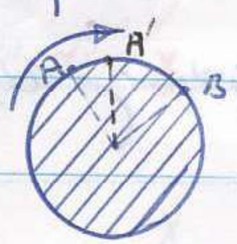
حمید کاظم

فصل سوم:

«پیچش»

مقاطع دایره:

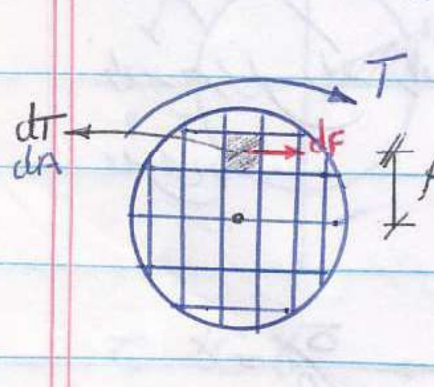


بردار پیچش بر سطحی که عمل می‌کند عمود است

$T =$ گشتاور پیچشی (N.mm)

محوری که مقطع دایره‌ای دارد، این است که تحت پیچش مقطعش همان دایره می‌ماند و فاصله نقطه تغییر یافته از مرکز تغییر نمی‌کند

اما مقطع مربعی (ناپایدار) تحت پیچش مقطعش تغییر شکل می‌دهد



المان مقطع سهمی از T که dT می‌باشد را می‌برد.

$$dT = \rho . dF$$

نیروهایی که در مقطع بوجود می‌آید مماس بر مقطع است.

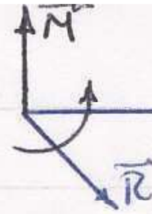
$$dF = \tau dA$$

* گشتاور پیچشی تولید تنش برشی می‌کند.

تعادل مقطع: $T = \int dT = \int \rho . dF = \int \rho \tau dA$

$\vec{M} = \vec{R} \times \vec{F}$

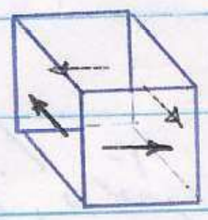
M ؛ انگشت شست دست راست ،



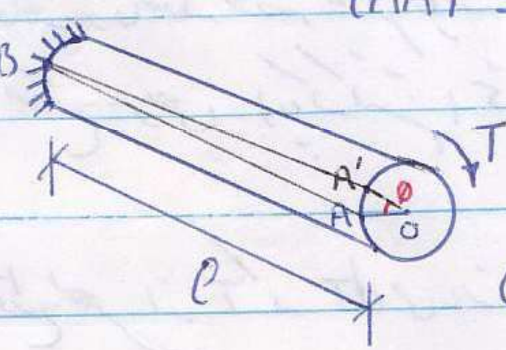
* از R به F حرکت می‌کنیم.

$T = \int_A \rho \tau dA$ کوپل پیچشی

اگر المان مستطیلی را رسم کنیم برش خواهیم داشت.

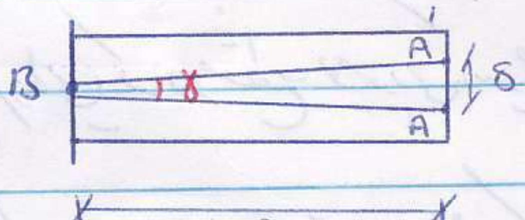


* بیشترین تغییر شکل در پیچش روی محیط دایره است $(\widehat{AA'})$



زاویه مرکزی را که زاویه پیچش است با ϕ نمایش می‌دهند.

$OA = C$ شعاع



$$\delta / l = \frac{AA'}{l} \rightarrow \delta / l = \gamma$$

چون بیشترین تغییر شکل در محیط است بنابراین γ در این حالت γ_{Max} خواهد بود که همان کرنش برشی ماکزیمم می‌باشد.

$\tau \leftarrow$ تنش برشی

$$\gamma_{Max} = \frac{\overline{AA'}}{L} \qquad \overline{AA'} = c\phi \implies \boxed{\gamma_{Max} = \frac{c\phi}{l}}$$

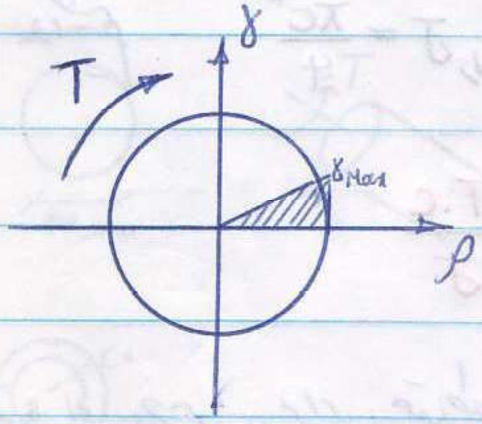
زاویه پیچش

$\longrightarrow$ (زاویه) کرنش برشی $\gamma = \dfrac{\rho\phi}{l}$, $0 \leq \rho \leq c$

ρ : فاصله هر المان از مرکز

$$\implies \frac{\gamma}{\gamma_{Max}} = \frac{\rho}{c}$$

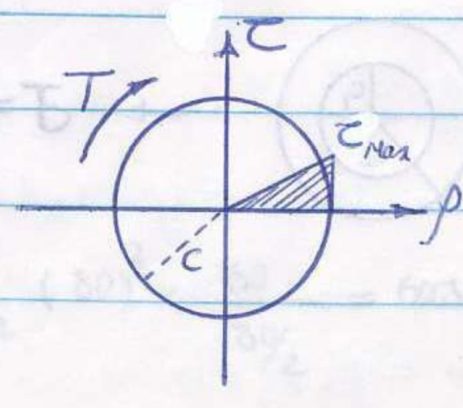
* بنابراین می فهمیم توزیع کرنش در مقطع خطی است .



