

BÖLÜM 2- ÇÖZÜMLÜ PROBLEMLER

Yoğunluk ve bağıl yoğunluk

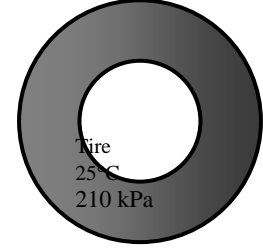
2-7 Hava ideal gaz ve sabit hacimli lastik, havanın gaz sabiti: $R = 0.287 \text{ kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K}$.
Başlangıçta lastikteki toplam basınç; $P_1 = P_g + P_{am} = 210 + 100 = 310 \text{ kPa}$

$$\text{Sondaki basınç, } \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \longrightarrow P_2 = \frac{T_2}{T_1} P_1 = \frac{323\text{K}}{298\text{K}} (310\text{kPa}) = 336\text{kPa}$$

Basınç yükselmesi, $\Delta P = P_2 - P_1 = 336 - 310 = \mathbf{26.0 \text{ kPa}}$

Basıncın original değere ulaşması için, çıkması gereken hava miktarı,

$$m_1 = \frac{P_1 V}{RT_1} = \frac{(310\text{kPa})(0.025\text{m}^3)}{(0.287\text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(298\text{K})} = 0.0906\text{kg}$$
$$m_2 = \frac{P_2 V}{RT_2} = \frac{(310\text{kPa})(0.025\text{m}^3)}{(0.287\text{kPa}\cdot\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{K})(323\text{K})} = 0.0836\text{kg}$$
$$\Delta m = m_1 - m_2 = 0.0906 - 0.0836 = \mathbf{0.0070\text{kg}}$$



NOT: ideal gaz hesaplarında gösterge basıncından ziyade toplam basınç kullanılmalıdır.

Buhar basıncı ve kaviteasyon

2-15 Suyun 40°C deki buhar basıncı 7.38 kPa .

Kaviteasyonu önlemek için, verilen sıcaklıkta akışın her yerinde basınç doyma basıncının altına düşmesine müsaade edilmemelidir; $P_{\min} = P_{\text{sat}@40^\circ\text{C}} = \mathbf{7.38 \text{ kPa}}$

Bu sebeple, basınç akışın her yerinde 7.38 kPa üzerinde olmalıdır.

NOT: doyma basıncı artan sıcaklıkla birlikte artar, bu yüzden kaviteasyon riski yükselen akışkan sıcaklığıyla fazlalaşır.

Enerji ve özgül ısılar

2-25K Ortalama sıcaklıktaki özgül ısıları kullanarak, ideal gazların iç enerjisindeki değişim;

$$\Delta u = c_{v,avg} \Delta T \quad \text{Sıkıştırılmaz maddeler için, } c_p \cong c_v \cong c \text{ ve } \Delta u = c_{avg} \Delta T$$

NOT: Eğer akışkan ideal gaz yada sıkıştırılmaz akışkan olmazsa, özellik tabloları kullanılmalıdır.

2-26K Ortalama sıcaklıkta özgül ısıları kullanarak, ideal gazların özgül entalpi değişimleri;

$$\Delta h = c_{p,avg} \Delta T \quad \text{Sıkıştırılmaz maddeler için; } c_p \cong c_v \cong c \text{ and } \Delta h = \Delta u + v \Delta P \cong c_{avg} \Delta T + v \Delta P$$

Sıkıştırılabilirlik katsayısı;

2-30 İdeal gaz için, $P = \rho RT$ ve $(\partial P / \partial \rho)_T = RT = P / \rho$, ve böylece $\kappa_{\text{ideal gas}} = P$. Bu yüzden, ideal gazın sıkıştırılabilirlik katsayısı onun toplam basıncına eşittir, ve gazın sıkıştırılabilirlik katsayısı artan basınçla beraber artar.

$$\text{Sıkıştırılabilirlik katsayısı tanımında } \kappa = P \text{ konursa, } \kappa \cong -\frac{\Delta P}{\Delta \rho / \rho} \cong \frac{\Delta P}{\Delta \rho / \rho} \text{ ve düzenlemeyle, } \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta P}{P}$$

Bu yüzden, isothermal sıkıştırma esnasında ideal bir gazın yoğunluğundaki artma yüzdesi basınçtaki artma yüzdesine eşittir.

$$10 \text{ atm: } \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta P}{P} = \frac{11-10}{10} = 10\%$$

$$100 \text{ atm: } \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta P}{P} = \frac{101-100}{100} = 1\%$$

Bu sebeple, 1 atm lik bir basınç değişimi, 10 atm basınçta 10% yoğunluk değişimine sebep olur ve 100 atm basınçta 1% lik yoğunluk değişimine sebep olur.

