

MAKİNE ELEMANLARI - (10.Hafta)

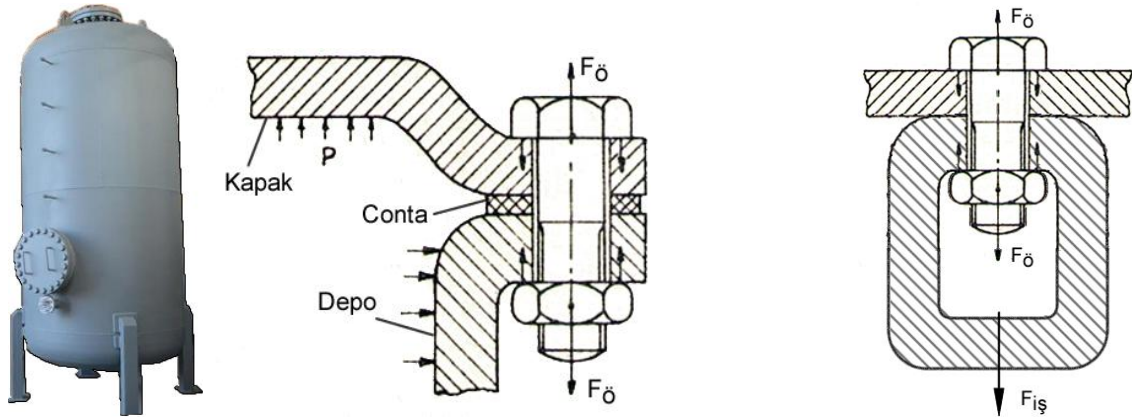
VİDALAR-3

DİNAMİK YÜKLER ALTINDA VİDALARIN HESABI

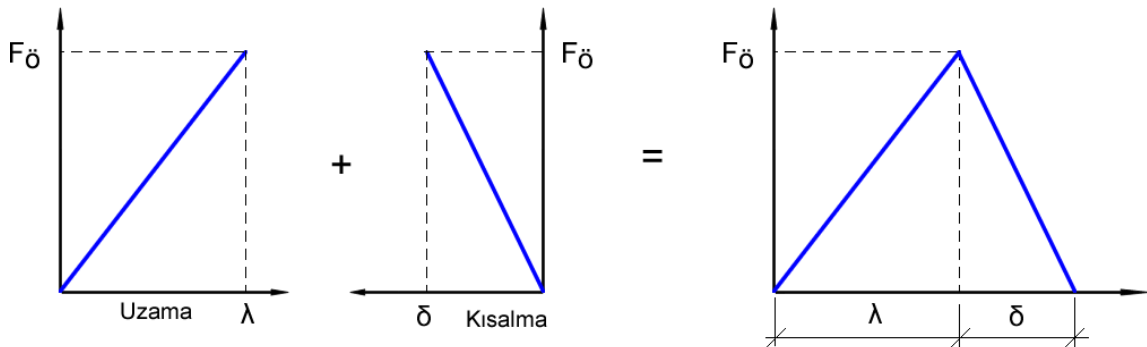
Şekildeki gibi içerisine basınçlı bir akışkanın konulacağı bir depo/kazan kapağını, araya conta koyarak civata bağlantısı ile sızdırmaz olacak şekilde kapatalım. Somunun boşluğunu aldıktan sonra anahtarla sıkarken civatanın şaftı F_{δ} (ön yükleme) yükü ile aksel olarak ve dişlerde oluşan sürtünme etkisi ile M_s (sürtünme momenti) momenti ile burulmaya zorlanacaktır. Somunu yeterince sıktıktan sonra anahtarı çektiğimizde artık Civata şaftı sadece aksel F_{δ} yükü ile zorlanır. Eğer deponun içerisine basınçlı akışkanı doldurmaya başlarsak kapak üzerinde oluşan basınç civatayı aksel olarak daha zorlar (uzatmaya çalışır). Sonradan eklenen dışarıdaki işletme koşullarından gelen bu yükleme $F_{i\delta}$ (işletme yükü) diyeceğiz.