در کل ارتباطی داشتیم :

$$\tau = G\gamma \rightarrow \tau = G\frac{\rho\phi}{l}$$

$$\implies \tau = \frac{\rho}{c}\tau_{Max}$$



$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

حال می‌خواهیم ببینیم چه ارتباطی بین T و τ در مقطع دایره‌ای وجود دارد.

$$T=\int_A \rho\tau dA \rightarrow T=\int_A \rho\cdot\frac{\rho}{c}\tau_{Max}\, dA$$

$$\Rightarrow T=\frac{\tau_{Max}}{c}\int_A \rho^2 dA$$

دایره $I_x=I_y=\frac{\pi c^4}{4}$

$$J=\int_A \rho^2 dA \quad (J=I_x+I_y) \xrightarrow[\text{دایره}]{} J=\frac{\pi c^4}{2}$$

داریم:

$$\Rightarrow T=\frac{\tau_{Max}}{c}J \Rightarrow \tau_{Max}=\frac{T.c}{J}$$

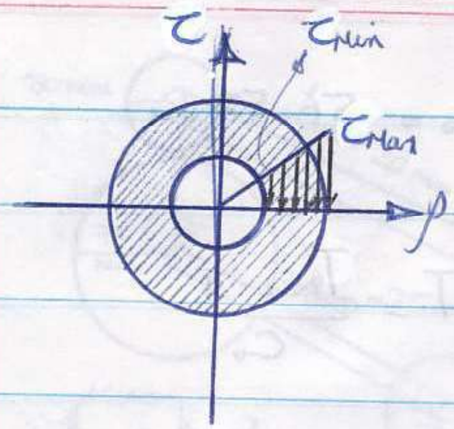
گشتاور پیچشی

تنش برشی $\boxed{\tau=\frac{T.\rho}{J}}$

نکته: این فرمول برای مقاطع توپر است.

اگر مقطع توپر نباشد:

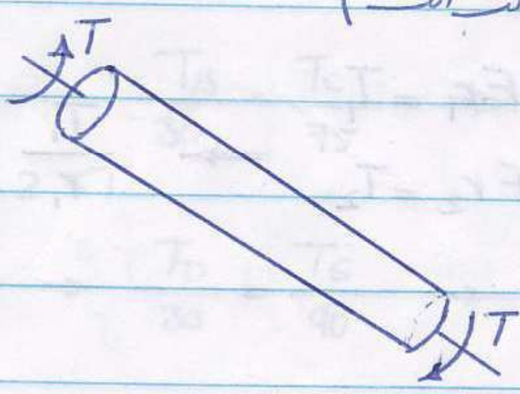
$$\rightarrow J=\frac{\pi}{2}(c_2^4-c_1^4)$$



$$\tau_{Min} = \frac{c_1}{c_2}\,\tau_{Max}$$

مثال : حداکثر توانی که در دو حالت می توان وارد کرد در شرطی که تنش برشی ماکزیمم از 60 Mpa بیشتر نشود. (مصالح ثابت است)

(1) 



(2) 

1) $J = \frac{\pi}{2} c^4 = \frac{\pi}{34} d^4 = \frac{\pi}{32} (80)^4$

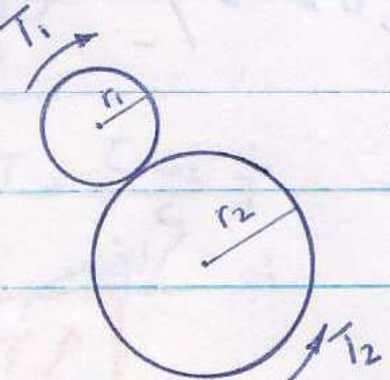
$$\tau_{Max} = \frac{T.c}{J} \Rightarrow T = J\,\frac{\tau_{Max}}{c} = \frac{\pi}{32}(80)^2 \times \frac{60}{80/2} = 6030\ N.m$$

2) $\frac{\pi(80)^2}{4} = \frac{\pi}{4}(d_o^2 - 80^2) \Rightarrow C_o = 56.57\ mm$

$\rightarrow J = \pi/2\left[(56.57) - (40)^4\right] \Rightarrow T = \frac{\tau_{Max} \cdot J}{C_o}$

$= \frac{60 \times 12.065 \times 10^6}{56.57} = 12800\ kN.mm$

تلـ 8



$\begin{cases} F r_1 = T_1 \\ F r_2 = T_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{T_1}{r_1} = \frac{T_2}{r_2}$

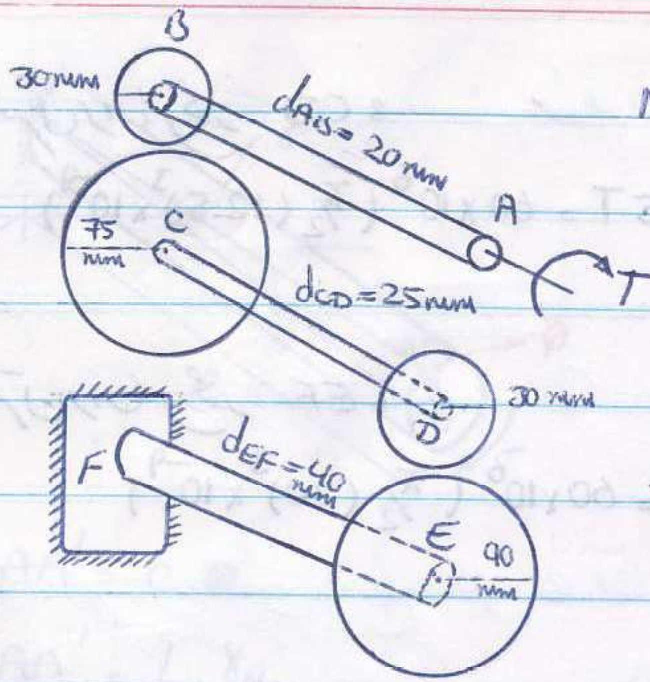
$50^4 = x$ برای محاسبه کردن 50^4 در ماشین حساب 11

$\rightarrow \ln 50^4 = \ln x \Rightarrow 4\ln 50 = \ln x \Rightarrow x = e^{4\ln 50}$

$\rightarrow x = Exp(4 * Ln50)$

$C^3 = x \Rightarrow 3\ln c = \ln x \Rightarrow \ln c = 1/3 \ln x \rightarrow c = e^{1/3 \ln x}$ 12

