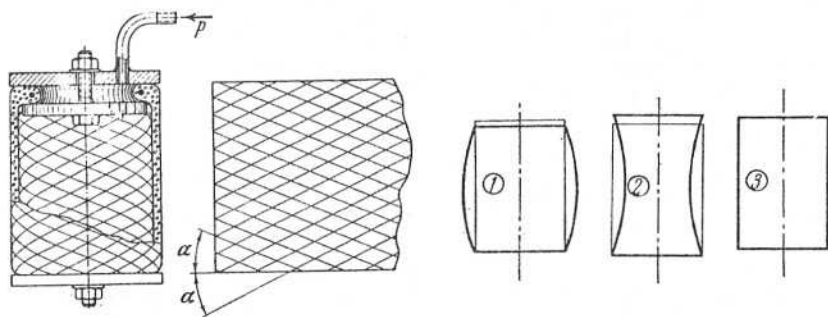
اگر ضخامت جدار استوانه را h فرض کنیم بین نیروهای فوق رابطه زیر وجود دارد (با استفاده از روابط 6-7 و 6-8):

$$\frac{P_y}{P_x} = \frac{\sigma_c (1) (h)}{\sigma_1 (\tan \alpha) (h)} = \frac{2}{\tan \alpha} \quad (2)$$

اگر P_x و P_y را بین معادلات 1 و 2 حذف کنیم معادله‌ای برای زاویه α بدست می‌آید.

$$\frac{2}{\tan \alpha} = \tan \alpha \quad ; \quad \alpha = 54.8^\circ$$

استوانه‌ای از لاستیک و دو لایه سیم مطابق شکل ۲۴-۶ ساخته شده است و تحت فشار داخلی p قرار دارد. مشاهده می‌شود که استوانه در اثر فشار داخلی بسته به زاویه سیم‌ها α به یکی از صورت‌های شکل ۲۵-۶ تغییر شکل می‌دهد. در حالت 1 مولد منحنی استوانه به طرف خارج محدب است، در حالت 2 مولد منحنی استوانه به طرف خارج مقعر می‌باشد و در حالت 3 با فرض اینکه سیم‌ها غیر قابل انبساط باشند استوانه تغییر شکل محسوسی نمی‌دهد و شکل اولیه خود را حفظ می‌کند. مقادیر زاویه α مربوط به هر یک از تغییر شکل‌های بالا چقدر می‌باشد؟



شکل ۲۴-۶

شکل ۲۵-۶

حل: با فرض اینکه انبساط سیم‌ها قابل نظر باشد، بر اساس مسئله قبل برای $\alpha = 35.2^\circ$ تمام بار بوسیله سیم‌ها تحمل می‌شود و در نتیجه استوانه تغییر شکل نمی‌دهد و شکل اولیه خود را حفظ می‌کند (توجه کنید α در مسئله قبل زاویه ایست که رشته‌ها با محور استوانه می‌سازند، در حالی که در این مسئله α زاویه ایست که سیم‌ها با عمود بر محور استوانه تشکیل می‌دهند). حال اگر $\alpha > 35.2^\circ$ باشد، استوانه مطابق حالت 1 شکل ۲۵-۶ و اگر $\alpha < 35.2^\circ$ باشد، استوانه مطابق حالت 2 شکل ۲۵-۶ تغییر شکل می‌دهد.

یکی از مسائل شبیه مسئله فوق در طرح رویه لاستیک‌های اتوموبیل ظاهر می‌شود (شکل ۲۶-۶). زاویه سیم‌های فولادی اهمیت زیادی در دوام رویه لاستیک دارد. تغییر زاویه سیم‌ها از مقدار اپتیمم در هر جهت (کمتر یا بیشتر) باعث کاهش عمر قابل