NOT: Eğer sıcaklıkta değiştirilseydi, ilişki bu kadar basit olmayacaktı.

2-31 Hacimsel genişleme katsayısı tanımını kullanarak, $\beta_{\text{ideal gas}} = 1/T$, sabit basınçtaki bir ideal gazın özgül hacmindeki yüzdelik artışı toplam sıcaklıktaki yüzde artışa eşit olduğu gösterilir.

$$\text{Hacimsel genişleme katsayısı, } \beta = \frac{1}{\nu} \left(\frac{\partial \nu}{\partial T} \right)_p \approx \frac{\Delta \nu / \nu}{\Delta T}.$$

Burada ideal bir gaz için $\beta_{\text{ideal gas}} = 1/T$, düzenlemeyle, $\frac{\Delta \nu}{\nu} = \frac{\Delta T}{T}$

Bu yüzden, sabit basınçtaki genişleme esnasındaki ideal bir gazın özgül hacmindeki artış yüzdesi toplam sıcaklıktaki artış yüzdesine eşittir.

NOT: Toplam sıcaklık (K yada R) kullanmalıyız, (°C yada °F) sıcaklıkları değil.

2-33 Verilen sıcaklık mertebesinde hacimsel genişleme katsayısı sabittir.

Suyun 15°C sıcaklık ve 1 atm basınçta yoğunluğu $\rho_1 = 999.1 \text{ kg/m}^3$. Ortalama sıcaklıktaki, $(15+95)/2 = 55^\circ\text{C}$, hacimsel genişleme katsayısı $\beta = 0.484 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

α ve β sabit kabulüyle, yoğunluktaki değişim, $\Delta \rho = \alpha \rho \Delta P - \beta \rho \Delta T$

Sabit basınçta, sıcaklığın 15°C den 95°C ye olan değişimiyle yoğunlukta olan değişim,

$$\Delta \rho = -\beta \rho \Delta T = -(0.484 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1})(999.1 \text{ kg/m}^3)(95-15)\text{K} = \mathbf{-38.7 \text{ kg/m}^3}$$

NOT $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$, suyun 95°C ve 1 atm deki yoğunluğu,

$$\rho_2 = \rho_1 + \Delta \rho = 999.1 + (-38.7) = 960.4 \text{ kg/m}^3$$

Appendix de 95°C sıcaklıktaki su için verilen 961.5 kg/m^3 değerine yakındır. Bu β nın sıcaklıkla lineer olarak değişimine bağlıdır. Suyun yoğunluğu ısıtılınca azalır.

2-35 Ortalama hacimsel genişleme katsayısı $\beta = 0.377 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Yoğunluktaki değişim, $\Delta \rho = \alpha \rho \Delta P - \beta \rho \Delta T$

2% lik bir hacim artışı, 2% lik bir yoğunluk düşümüne karşılık gelir, yani $\Delta \rho = -0.02 \rho$. Sabit basınçtaki ΔT sıcaklık artışındaki yoğunluk azalması, $-0.02 \rho = -\beta \rho \Delta T$

$$\Delta T \text{ için çözersek, maximum sıcaklık artışı; } \Delta T = \frac{0.02}{\beta} = \frac{0.02}{0.377 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}} = \mathbf{53.0 \text{ K} = 53.0^\circ\text{C}}$$

NOT bu sonuç kabaca, çünkü gerçekte artan basınç suyu sıkıştırarak ve buda yoğunluğunu artıracaktır.

Viscosity

2-43 Yağın viskozitesi $\mu = 0.012 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0.012 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$.