۸۷ $c = Exp(1/3 * Ln x)$



مثال، حداکثر توان T را بیابید تا تنش Max ایجاد شده در محورها از 60 Mpa بیشتر نشود.

$$T = T_{AB}$$

$$\begin{cases} T = T_{AB} = T_B \\ T_C = T_{CD} = T_D \\ T_E = T_{EF} \end{cases}$$

$$\frac{T_B}{r_B} = \frac{T_C}{r_C} \Rightarrow \frac{T_B}{30} = \frac{T_C}{75} \Rightarrow T_C = 2.5\,T_B = 2.5T$$

$$\Rightarrow T_D = 2.5T$$

$$\frac{T_D}{r_D} = \frac{T_E}{r_E} \Rightarrow \frac{T_D}{30} = \frac{T_E}{90} \Rightarrow T_E = 3T_D \Rightarrow T_E = 7.5T$$

$$\tau_{Max} = \frac{T \cdot C}{J} = \frac{T}{\frac{\pi}{2}C^3} \Rightarrow T = \tau_{Max}\left(\frac{\pi}{2}C^3\right)$$

کنترل براساس محور AB:

$$T = 60\times10^6\left(\frac{\pi}{2}(10)^3\times10^{-9}\right) = 94.2\ \text{N.m}$$

کنترل براساس محور CD:

$$T_{CD} = \tau_{Max}\left(\frac{\pi}{2}(c)^3\right) \Rightarrow 2.5T = 60\times10^{6}\left(\frac{\pi}{2}(12.5)^3\times10^{-9}\right)$$

$$\Rightarrow T = 73.593\ N.m$$

کنترل براساس محور EF:

$$T_{EF} = \tau_{Max}\left(\frac{\pi}{2}c^3\right) \Rightarrow 7.5T = 60\times10^{6}\left(\frac{\pi}{2}(20)^3\times10^{-9}\right)$$

$$\Rightarrow T = 100.48\ N.m$$

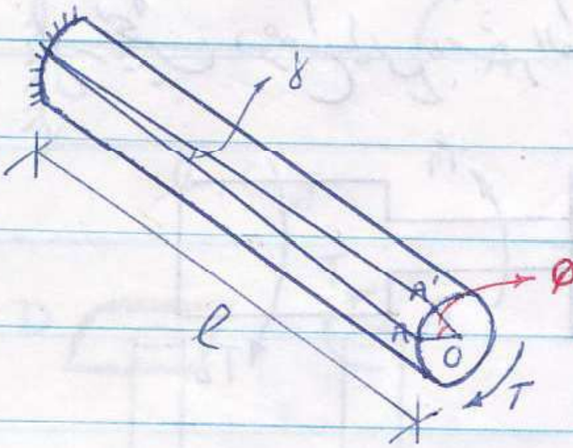
$$\Rightarrow T_{Max} = Min(94.2,\ 73.593,\ 100.48) = 73.593\ N.m$$

کرنش برشی (رادیان) 1) $\gamma = \frac{\rho\phi}{l}$ زاویه پیچشی

تنش برشی 2) $\tau = \frac{T\rho}{J}$ کوپل پیچشی

زاویه پیچش:

اگر محوری به طول l با جنس مصالح ثابت با مدول برشی G و سطح مقطع ثابت با ممان اینرسی قطبی J تحت کوپل ثابت T قرار گیرد میزان چرخش دو انتهای نسبت به یکدیگر با ϕ نمایش داده می‌شود و به صورت زیر است.



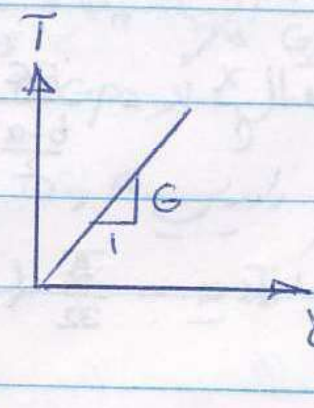
$$\begin{cases} AA' = C.\phi \\ AA' = L.\gamma_{Max} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \quad \gamma_{Max} = \frac{C.\phi}{L}$$

$$\tau_{Max} = G\,\gamma_{Max}$$

$$\tau_{Max} = \frac{T.C}{J}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} \tau_{Max} = \dfrac{T.C}{J} \\ \gamma_{Max} = \dfrac{\tau_{Max}}{G} = \dfrac{T.C}{G.J} \\ \gamma_{Max} = \dfrac{C.\phi}{L} \end{cases}$$



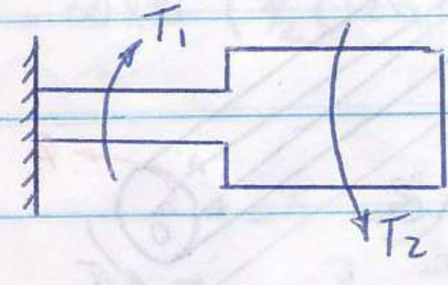
$$\phi = \frac{T.L}{GJ}$$

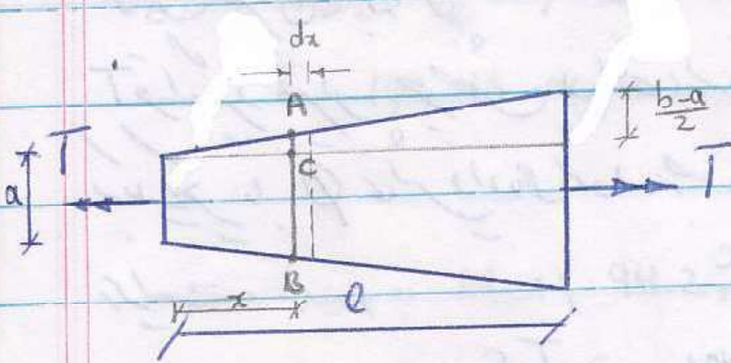
در قسمت قبل داشتیم $\delta = \dfrac{PL}{EA}$.

$\dfrac{GJ}{L}$ سختی پیچشی در طول است. $\dfrac{L}{GJ}$ نرمی پیچشی است.