استوانه مسی حداکثر فشار داخلی مجاز p را تعیین می‌کند. اگر قسمتی از استوانه به طول L را به دو نیم تقسیم کنیم و معادله تعادل در امتداد قائم را بنویسیم (مانند شکل ۳-۶) خواهیم داشت

$$2\sigma_c t_c L + 2\sigma_s t_s L - p(2r)L = 0 \quad (2)$$

در رابطه فوق t_c ضخامت جدار استوانه مسی، t_s ضخامت جدار استوانه فولادی و شعاع داخلی استوانه مسی می‌باشد. پس از جایگزینی σ_s از معادله ۱ در معادله ۲ و حل معادله حاصل برای p خواهیم داشت

$$p = \frac{\sigma_c (t_c + 2t_s)}{r} = \frac{400(0.4 + 2 \times 0.2)}{25} = 12.8 \text{ Kg/cm}^2$$

مسئله ۱۲-۶

یک گنبد کروی به ضخامت جدار h و شعاع R تحت اثر وزن خودش (q در واحد سطح) قرار دارد (شکل ۲۷-۶). تنش‌های نصف النهاری σ_1 و محیطی σ_2 (عمود بر σ_1) را بدست آورید.

حل: قسمتی از کره را به صورت کلاهک ABC در بالای سطح افقی AC جدا می‌کنیم و تعادل آن را در امتداد قائم در نظر می‌گیریم. مساحت سطح کلاهک موزون برابر است با $2\pi R^2(1-\cos\phi)$. بنابراین وزن کلاهک مساوی $2\pi R^2(1-\cos\phi)q$ می‌باشد و معادله تعادل کلاهک در امتداد قائم به صورت زیر نوشته می‌شود:

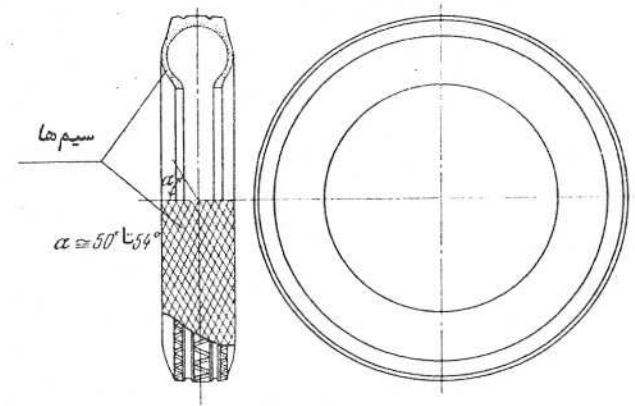
$$\sigma_1 (2\pi R \sin\phi) h \sin\phi + 2\pi R^2 (1-\cos\phi) q = 0$$

از حل این معادله تنش نصف النهاری σ_1 بدست می‌آید.

$$\sigma_1 = - \frac{qR}{h(1+\cos\phi)}$$

با جایگزینی σ_1 بجای σ_ϕ در معادله 6-14 و با توجه به اینکه $r_1 = r_2 = R$ تنش محیطی $\sigma_2 = \sigma_\theta$ عمود بر σ_1 بدست می‌آید. توجه کنید p در رابطه 6-14 فشار داخلی عمود بر سطح عنصر می‌باشد، بنابراین در این مسئله باید بجای p کمیت $-q \cos\phi$ را قرار دهیم:

بهره برداری لاستیک می‌گردد. البته باید توجه نمود که تعیین زاویه اپتیمم برای رویه لاستیک نه تنها بر اساس شرایط تعادل قرار دارد بلکه شرایط اپتیمم خستگی در اثر تنش‌های متغیر که در هنگام دوران چرخ ایجاد می‌شود نیز باید بررسی گردد.



شکل ۲۶-۶

مسئله ۱۱-۶

لوله‌ای از مس به قطر داخلی 50 cm و ضخامت جدار 0.4 cm که روی آن را لایه‌ای از فولاد به ضخامت 0.2 cm پوشانده است تحت فشار داخلی p می‌باشد. اگر تنش مجاز مس 400 Kg/cm^2 و تنش مجاز فولاد 1600 Kg/cm^2 باشد، حداکثر فشار مجاز p را حساب کنید. از تنش‌های موازی طول استوانه صرف نظر کنید (به عبارت دیگر استوانه را در دو انتهایش باز فرض نمایید). ضریب ارتجاعی فولاد دوبرابر ضریب ارتجاعی مس می‌باشد.