(a) bloğun hızı sabit, bu yüzden ivmesi sıfırdır. Kuvvetler dengesi,

$$\sum F_x = 0: F_1 - F_f \cos 20^\circ - F_{N1} \sin 20^\circ = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0: F_{N1} \cos 20^\circ - F_f \sin 20^\circ - W = 0 \quad (2)$$

$$\text{Sürüklenme kuvveti: } F_f = f F_{N1} \quad (3)$$

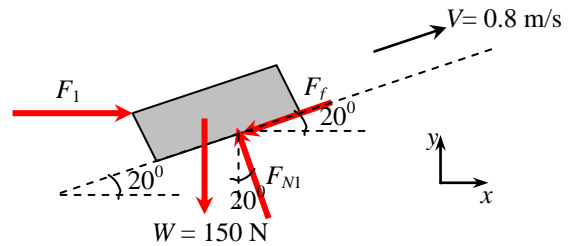
(3) denklemi (2) de yerine konur ve F_{N1} çözülürse,

$$F_{N1} = \frac{W}{\cos 20^\circ - f \sin 20^\circ} = \frac{150 \text{ N}}{\cos 20^\circ - 0.27 \sin 20^\circ} = 177.0 \text{ N}$$

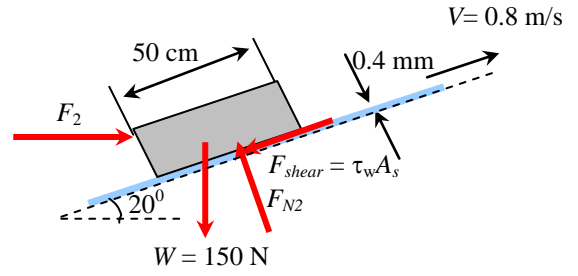
denklem (1) den:

$$F_1 = F_f \cos 20^\circ + F_{N1} \sin 20^\circ = (0.27 \times 177 \text{ N}) \cos 20^\circ + (177 \text{ N}) \sin 20^\circ = \mathbf{105.5 \text{ N}}$$

(b) bu durumda, sürüklenme kuvveti bloğun alt yüzüne uygulanan kayma kuvvetiyle yer değiştirir. Kaymama şartıyla, yağ filmi bloğun alt yüzündeki eğik yüzeye yapışır. Kayma kuvveti,



$$\begin{aligned}
F_{shear} &= \tau_w A_s \\
&= \mu A_s \frac{V}{h} \\
&= (0.012 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) (0.5 \times 0.2 \text{ m}^2) \frac{0.8 \text{ m/s}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}} \\
&= 2.4 \text{ N}
\end{aligned}$$



Sürüklenme kuvvetini (a) kısmındaki kayma kuvvetiyle yerdeğiştirerek,

$$\sum F_x = 0: \quad F_2 - F_{shear} \cos 20^\circ - F_{N2} \sin 20^\circ = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_y = 0: \quad F_{N2} \cos 20^\circ - F_{shear} \sin 20^\circ - W = 0 \quad (5)$$

Denlem (5) den, $F_{N2} = (F_{shear} \sin 20^\circ + W) / \cos 20^\circ = [(2.4 \text{ N}) \sin 20^\circ + (150 \text{ N})] / \cos 20^\circ = 160.5 \text{ N}$

Denklem (4) yerine konursa, gereken düz kuvvet,

$$F_2 = F_{shear} \cos 20^\circ + F_{N2} \sin 20^\circ = (2.4 \text{ N}) \cos 20^\circ + (160.5 \text{ N}) \sin 20^\circ = 57.2 \text{ N}$$

Bu durumda, en son sonuç,

$$\text{Gerekli kuvvetteki yüzdelik azalma} = \frac{F_1 - F_2}{F_1} \times 100\% = \frac{105.5 - 57.2}{105.5} \times 100\% = \mathbf{45.8\%}$$

NOT: eğik yüzeydeki bloğu itmek için gerekli kuvvet yüzeydeki yağın artmasıyla önemli düzeyde azalır.

2-44 Duvardaki kayma gerilmesi,

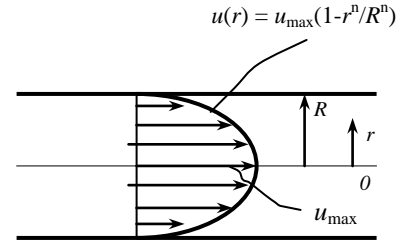
$$\tau_w = -\mu \left. \frac{du}{dr} \right|_{r=R} = -\mu u_{\max} \left. \frac{d}{dr} \left(1 - \frac{r^n}{R^n} \right) \right|_{r=R} = -\mu u_{\max} \left. \frac{-nr^{n-1}}{R^n} \right|_{r=R} = \frac{n\mu u_{\max}}{R}$$