زاویه پیچش در مقطع کلی با شرایط متفاوت به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \frac{T_i L_i}{G_i J_i}$$





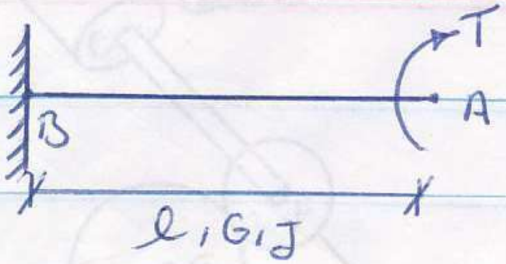
مثال: برای زاویه پیچش مقطع مقابل φ را بدست آورید.

$$\varphi = \int_0^{l} \frac{T\,dx}{G\,J(x)}$$

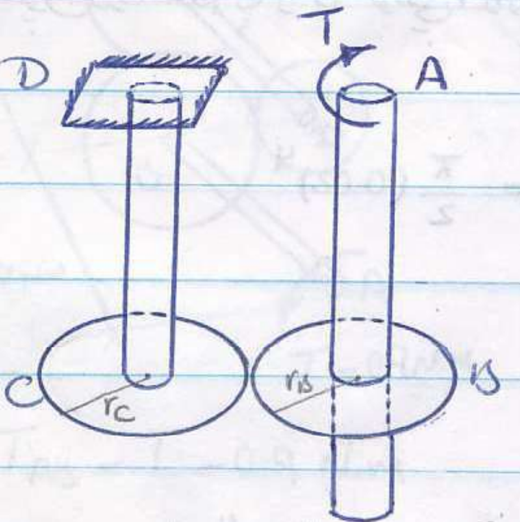
$$\frac{x}{l} = \frac{AC}{\frac{b-a}{2}} \Rightarrow AC = \frac{x(b-a)}{2l} \Rightarrow AB = a + \frac{x(b-a)}{l}$$

$$J(x) = \frac{\pi}{32}\left(AB^4 - a^4\right) = \frac{\pi}{32}\left(\left(a+\frac{x}{l}(b-a)\right)^4 - a^4\right)$$

$$\Rightarrow \varphi = \int_0^{l} \frac{T\,dx}{G} \times \frac{32}{\pi\left[\left(a+\frac{x}{l}(b-a)\right)^4 - a^4\right]}$$



$$\varphi = \varphi_{A/B} = \varphi_A - \cancel{\varphi_B}^{\,0}$$



مثال: بانشدادن T ← $\varphi_A = ?$

$$\frac{T}{r_B} = \frac{T_C}{r_C}$$

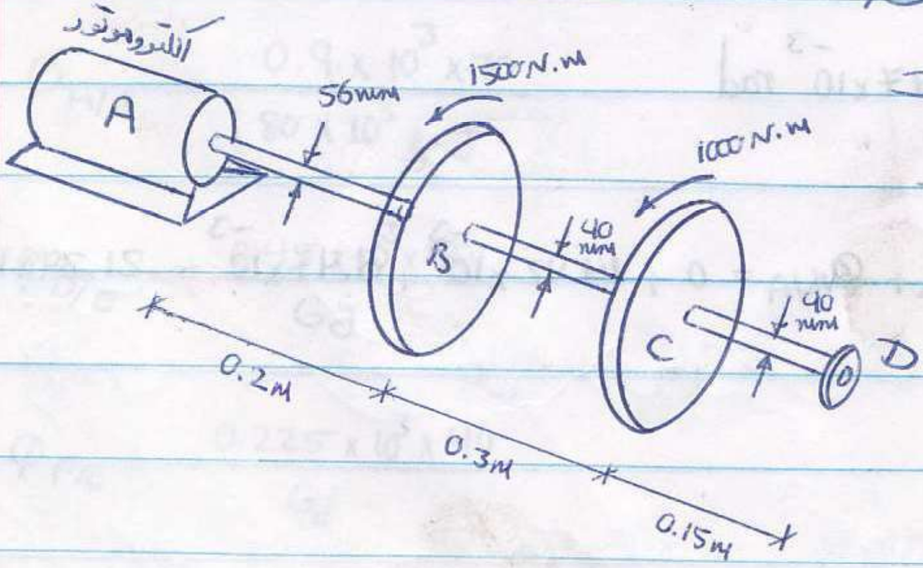
$$\varphi_C = \varphi_{C/D} + \cancel{\varphi_D}^{\,0} \quad \rightarrow T_C = \frac{r_C T}{r_B}$$

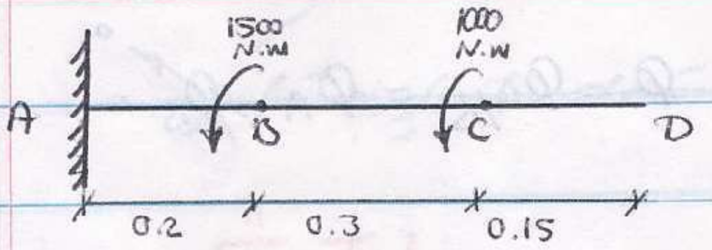
$$\varphi_A = \varphi_{A/B} + \varphi_B \qquad \varphi_C = \frac{T_C l}{GJ}$$

$$\varphi_B r_B = \varphi_C r_C \qquad r_C \varphi_C = r_B \varphi_B$$

$$\rightarrow \varphi_B = \frac{r_C}{r_B}\,\frac{T_C l}{GJ} = \left(\frac{r_C}{r_B}\right)^2 \frac{Tl}{GJ} \qquad \varphi_{A/B} = \frac{Tl}{GJ} \rightarrow \frac{Tl}{GJ} = \varphi_A - \left(\frac{r_C}{r_B}\right)^2 \frac{Tl}{GJ}$$

مثال: از $G = 80\,Gpa$ بنا، زاویه بین A, D را بدست آورید.