حل: کرنش‌های محیطی و قطری هر دو استوانه یکسان می‌باشد. بنابراین نسبت تنش محیطی در فولاد به تنش محیطی در مس برابر نسبت ضرایب ارتجاعی آنها می‌باشد.

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_c} = \frac{E_s}{E_c} = 2 \quad (1)$$

چون تنش مجاز مس یک چهارم تنش مجاز فولاد می‌باشد با توجه به رابطه فوق تنش در

۲۹۵

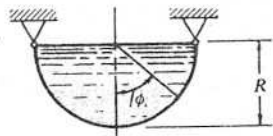
مسئله ۲-۳-۶ رابطه‌ای برای اضافه حجم در واحد حجم استوانه جدار نازکی تحت فشار داخلی یکنواخت p حساب کنید. دو انتهای استوانه بوسیله صفحه‌های دایره‌ای بسته شده‌اند. انبساط شعاعی استوانه را در تمام طول آن ثابت فرض کنید. شعاع استوانه r ، ضخامت آن h ، ضریب ارتجاعی E و ضریب پواسون ν می‌باشد.

مسئله ۳-۳-۶ تعیین کنید ضخامت جدار لازم برای یک لوله آب چدنی به قطر 100 cm که در عمق 120 متری آب قرار دارد. تنش مجاز کششی برای چدن برابر 200 Kg/cm^2 می‌باشد.

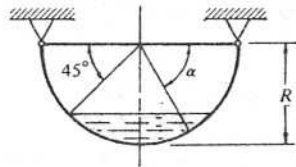
مسئله ۴-۳-۶ تنش ایجاد شده در جدار یک لوله فولادی را که بوسیله یک رویه الومینیومی پوشیده شده است و تحت فشار داخلی 33 Kg/cm^2 می‌باشد حساب کنید. قطر داخلی استوانه فولادی 160 mm، ضخامت جدار آن 3 mm و ضخامت رویه الومینیومی 6.5 mm می‌باشد. از تنش‌ها در امتداد طول استوانه صرف نظر کنید.

مسئله ۵-۳-۶ مخزن استوانه‌ای جدار نازکی به شعاع r و ضخامت جدار h در دو انتهایش مسدود می‌باشد. موقعی که مخزن تحت فشار داخلی p قرار دارد، کرنش سنجی که در سطح خارجی مخزن قرار دارد در جهت موازی محور استوانه کرنش ϵ_0 را اندازه می‌گیرد. فشار داخلی مخزن در این حالت چقدر می‌باشد؟

مسئله ۱-۴-۶ مخزن نیم کره‌ای شکل ۱-۴-۶ به شعاع R و ضخامت جدار h با مایعی به وزن مخصوص γ پر شده است. پوسته مزبور در سراسر طول لبه فوقانی بر تکیه گاه متکی می‌باشد. تنش‌ها را در پوسته حساب کنید.



شکل ۱-۴-۶



شکل ۲-۴-۶

مسئله ۲-۴-۶ مخزن نیم کره‌ای شکل ۲-۴-۶ به شعاع R و ضخامت جدار h می‌باشد و مایعی به وزن مخصوص γ قسمتی از آن را مطابق شکل پر می‌کند. پوسته مزبور

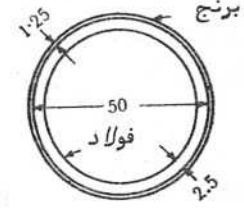
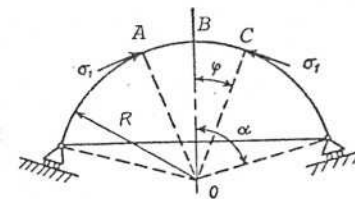
۲۹۴

$$\sigma_2 = \frac{Rp}{h} - \sigma_1 = -\frac{Rq \cos \phi}{h} + \frac{qR}{h(1 + \cos \phi)}$$