Boru akıştaki du/dr negatiftir, ve bu yüzden borular için τ_w ilişkisine negative işaret ilave edilmiştir. Böylece kayma gerilmesi positif olur. (Yada, $du/dr = -du/dy$ çünkü $y = R - r$). Borunun iç yüzeyindeki akışkan tarafından oluşan sürüklenme kuvveti,

$$F = \tau_w A_w = \frac{n\mu u_{\max}}{R} (2\pi R) L = 2n\pi\mu u_{\max} L$$

Bu yüzden, borunun birim uzunluğundaki sürüklenme kuvveti,

$$\boxed{F/L = 2n\pi\mu u_{\max}}$$

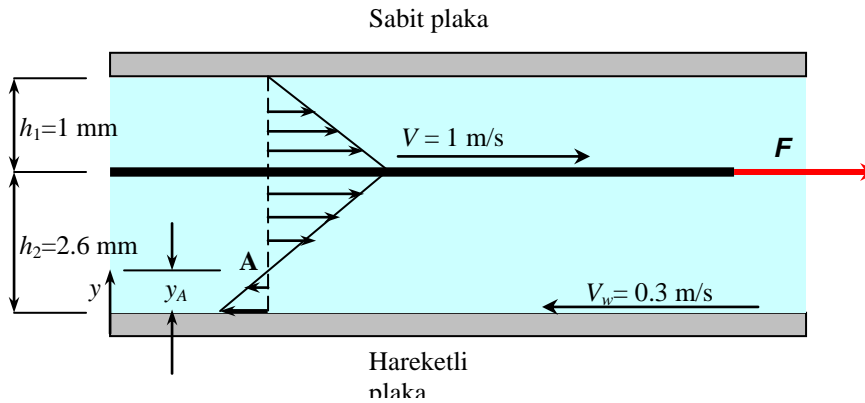


NOT: bu durumda boruya etki eden sürüklenme kuvveti boru çapından bağımsızdır.

2-45 Plakanın kalınlığı ihmal edilir ve hız profile lineerdir.

Yağın viskozitesi ; $\mu = 0.027 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 0.027 \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$.

(a) şekideki hız profinde A noktasında hız sıfırdır ve onun alt plakadan uzaklığı, $\frac{2.6 - y_A}{y_A} = \frac{1}{0.3} \rightarrow y_A = \mathbf{0.60 \text{ mm}}$



(b) plakanın alt ve üst yüzeylerine etkiyen kayma gerilmeleri,

$$F_{\text{shear, upper}} = \tau_{w, \text{upper}} A_s = \mu A_s \left| \frac{du}{dy} \right| = \mu A_s \frac{V - 0}{h_1} = (0.027 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2)(0.2 \times 0.2 \text{ m}^2) \frac{1 \text{ m/s}}{1.0 \times 10^{-3} \text{ m}} = 1.08 \text{ N}$$

$$F_{\text{shear, lower}} = \tau_{w, \text{lower}} A_s = \mu A_s \left| \frac{du}{dy} \right| = \mu A_s \frac{V - V_w}{h_2} = (0.027 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2)(0.2 \times 0.2 \text{ m}^2) \frac{[1 - (-0.3)] \text{ m/s}}{2.6 \times 10^{-3} \text{ m}} = 0.54 \text{ N}$$

Heriki kayma kuvvetleri plaka hareketinin ters yönündedirler ve F kuvveti bir kuvvet balansından belirlenir.

$$F = F_{\text{shear, upper}} + F_{\text{shear, lower}} = 1.08 + 0.54 = \mathbf{1.62 \text{ N}}$$

Duvar kayması bir katı cisim ve sıvı arasındaki bir sürüklenme kuvvetidir ve hareketin ters yönünde etki eder.