$\varphi_{D/C} = 0$ چون در فاصله C و D کوپلی نداریم

$$\varphi_{C/B} = \frac{1000 \times 0.3}{80 \times 10^9 \times J} \qquad J = \frac{\pi}{2} c^4 = \frac{\pi}{2} (0.02)^4$$

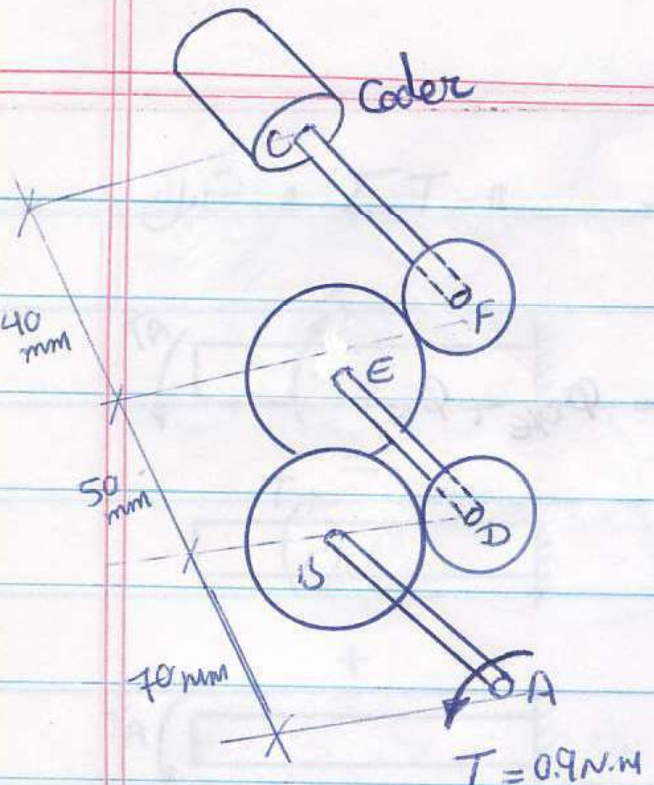
$$\Rightarrow \varphi_{C/B} = 14.92 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\varphi_{B/A} = \frac{(1500 + 1000) \times 0.2}{80 \times 10^9 \times J} \qquad J = \frac{\pi}{2} c^4 = \frac{\pi}{2} (0.028)^4$$

$$\Rightarrow \varphi_{B/A} = 6.47 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\varphi_{D/A} = \varphi_{D/C} + \varphi_{C/B} + \varphi_{B/A} = 0 + 14.92 \times 10^{-3} + 6.47 \times 10^{-3} = 21.39 \times 10^{-3} \text{ r}$$

$$\varphi_{D/A} = 1.226^{\circ}$$



مثال . اگر از چرخش نقطه C جلوگیری شود دوران چرخش A را نسبت به C تحت کوپل $T = 0.9\ N.m$ را محاسبه کنید. (شعاع دنده‌های کوچک ۲ و دنده‌های بزرگ ۴ است)
$G = 80\ Gpa$
قطر تمام محورها 4mm است.

$$J = \frac{\pi}{2}(2)^{2\times 2} = 8\pi$$

$$T_{AB} = T = 0.9\ N.m \qquad T_{DE} = \tfrac{1}{2} T_{AB} = 0.45\ N.m$$

$$T_{FC} = \tfrac{1}{2} T_{DE} = \tfrac{1}{4} T = 0.225\ N.m$$

$$\varphi_{A/B} = \frac{0.9 \times 10^3 \times 70}{80 \times 10^3 \times J}$$

$$\varphi_{D/E} = \frac{0.45 \times 10^3 \times 50}{GJ}$$

$$\varphi_{F/C} = \frac{0.225 \times 10^3 \times 40}{GJ}$$

$$r_1\varphi_1 = r_2\varphi_2$$

$$\varphi_F = \varphi_{F/C} + \varphi_C^{\,0} = \frac{0.9\ N.mm}{GJ} \times 10^4$$

$$\varphi_E = \tfrac{1}{2}\varphi_F = 0.45/_{GJ} \times 10^4 \longrightarrow \varphi_D = \varphi_{D/E} + \varphi_E$$

$$\varphi_D = \frac{(2.25 + 0.45)\times 10^4}{GJ}$$

$$\varphi_B = \frac{r_D}{r_B}\varphi_D = \frac{1}{2}\varphi_D = \frac{1.35\times 10^4}{GJ}$$

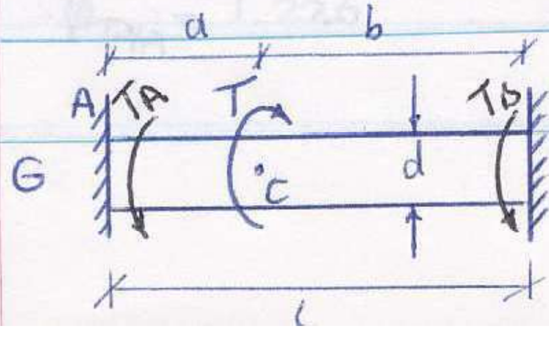
$$\varphi_A = \varphi_{A/B} + \varphi_B = \frac{6.3\times 10^4}{GJ} + \frac{1.35\times 10^4}{GJ} = \frac{7.65\times 10^4}{GJ} = 38.05\times 10^{-3}\ rad$$

$$= 2.18^{\circ}$$

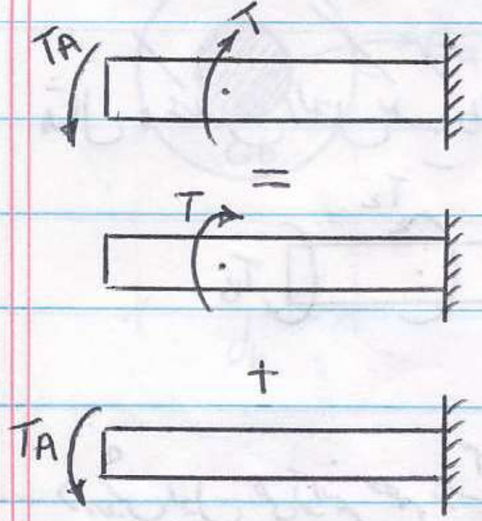
پیچش در اعضای نامعین:

از روش سازگاری تغییر شکل که برای حل پیچش استفاده می‌شود. روش دیگر، روش جمع آثار قوا است.