Ön Yükleme Üçgeni

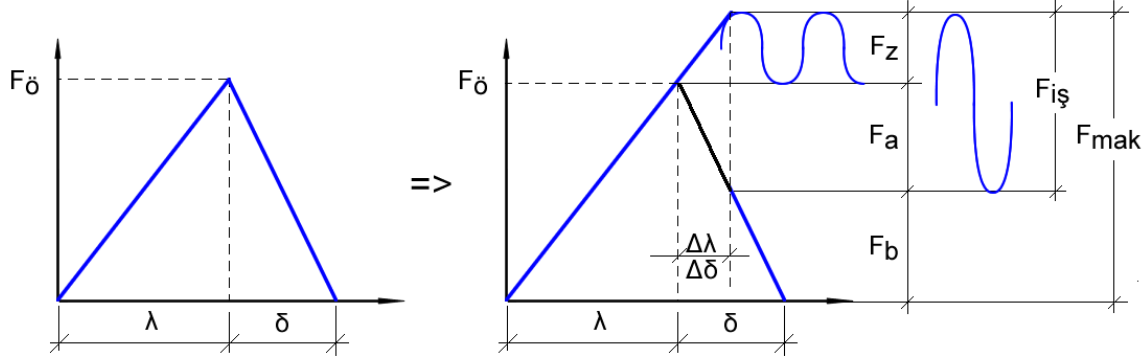
İlk bakışta, civata önceden F_{δ} yükü ile yüklenirken birde $F_{i\delta}$ yükü civata şaftına eklenilmiş gibi düşünülebilir. Yani civataya gelen son yük durumu ($F_{\delta} + F_{i\delta}$) olacakmış gibi algılanabilir. Fakat olay gerçekte bu şekilde olmamaktadır. Civata sadece F_{δ} yükü ile yüklendiğinde, civata depo kapağının flanşlarını sıkıştırır ve onları ezmeye çalışır. Flanşa ait plakalar ise sıkıştığı için somun ve civata başına ters yönde F_{δ} yükü büyüklüğünce baskı uygular ve civata şaftını zorlar onu uzatmaya çalışır. İşletme yükü yokken durum bu şekildedir. Fakat dışarıdan $F_{i\delta}$ yükü eklendiğinde Civata şaftı biraz daha zorlanıp uzamaya devam edecektir fakat şaftın uzaması plakaların üzerindeki baskıyı kaldırmaya başlayacaktır. Bunun sonucu plakaların daha önceden civataya uyguladığı F_{δ} yükü azalmaya başlayacaktır. Bu durumda civataya gelen aksel yükün son durumu tam olarak kestirilemez. Yeni durumda Civataya gelen yük F_{δ} yükünden fazla faakat $F_{\delta} + F_{i\delta}$ toplamından düşük olacaktır. İşletmelerde benzer çok sayıda örnekle karşılaşılabılır. Bir şaseye civata ile bağlanmış bir kancada da durum aynı şekildedir.



Bu kuvvetler arasındaki ilişki deformasyon üçgenleri (ön yükleme üçgenleri) yardımı ile açıklanabilir. Sıkma işlemi sonunda bağlantıya verilen F_{δ} kuvveti civatanın boyunu λ (lamda) kadar uzatırken civata başı ve somun arasında sıkışan parçalar (bağlanan elemanlar ve conta) δ (delta) kadar kısalmış olurlar. Elastik sınırlar içinde kaldıkça uzama ve kısaltmalar kuvvet ile doğrusal orantılı olacaktır. Civatayı uzatan F_{δ} yükü ile λ boy uzaması arasındaki diyağram çizilebilir. Aynı şekilde plakaları ezen F_{δ} yükü ile δ daralması arasında da diyağram çizilebilir. Her iki şekilde değişimi aynı F_{δ} kuvveti tarafından oluşturulduğuna göre bu iki diyağram bir araya getirilirse ön yükleme üçgeni elde edilir.



Ön yükleme kuvveti yüklenmiş bir civataların üzerine işletme yükü eklenirse civataları uzamaya zorlayan kuvvet biraz daha büyüyecektir. Buna karşılık bağlanan parçalar üzerindeki baskı kuvveti azalacaktır. Bunun sonucu civatalar $\Delta\lambda$ kadar daha fazladan uzayacak ve toplam uzaması $\lambda + \Delta\lambda$ olacaktır. Civataların $\Delta\lambda$ kadar daha uzaması plakaların $\Delta\delta$ kadar rahatlamasını (gevşemesine) yol açacaktır. Yani $\Delta\lambda = \Delta\delta$ olur. Civata üzerinde $\Delta\lambda$ kadar daha uzama $F_{i\delta}$ yükü sebebiyle olmuş olur. Aynı zamanda plakalar üzerinde bulunan F_0 yükü $\Delta\delta$ kadar rahatlatma nedeniyle azalmış olur. Bu olayı grafikte üzerinde gösterelim.