2-46 Yağın kalınlığı sabit kabulü. Yağın 20°C deki viskozitesi $\mu = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 0.1 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2$, ve 80°C de ise 0.0078 Pa·s dir. Yağ tabakasının herhangi bir yerindeki hız gradyeni, V/h burada $V = \omega r$ teğetsel hızdır. Dönme ekseninden r uzaklıkta koni yüzeyindeki herhangi bir yerde duvar kayma gerilmesi,

$$\tau_w = \mu \frac{du}{dr} = \mu \frac{V}{h} = \mu \frac{\omega r}{h}$$

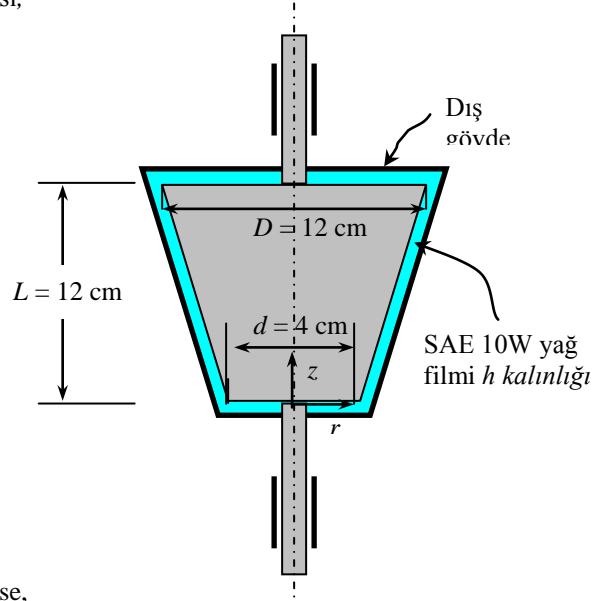
Diferensiyel alan dA etkiyen kayma kuvveti, ürettiği tork ve ilgili shaft gücü,

$$dF = \tau_w dA = \mu \frac{\omega r}{h} dA$$

$$d\Gamma = r dF = \mu \frac{\omega r^2}{h} dA$$

$$\Gamma = \frac{\mu \omega}{h} \int_A r^2 dA$$

$$\dot{W}_{\text{sh}} = \omega \Gamma = \frac{\mu \omega^2}{h} \int_A r^2 dA$$



Üst yüzey: üst yüzey için, $dA = 2\pi r dr$. Yerine konup integer edilirse,

$$\dot{W}_{\text{sh, top}} = \frac{\mu \omega^2}{h} \int_{r=0}^{D/2} r^2 (2\pi r) dr = \frac{2\pi \mu \omega^2}{h} \int_{r=0}^{D/2} r^3 dr = \frac{2\pi \mu \omega^2}{h} \frac{r^4}{4} \Big|_{r=0}^{D/2} = \frac{\pi \mu \omega^2 D^4}{32h}$$

Alt yüzey: Alt yüzey için bir bağıntı D yerine d konarak, $\dot{W}_{\text{sh, bottom}} = \frac{\pi \mu \omega^2 d^4}{32h}$

Yan yüzey: diferensiyel alan, $dA = 2\pi r dz$. Geometrik bakımdan, yarıçapın aksiyal mesafe ile değişimi, $r = \frac{d}{2} + \frac{D-d}{2L} z$.

Diferensiyel olarak, $dr = \frac{D-d}{2L} dz$ yada $dz = \frac{2L}{D-d} dr$. Bu sebeple, $dA = 2\pi r dz = \frac{4\pi L}{D-d} r dr$. Yerine konup integere edilirse,

$$\dot{W}_{\text{sh, top}} = \frac{\mu \omega^2}{h} \int_{r=0}^{D/2} r^2 \frac{4\pi L}{D-d} r dr = \frac{4\pi \mu \omega^2 L}{h(D-d)} \int_{r=d/2}^{D/2} r^3 dr = \frac{4\pi \mu \omega^2 L}{h(D-d)} \frac{r^4}{4} \Big|_{r=d/2}^{D/2} = \frac{\pi \mu \omega^2 L (D^2 - d^2)}{16h(D-d)}$$

Gerekli toplam güç,

$$\dot{W}_{\text{sh, total}} = \dot{W}_{\text{sh, top}} + \dot{W}_{\text{sh, bottom}} + \dot{W}_{\text{sh, side}} = \frac{\pi \mu \omega^2 D^4}{32h} \left[1 + (d/D)^4 + \frac{2L[1 - (d/D)^4]}{D-d} \right],$$

burada $d/D = 4/12 = 1/3$. Yerine konursa,

$$\dot{W}_{\text{sh, total}} = \frac{\pi (0.1 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2) (200 \text{ /s})^2 (0.12 \text{ m})^4}{32(0.0012 \text{ m})} \left[1 + (1/3)^4 + \frac{2(0.12 \text{ m})[1 - (1/3)^4]}{(0.12 - 0.04) \text{ m}} \right] \left(\frac{1 \text{ W}}{1 \text{ Nm/s}} \right) = \mathbf{270 \text{ W}}$$