مثال: عکس العمل تکیه گاهی T_A ، T_B چقدر است.



تعادل : $\sum T = 0 \longrightarrow T_A + T_B = T$



روش اول : (جمع آثار قوا)

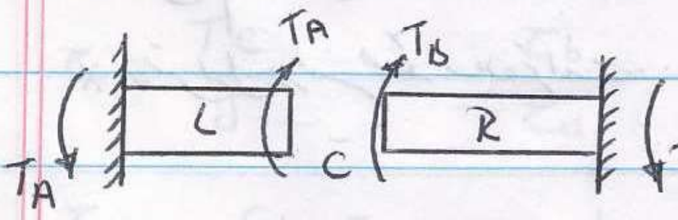
$$\varphi_A^{T} = \frac{Tb}{GJ}$$

$$\varphi_A^{T_A} = \frac{T_A \cdot L}{GJ}$$

چون نقطه A حرکت چرخشی ندارد :

$$\varphi_A^{T} = \varphi_A^{T_A} \Rightarrow \frac{Tb}{GJ} = \frac{T_A L}{GJ} \Rightarrow T_A = \frac{b}{L}T \qquad T_B = \frac{a}{L}T$$

روش دوم : (سازگاری تغییر شکل)



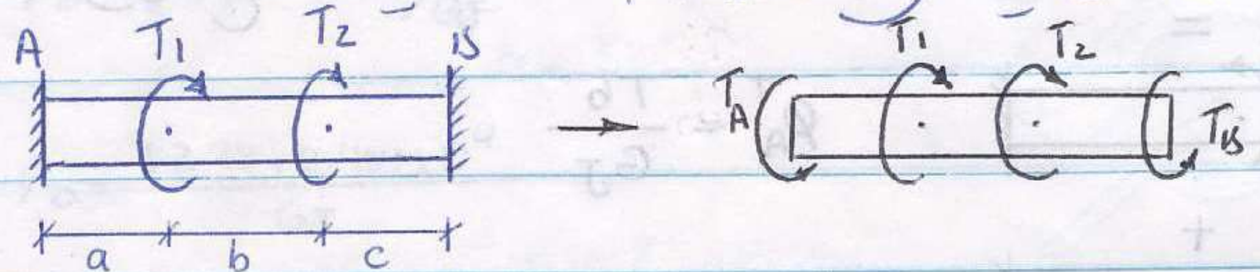
$$\varphi_C^{L} = \frac{T_A \cdot a}{GJ} \qquad \varphi_C^{R} = \frac{T_B \cdot b}{GJ}$$

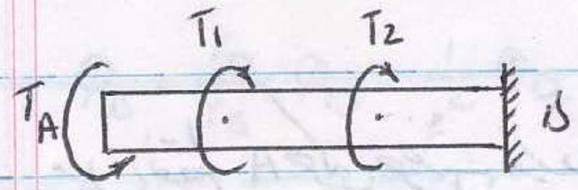
چون چرخش در دو طرف برابر است :

$$\varphi_C^{L} = \varphi_C^{R} \Rightarrow T_A \cdot a = T_B \cdot b \longrightarrow T_A = \frac{b}{a} T_B$$

$$T_A + T_B = T \Rightarrow \left(\frac{b}{a}+1\right) T_B = T \Rightarrow T_B = \frac{a}{L}T \, , \; T_A = \frac{b}{L}T$$

مثال: عکس العمل تکیه گاهی T_A و T_B را بدست آورید.





در روش اول می‌توانیم هم به ۳ شکل تبدیل کنیم و جدا حساب کنیم. یا می‌توانیم بر روی همین شکل از طریق که جمع ϕ_i ها را برابر صفر بگذاریم.

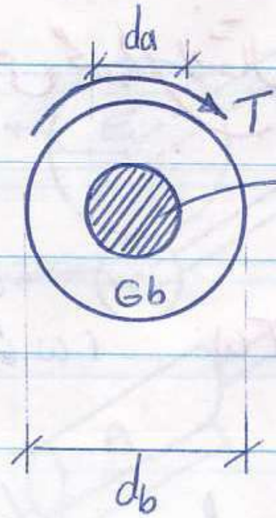
از روش دوم می‌توان استفاده کرد به شرطی که یک نقطه را ثابت کرده ϕ ها را مساوی می‌گذاریم.

* روش اول در اینجا مشکل ساده‌تر است.

* بسیار مهم است که بدانیم در این شکل زاویه پیچش ها با هم برابرند.

مثال : تنش های برشی max را در پوسته و هسته بیابید.

هسته فولاد و پوسته مس است.



$$T = T_a + T_b \qquad \varphi_a = \varphi_b$$

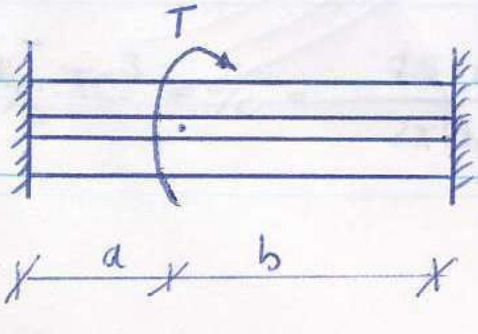
$$\longrightarrow \frac{T_a \cdot L}{G_a \cdot J_a} = \frac{T_b \cdot L}{G_b \cdot J_b}$$

$$\Longrightarrow T_a = \frac{G_a \cdot J_a}{G_b \cdot J_b} T_b$$

$$T = \left(\frac{G_a \cdot J_a}{G_b \cdot J_b} + 1 \right) T_b \Longrightarrow \begin{cases} T_b = \dfrac{G_b J_b}{G_a J_a + G_b J_b} \\ T_a = \dfrac{G_a J_a}{G_a J_a + G_b J_b} \end{cases}$$

$$\tau = \frac{T.c}{J} \qquad \frac{\tau_b}{\tau_a} = \frac{\dfrac{T_b \cdot d_b/2}{J_b}}{\dfrac{T_a \cdot d_a/2}{J_a}} = \frac{T_b}{T_a} \cdot \frac{J_a \cdot d_b}{J_b \cdot d_a}$$

$$\frac{\tau_b}{\tau_a} = \frac{G_b \cdot J_b}{G_a \cdot J_a} \cdot \frac{J_a \cdot d_b}{J_b \cdot d_a} = \frac{G_b \cdot d_b}{G_a \cdot d_a}$$



مثال : اگر τ_b معلوم باشد τ_a را بدست آورید. این مسئله ترکیب دو مثال قبل است.