$$\sigma_2 = \frac{qR}{h} \left(\frac{1}{1 + \cos \phi} - \cos \phi \right)$$

۶-۹ مسائل حل نشده

مسئله ۱-۲-۶ دو حلقه برنجی و فولادی در درجه حرارت 216° دقیقاً "برروی یکدیگر قرار می‌گیرند و در هیچ یک تنش ایجاد نمی‌شود (شکل ۱-۲-۶). عرض هر دو حلقه در جهت عمود بر صفحه تصویر برابر 2.5 cm می‌باشد. اگر درجه حرارت دستگاه مزبور به 21°C تنزل پیدا کند، فشار شعاعی q بین دو حلقه و تنش محیطی σ_b در حلقه برنجی را در اثر تغییر درجه حرارت حساب کنید. برای ساده نمودن محاسبات، بدون اینکه به دقت محاسبات لطمه زیادی وارد شود، فرض کنید هر یک از حلقه‌ها شعاع متوسط $r = 25 \text{ cm}$ دارد. ضریب ارتجاعی و ضریب انبساط حرارتی برای فولاد به ترتیب $E_s = 2(10)^6 \text{ Kg/cm}^2$ و $\alpha_s = 12(10)^{-6} \text{ C}^{-1}$ و برای برنج به ترتیب $E_b = 9(10)^5 \text{ Kg/cm}^2$ و $\alpha_b = 19(10)^{-6} \text{ C}^{-1}$ می‌باشد.



شکل ۱-۲-۶

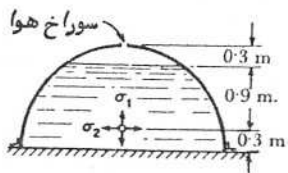
مسئله ۱-۳-۶ مخزن ذخیره بنزینی به شکل استوانه قائم و به قطر 30 m می‌باشد. تا ارتفاع 15 m آن از بنزین با چگالی نسبی 0.74 پر شده است. اگر تنش تسلیم ورق فولادی که پوسته از آن ساخته شده است برابر 250 MPa و ضریب اطمینان 2.5 کافی باشد، ضخامت لازم برای جدار استوانه را در ته آن حساب کنید. از تأثیرات خمش موضعی صرف نظر کنید.

۷ فرض کنید.

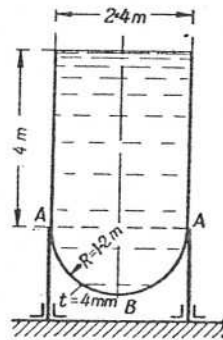
مسئله ۶-۴-۷ پوسته کروی شکل ۶-۴-۷ به شعاع متوسط r و ضخامت جدار t تحت اثر نیروهای کششی P در امتداد یکی از قطرهای آن قرار دارد. تنشهای غشائی اصلی σ_1 و σ_2 را در نقطه A پوسته که با زاویه ϕ مشخص شده است پیدا کنید.

مسئله ۶-۴-۸ پوسته نیم کروی شکل ۶-۴-۸ به شعاع 1.5 m و ضخامت جدار $t = 0.025\text{ cm}$ به یک دال افقی پیچ شده و تا ارتفاع 1.2 m از آب (با وزن مخصوص $\gamma = 1\text{ g/cm}^3$) پر شده است. در بالای پوسته سوراخ هوای کوچکی وجود دارد تا فشار هوا در داخل و خارج پوسته یکسان باشد. تنشهای غشائی اصلی σ_1 و σ_2 را برای عنصری که در ارتفاع 0.3 متر قرار دارد حساب کنید.

مسئله ۶-۴-۹ یک مخزن استوانه‌ای به قطر 2.4 m که قسمت پایین آن به شکل نیم کره می‌باشد تا ارتفاع 4 m با آب پر شده است (شکل ۶-۴-۹) ضخامت جدار استوانه و قسمت نیم کروی آن برابر 4 mm است. ماکزیم تنشهای عمودی را در جدار قسمت های استوانه‌ای و کروی مخزن حساب کنید.