Güç viskoziteye orantılıdır, 80°C de gerekli güç;

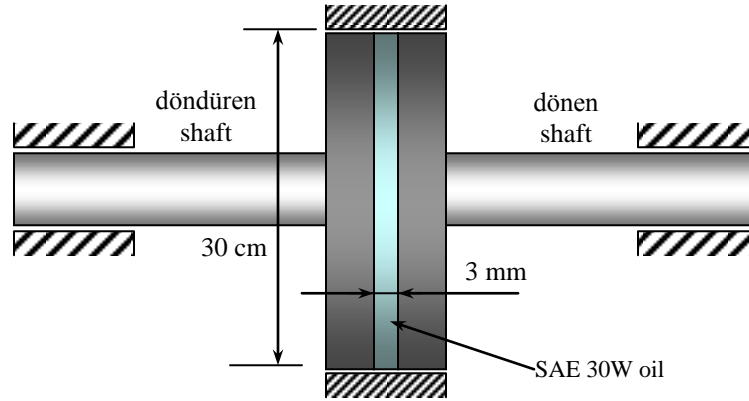
$$\dot{W}_{sh, total, 80^\circ C} = \frac{\mu_{80^\circ C}}{\mu_{20^\circ C}} \dot{W}_{sh, total, 20^\circ C} = \frac{0.0078 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2}{0.1 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2} (270 \text{ W}) = 21.1 \text{ W}$$

Bu yüzden, 80°C deki gerekli güçteki azalma (reduction), $\text{Reduction} = \dot{W}_{sh, total, 20^\circ C} - \dot{W}_{sh, total, 80^\circ C} = 270 - 21.1 = \mathbf{249 \text{ W}}$, bu 92% lik bir miktardır.

NOT viskoz bir akışkanda, kayma kuvvetini yenmek için gerekli güç büyük miktarda sıcaklığa bağlıdır.

2-47 Yağ filminin kalınlığı uniform ve diskin dönme hızı sabit.

Yağın viskozitesi, $\mu = 0.38 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$.



Diskler aynı yönde fakat farklı hızlarda ω_1 ve ω_2 . Bu yüzden, disklerden birinin durağan ve diğerinin $\omega_1 - \omega_2$ dönme hızında döndüğünü farzedelim. Hız gradyeni, V/h burada $V = (\omega_1 - \omega_2)r$ teğetsel hızdır. Bu durumda daha hızlı diskte dönme ekseninden r mesafedeki kayma gerilmesi,

$$\tau_w = \mu \frac{du}{dr} = \mu \frac{V}{h} = \mu \frac{(\omega_1 - \omega_2)r}{h}$$

Diferensiyel alan dA etkiyen kayma kuvveti ve bununla ilgili üretilen torq,

$$dF = \tau_w dA = \mu \frac{(\omega_1 - \omega_2)r}{h} (2\pi r) dr$$

$$d\Gamma = r dF = \mu \frac{(\omega_1 - \omega_2)r^2}{h} (2\pi) dr = \frac{2\pi\mu(\omega_1 - \omega_2)}{h} r^3 dr$$

Integre edilirse,

$$\Gamma = \frac{2\pi\mu(\omega_1 - \omega_2)}{h} \int_{r=0}^{D/2} r^3 dr = \frac{2\pi\mu(\omega_1 - \omega_2)}{h} \frac{r^4}{4} \Big|_{r=0}^{D/2} = \frac{\pi\mu(\omega_1 - \omega_2)D^4}{32h}$$

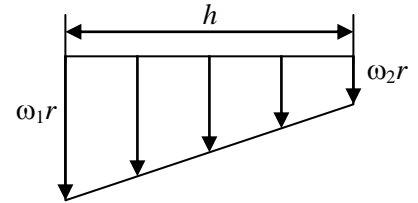
Burada $\omega = 2\pi \dot{n}$, izafi açısal hız;

$$\omega_1 - \omega_2 = 2\pi(\dot{n}_1 - \dot{n}_2) = (2\pi \text{ rad/rev}) \left[(1450 - 1398) \text{ rev/min} \right] \left(\frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) = 5.445 \text{ rad/s},$$