طراحی محورهای انتقال قدرت :

$W = T \cdot \phi$ (W، کار، T گشتاور، ϕ تغییر شکل)

$P = \frac{dW}{dt} \Rightarrow P = T\frac{d\phi}{dt} \rightarrow P = T\omega$ (ω آنگاه)

$\omega = 2\pi f \rightarrow P = 2\pi f T$ f ← فرکانس (1/s)
تعداد دورها در ثانیه ←

$\Rightarrow T = \frac{P}{2\pi f}$ گشتاور پیچشی

* در صورتی توان را ثابت فرض می کنیم.

$\tau = \frac{T.c}{J} \Rightarrow T = \frac{\tau . J}{c} \Rightarrow \frac{J}{c}\tau = \frac{P}{2\pi f}$

$\Rightarrow$ مجاز تنش برشی $\tau = \frac{Pc}{2\pi f J}$

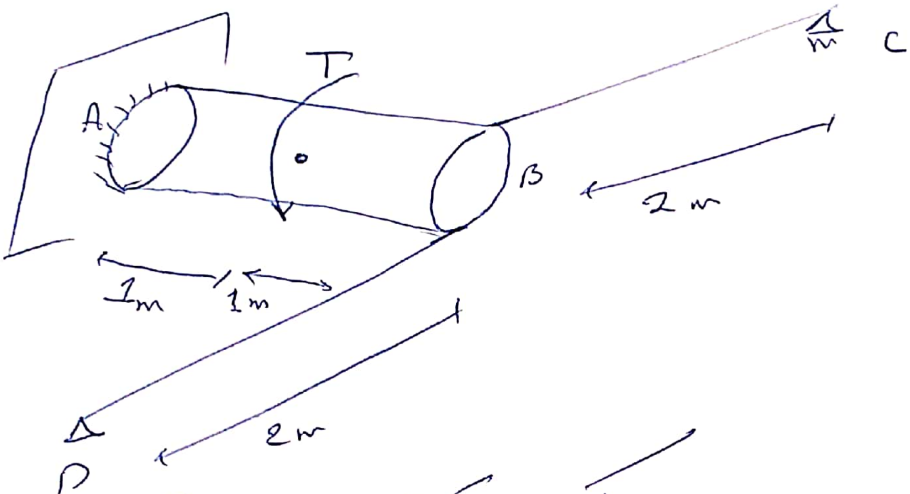
نکته/

$P = 2\pi f T \rightarrow$ وات (W) $= \frac{N.m}{s}$

میله‌ای به طول دو متر ($L=2\,m$) و قطر $10\,cm$ در یک انتها گیردار و در انتهای دیگر مطابق شکل به دو میله باریک BC و BD هر یک به طول $2\,m$ و قطر $2\,cm$ متصل است.

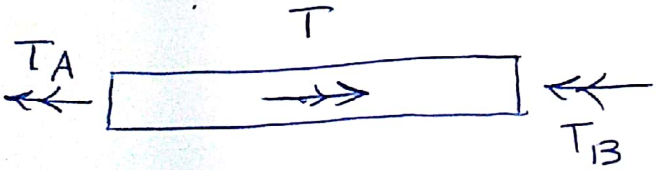
درصورتیکه تنش مجاز برشی در میله AB برابر با $300\ \frac{kg}{cm^2}$ و تنش مجاز محوری در میله‌های BC و BD برابر $400\ \frac{kg}{cm^2}$ و زاویه مجاز پیچش Φ_B برابر با $\Phi_{مجاز} = 0.4^\circ$ درجه

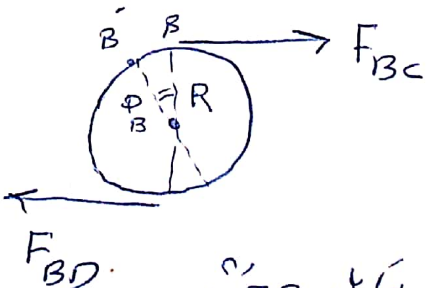
مطلوب است حداکثر لنگر پیچشی مجاز $T=?$ درصورتیکه $G=0.4E$



ابتدا دیاگرام آزاد میله AB را رسم می‌کنیم: تکیه‌گاه A یک لنگر پیچشی ایجاد می‌شود.

درنقطه B نیز به علت آنکه میله‌های AB و DB با چرخش انتهای B مخالفت می‌کنند یک لنگر ایجاد می‌شود





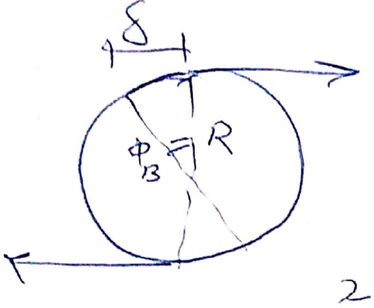
$$T_B = F_{BC}\times d = F_{BD}\times d$$

$$F_{BC} = F_{BD} = F$$

$$\Downarrow\ T_B = F\times d$$

درواقع انتهای B تمایل به چرخش دارد

مثلاً با دوران گردش دارد ولی میله‌های BC و BD با آن مخالفت می‌کنند. یک نیروی کششی در میله‌ها ایجاد می‌شود و در محل یک کوپل به انتهای میله اعمال می‌شود.