شکل ۶-۴-۸



شکل ۶-۴-۹

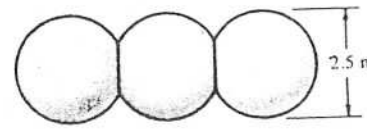
مسئله ۶-۵-۱ مخزن مایعی به شکل مخروط ناقص (شکل ۶-۵-۱) بر انتهای کوچکترش تکیه دارد و با مایعی به وزن مخصوص $0.9t/\text{m}^3$ پر شده است. ضخامت

در اطراف لبه فوقانی بر تکیه گاه متکی می‌باشد. تنشها را در پوسته حساب کنید.

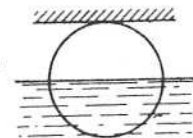
مسئله ۶-۴-۳ اضافه طول شعاع یک پوسته کروی تحت فشار داخلی p را حساب کنید. شعاع پوسته را r ، ضخامت آن را h ، ضریب ارتجاعی را E و ضریب پواسون را ν فرض کنید.

مسئله ۶-۴-۴ یک مخزن کروی برای ذخیره نمودن گاز تحت فشار از فولاد به ضخامت 15 mm ساخته شده است. قطر مخزن 25 m و تنش تسلیم فولاد 250 MPa است. با بکار بردن ضریب اطمینانی برابر 2.5 حداکثر فشار داخلی مجاز را حساب کنید اگر الف - مقاومت اتصالات ورق‌های فولاد برابر مقاومت خود فولاد باشد. ب - مقاومت اتصالات ورق‌های فولاد 75% در صد مقاومت خود فولاد باشد.

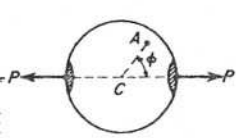
مسئله ۶-۴-۵ وسیله نقلیه دریایی شکل ۶-۴-۵ که برای کمک به زیر دریاییها در مواقع اضطراری ساخته شده است از سه پوسته کروی چسبیده بهم تشکیل شده است. پوسته‌ها از فولاد به قطر خارجی 2.5 m و ضخامت جدار 20 mm ساخته شده و تنش تسلیم فولاد 900 MPa می‌باشد. تنش محیطی ایجاد شده در پوسته‌های کروی را در عمق 1000 متری دریا حساب کنید. از تأثیرات ناشی از تمرکز تنش در محل اتصال کره‌ها و همچنین امکان کماتش در اثر فشار هیدرواستاتیکی صرف نظر نمایید. وزن مخصوص آب دریا را 10^4 N/m^3 فرض کنید.



شکل ۶-۴-۵



شکل ۶-۴-۶



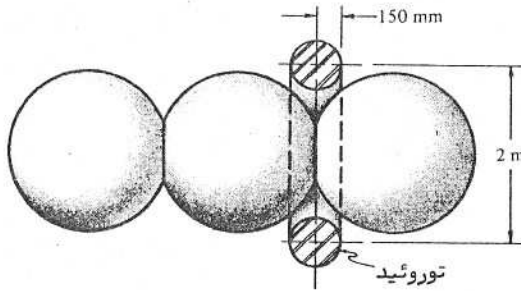
شکل ۶-۴-۷

مسئله ۶-۴-۶ پوسته کروی شکل ۶-۴-۶ به شعاع متوسط R و ضخامت جدار t بوسیله سقف ثابتی در داخل آب غوطه ور نگه داشته شده است بطوریکه نیمی از آن در داخل آب قرار دارد. با صرف نظر نمودن از وزن پوسته تنشهای اصلی σ_1 و σ_2 را در پوسته در سطح آب (در خط استوای کره) پیدا کنید. وزن مخصوص آب را

مسئله ۴-۵-۶ مخزنی به شکل مخروط ناقص (شکل ۴-۵-۶) با آب به وزن مخصوص $\gamma = 1 \text{ g/cm}^3$ پر شده است. تنش‌های غشایی σ_1 و σ_2 را برای عنصر A که در روی شکل مشخص شده است پیدا کنید. ضخامت جدار مخزن 0.03cm میباشد.