Yerine konursa, iletilen torq,

$$\Gamma = \frac{\pi(0.38 \text{ N}\cdot\text{s/m}^2)(5.445 \text{ rad/s})(0.30 \text{ m})^4}{32(0.003 \text{ m})} = \mathbf{0.55 \text{ N}\cdot\text{m}}$$

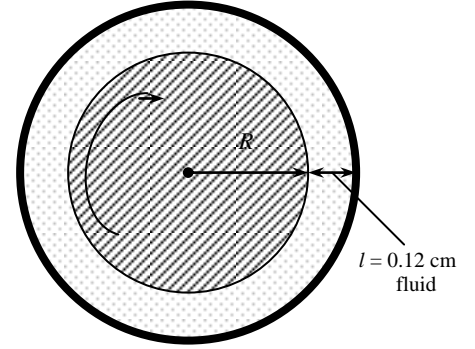
NOT iletilen torq disk çapının dördüncü üssüyle orantılıdır, ve yağ filmi kalınlığıyla ters orantılıdır.



2-51 İç silindir tamamen yağ içindedir. İç silindirin iki ucundaki viskoz etkiler ihmal edilir.

Verilen değerler yerine konursa,

$$\mu = \frac{T\ell}{4\pi^2 R^3 \dot{n}L} = \frac{(0.8 \text{ N} \cdot \text{m})(0.0012 \text{ m})}{4\pi^2 (0.075 \text{ m})^3 (200/60 \text{ s}^{-1})(0.75 \text{ m})} = \mathbf{0.0231 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2}$$



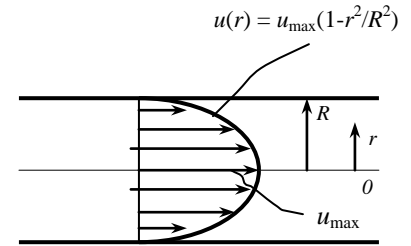
NOT Bu deney esnasında varolan viskozitedir. Viskozite sıcaklığın bir fonksiyonudur

2-53 Boru içindeki akış bir boyutludur. Suyun 20°C deki viskozitesi 0.0010 kg/m·s.

Hız profili, $u(r) = u_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$

Burada R borunun yarıçapı, r ise merkezden olan uzaklık ve u_{\max} ise $r=0$ daki maximum hız. Boru yüzeyindeki kayma gerilmesi,

$$\tau_w = -\mu \frac{du}{dr} \Big|_{r=R} = -\mu u_{\max} \frac{d}{dr} \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \Big|_{r=R} = -\mu u_{\max} \frac{-2r}{R^2} \Big|_{r=R} = \frac{2\mu u_{\max}}{R}$$



Boru akışında du/dr terimi negatiftir, ve negative işaret τ_w bağıntısına konmuştur böylece kayma gerilmesi pozitif olur. (Yada, $du/dr = -du/dy$ çünkü $y = R - r$). Borunun iç yüzeyindeki akışkan tarafından etkilenen sürüklenme kuvveti,

$$F_D = \tau_w A_s = \frac{2\mu u_{\max}}{R} (2\pi RL) = 4\pi\mu L u_{\max}$$

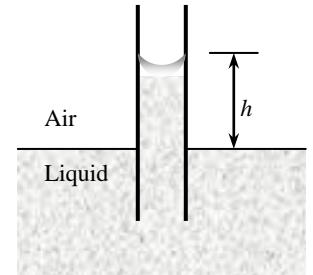
Yerine konursa, $F_D = 4\pi\mu L u_{\max} = 4\pi(0.0010 \text{ kg/m} \cdot \text{s})(15 \text{ m})(3 \text{ m/s}) \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}\right) = \mathbf{0.565 \text{ N}}$

NOT Giriş kısmı ve turbulent kısmında, hız gradyeni duvara yakın daha fazladır, ve bu yüzden sürüklenme kuvveti daha büyüktür.

Yüzey gerilimi ve kılcallık

2-61 sıvının yoğunluğu 960 kg/m³. Temas açısı 15°.

Sayısal değerler yerine konursa,



$$\sigma_s = \frac{\rho g R h}{2 \cos \phi} = \frac{(960 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(0.0019/2 \text{ m})(0.005 \text{ m})}{2(\cos 15^\circ)} \left(\frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}\right) = \mathbf{0.0232 \text{ N/m}}$$

NOT yüzey gerilimi sıcaklığa bağlıdır