زاویه Φ_B که در واقع زاویه پیچش Φ_B است

با میزان افزایش طول میله ها رابطه داد

$$R\Phi_B = \delta$$

$\delta_{BC \text{ یا } BD}$ = میزان افزایش طول

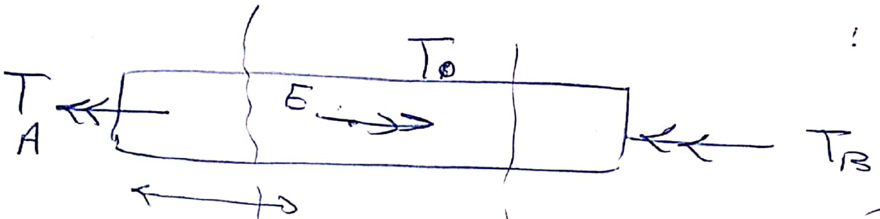
$$\delta = \frac{FL}{EA} = \frac{\frac{T_B}{d} \times L}{EA} = \frac{\frac{T_B}{10} \times 200}{E \times R} = \frac{20\,T_B}{RE}$$

$d = 10\,cm$

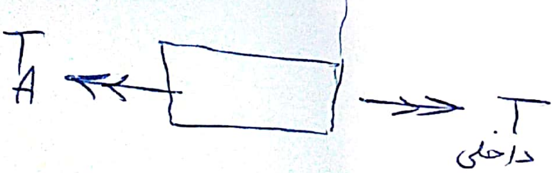
$L = 200\,cm$

مساحت میله BC یا BD: $A = \frac{R \times 2^2}{4} = R$

حساب می کنیم Φ_B:

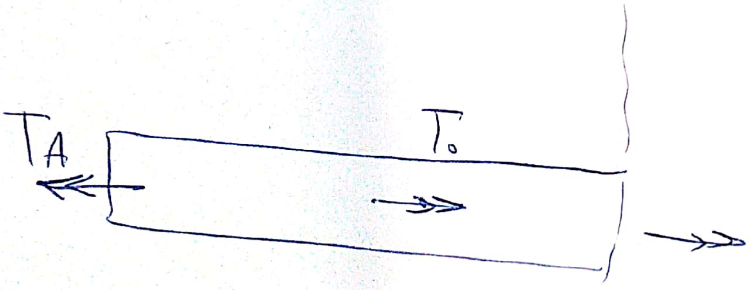


باید تنش داخلی را حساب کنیم



$$\sum T = 0 \rightarrow T_{\text{داخلی}} - T_A = 0$$

در قطعه AE: $\boxed{T_{\text{داخلی}} = T_A}$



$$T_{\text{داخلی}} = ? \rightarrow \sum T = 0 \rightarrow$$

در قطعه BE: $T_{\text{داخلی}} + T_0 = T_A$

$$T_{\text{داخلی}} = T_A - T_0$$

Scanned by CamScanner

$$\varphi_{B/A} = \varphi_{B/E} + \varphi_{E/A}$$

$$= \frac{T_{BE}\, L}{GJ} + \frac{T_{EA}\, L}{GJ}$$

$$\varphi = \frac{(T_A - T_0) \times 100}{G \times \frac{\pi \times 10^4}{32}} + \frac{T_A \times 100}{G \times \frac{\pi \times 10^4}{32}}$$

$$\varphi = \frac{(2T_A - T_0) \times 100}{G \times \pi \times 10^4} \times 32$$

$$\delta = R\varphi$$

$$\frac{20\, T_B}{\pi E} = \frac{5 \times (2T_A - T_0) \times 32}{100\, \pi\, G}$$

$$20\, T_B = \frac{5\,(2T_A - T_0) \times 32}{100 \times 0.4}$$

$$5\, T_B = 2T_A - T_0$$

$$\boxed{2T_A - 5T_B = T_0} \rightarrow (2T_A - 5T_0 + 5T_A) = T_0$$

$$T_A + T_B = T_0 \rightarrow T_B = T_0 - T_A$$

$$7T_A = 6T_0$$

$$\boxed{T_A = \tfrac{6}{7} T_0}$$

$$\boxed{T_B = \tfrac{T_0}{4}}$$

حال به بررسی کنترل‌ها می‌پردازیم:

مقدار گشتاور T_0 باید به گونه‌ای مشخص شود که تنش برشی در میله AB

تنش محوری در میله‌های BC و BD در تنش‌های مجاز به طور همزمان کنترل شود.

(۱) کنترل تنش در میله AB $\longrightarrow$ در این جا باید ببینیم میزان تنش در قسمت

AE بیشتر است یا EB:

از آنجا که $\tau_{max} = \dfrac{TR}{J}$ است و مقدار R و J در دو قسمت

برابر است بنابراین τ_{max} در جایی اتفاق می‌افتد که T بیشتر باشد

از آنجا که $T_A > T_B$ است نتیجه می‌گیریم τ_{max} در محدوده EA بیشتر

است $\longleftarrow$

$$\tau_{max_{EA}} = \frac{T_A R}{J} = \frac{\frac{6}{7}T_0 \times 5}{\frac{\pi \times 5^4}{2}} = 300$$

$$\longrightarrow T_0)_1 = \frac{5^3 \times \pi}{2} \times 300 \times \frac{7}{6}$$

(۲) کنترل تنش در میله BC و CD $\longrightarrow$ $\sigma = \dfrac{F_{BC}}{A} = \dfrac{F_{CD}}{A} = \dfrac{T_B/10}{A} = \dfrac{T_0/70}{A}$

$$\sigma = \frac{T_0}{70A} = 400 \rightarrow T_0 = 28000A$$

$$\boxed{T_0 = 28000 \times \pi}$$

Scanned by CamScanner

(۳) $\varphi = \dfrac{(2T_A - T_0) \times 100}{\pi G \times 10^4} \times 32 < 0.4^\circ \times \pi/180$

$= \dfrac{11/7\, T_0 \times 32}{100\pi} < 0.4^\circ \times \pi/180$

رادیان $\pi = 180^\circ$

$x = 0.4^\circ \longrightarrow x_{\text{رادیان}} = 0.4 \times \dfrac{\pi}{180}$

از معادلات (۱)، (۲)، (۳) سه مقدار برای لنگر T_0 بدست می‌آید که از بین آنها مقدار مینیمم آنها مورد نظر است.