مسئله ۵-۵-۶ اگر مخروط شکل ۳-۵-۶ دارای فشار داخلی نبوده ولی در راس آن نیروی قائم متمرکز P به طرف پایین وارد شود، تنش‌های غشایی σ_1 و σ_2 را در تراز h زیر راس مخروط پیدا کنید. ضخامت جدار مخروط را t فرض کنید.

مسئله ۱-۶-۶ زیر دریایی شکل ۱-۶-۶ دارای مخزن هوای فشرده‌ای به شکل توروئید می‌باشد که دو تا از پوسته‌های کروی را در بر می‌گیرد. مخزن توروئیدی از فولاد با مقاومت کششی نهایی 1000 MPa ساخته شده است. با بکار بردن ضریب اطمینانی برابر 3 در مقابل مقاومت نهایی، ضخامت لازم جدار توروئید را برای تحمل فشار داخلی 30 MPa حساب کنید.

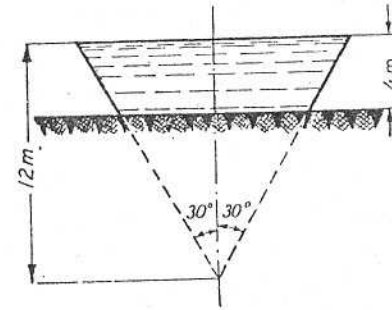


شکل ۱-۶-۶

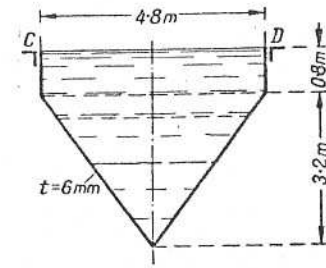
مسئله ۱-۷-۶ مخزن شکل ۱۱-۶ از ورق فولاد به ضخامت 12 mm ساخته شده است و دارای دوردیف اتصال با پرچ روی هم می‌باشد. فاصله پرچ‌ها از یکدیگر در ردیف اول برابر 12 cm و در ردیف دوم برابر 6 cm و قطر هر یک از پرچ‌ها 25 mm است. اگر تنش مجاز کششی برابر $\sigma_w = 1120 \text{ Kg/cm}^2$ و تنش مجاز برشی برابر $\tau_w = 840 \text{ Kg/cm}^2$ باشد، حداکثر فشار داخلی مجاز p را حساب کنید. قطر مخزن 1.5 m است.

مسئله ۲-۷-۶ صفحه‌های انتهایی یک دیگ بخار بوسیله پرچ و نبشی مطابق شکل ۲-۷-۶ به جدار دیگ متصل شده‌اند. قطر دیگ بخار 100 cm و فشار داخلی آن

جدار مخزن 8mm است. حداکثر تنش‌های عمودی نصف النهاری و محیطی را در جدار مخزن حساب کنید.



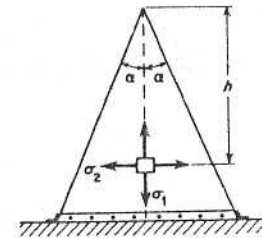
شکل ۱-۵-۶



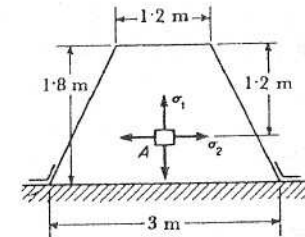
شکل ۲-۵-۶

مسئله ۲-۵-۶ مخزن مایعی شامل دو قسمت می‌باشد (شکل ۲-۵-۶). قسمت استوانه‌ای فوقانی به قطر 4.8 m و ارتفاع 80cm، و قسمت مخروطی تحتانی به ارتفاع 3.2 m و ضخامت جدار 6 mm می‌باشد. مخزن در اطراف محیطش در مقطع CD آویزان است و با نفت به وزن مخصوص 0.72 t/m^3 پر شده است. تنش‌های عمودی ماکزیم نصف النهاری و محیطی را در جدار قسمت مخروطی مخزن حساب کنید.

مسئله ۳-۵-۶ مخروط جدار نازکی بر روی یک پایه افقی مطابق شکل ۳-۵-۶ قرار دارد و تحت اثر فشار گاز داخلی p می‌باشد. ضخامت جدار مخروط t است. با صرف نظر نمودن از وزن مخروط تنش‌های اصلی σ_1 و σ_2 را در نقطه‌ای که در روی شکل مشخص شده است پیدا کنید.



شکل ۳-۵-۶



شکل ۴-۵-۶

۳۰۱

$$\sigma_1 = \frac{\gamma R^2}{3t} ; \sigma_2 = -\frac{\gamma R^2}{3t} \quad 312.5 \text{ MPa} \quad : 6-4-5$$

$$\sigma_1 = -\sigma_2 = \frac{P}{2\pi r t} \quad : 6-4-6$$

$$\sigma_1 = 68 ; \sigma_2 = 472 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-4-7$$

$$\text{استوانه} = 96 \text{ Kg/cm}^2 ; \text{ نیم کره} = 62.4 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-4-8$$

$$\sigma_\theta = 240 \text{ Kg/cm}^2 ; \sigma_\phi = 70 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-4-9$$

$$\sigma_\phi = 33.8 \text{ Kg/cm}^2 ; \sigma_\theta = 45 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-5-1$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{2} \sigma_2 = \frac{p \tan \alpha}{2t \cos \alpha} \quad : 6-5-2$$

$$\sigma_1 = 101 ; \sigma_2 = 536 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-5-3$$

$$\sigma_1 = -\frac{P}{2\pi h t \sin \alpha} ; \sigma_2 = 0 \quad : 6-5-4$$

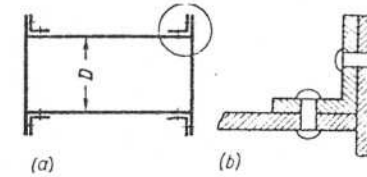
$$p = 10.5 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-5-5$$

$$14.7 \text{ mm} \quad : 6-6-1$$

$$36 \quad : 6-7-1$$

۳۰۰

۱۰ atm است. ضخامت جدار دیگ بخار و نبشی ها ۱۰ mm می باشد. اگر قطر پرچ ها ۲۰ mm باشد تعداد پرچ های لازم برای اتصال جدار دیگ به نبشی ها را پیدا کنید. تنش مجاز در برش ۷۰۰ Kg/cm² و در فشار ۱۶۰۰ Kg/cm² می باشد.



شکل ۶-۷-۲

۶-۱۰ جواب های مسائل حل نشده

$$q = 125 \text{ Kg/cm}^2 ; \sigma_b = 1000 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-2-1$$

$$16.7 \text{ mm} \quad : 6-2-2$$

$$30 \text{ mm} \quad : 6-2-3 \quad \frac{\Delta V}{V} = \frac{pr}{Eh} \left(\frac{5}{2} - 2\nu \right) \quad : 6-2-4$$

$$p = \frac{2hE\epsilon_0}{r(1-2\nu)} \quad : 6-2-5 \quad 500 \text{ Kg/cm}^2 \quad : 6-2-6$$

$$\sigma_\phi = \frac{\gamma R^2}{3h} \left(\frac{1 - \cos^3 \phi}{\sin^2 \phi} \right) \quad : 6-4-1$$

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma R^2}{3h} \left(3 \cos \phi - \frac{1 - \cos^3 \phi}{\sin^2 \phi} \right)$$

$$\sigma_\phi = -\sigma_\theta = \frac{\gamma R^2}{h} \frac{0.0382}{\cos^2 \alpha} \quad \text{برای } \alpha < 45^\circ \quad : 6-4-2$$

$$\sigma_\phi = \frac{\gamma R^2}{h} \left[\frac{1 + \sin \alpha + \sin^2 \alpha}{3(1 + \sin \alpha)} - 0.355 \right] \quad \text{برای } 45^\circ < \alpha < 90^\circ$$

$$\sigma_\theta = \frac{\gamma R^2}{h} (\sin \alpha - 0.707) - \sigma_\phi$$

$$\Delta r = pr^2 (1 - \nu) / (2Eh) \quad : 6-4-3$$

$$0.24 ; 0.18 \text{ MPa} \quad : 6-4-4$$