F_0 yükü ile yüklenmiş civatanın üzerine işletme yükü eklenince F_z kadar daha kuvvet eklenmiş olmaktadır. Eğer işletme yükü tekrar ortadan kalkarsa Civata üzerindeki yük tekrar eski halini alacaktır yani F_0 durumuna düşecektir. Gerçekte işletme yükü F_z den çok daha büyük bir yüküdür. Fakat bu yükün bir kısmı plakaların rahatlamasına harcanırken (F_a kadar) bir kısımda civatayı F_z kadar daha zorlamaktadır. İşletme yükü varken plakalar F_a kadar rahatlasa da üzerinde F_b kadar daha kuvvet kalmaktadır. Bu kuvvet aslında conta üzerinde hala baskı yapmakta olan kuvvettir. Dolayısı ile sızdırmazlığı sağlayacak kadar da F_b nin kalması önemli olmaktadır. Aynı zamanda F_b sifira düşerse bağlantı gevşeyecektir.

Fz Dinamik Yükün Hesaplanması

İşletme yükü ($F_{i\delta}$) değişen bir yük olarak kabul edilir. Makina bir gün çalıştırılır diğer gün çalıştırılmayabilir. Farklı zamanlarda farklı koşullarda çalıştırılabilir. Dolayısı ile bu yükün eklenmesi kaldırılması sonucu civata üzerinde dinamik etki olarak sadece F_z kadar etki edecektir (her ne kadar $F_{i\delta}$ daha büyük olsa da). Böylece civata üzerinde dinamik yük etkisi F_z kadar, gelen en büyük yük ise F_{mak} kadar olmaktadır. Bu iki kuvvet civata için tehlike oluşturan kuvvetlerdir. F_{mak} kuvveti statik gibi düşünürsek civatayı koparmaya çalışan en büyük kuvvet, F_z ise civatanın uzun yıllar yorulmadan dayanabileceği ömrünü belirleyen dinamik yüküdür. Grafikten F_z ve F_{mak} kuvvetlerinin formüllerini yazalım.

$$F_{mak} = F_0 + F_z$$

$$F_z = F_{i\delta} + F_a$$

Burada F_{mak} bulabilmek için F_z yi bilmeliyiz. F_0 zaten hesaplayabiliyoruz. F_z yi bulabilmek için ise F_a yı bilmeliyiz. $F_{i\delta}$ işletme koşullarından zaten biliyor olmamız gerekir. Bu değerleri bulabilmek için F_z ve F_a yı farklı bir bakış açısı ile formülize etmeye çalışalım. Civatayı $\Delta\lambda$ kadar daha uzatan kuvvet F_z dir. Aynı şekilde plakaların da $\Delta\delta$ kadar gevşemesine sonucu F_a kadar bir kuvvet plakaların üzerinden kalkmış olur. Elastik bölge sınırı içinde ise hem civata hem de plakalar bir yay gibi davranış gösterir. Yani yaya ne kadar kuvvet uygularsak boyu da o kadar uzayacaktır. Fizik derslerinden bildiğimiz yaya uygulanan kuvvet ile onun uzaması arasında $F=k.x$ şeklinde bir bağıntı vardır. Burada k yayın, yaylanma katsayısıdır. Benzer şekilde C_1 civatanın yaylanma katsayısı, C_2 plakaların yaylanma katsayısı olarak yazarsak F_z ve F_a kuvvetlerini bu şekilde yazabiliriz.

$$F_z = C_1 \cdot \Delta\lambda$$

$$F_a = C_2 \cdot \Delta\delta$$

$\Delta\lambda = \Delta\delta$ uzama ve genişleme miktarları eşit olduğuna göre bu kuvvet aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Delta\lambda = \frac{F_z}{C_1} = \Delta\delta = \frac{F_a}{C_2}$$

$$\frac{F_z}{C_1} = \frac{F_a}{C_2}$$

Bu formülden F_a kuvveti çekilip yukarıdaki F_z nin olduğu formülde yerine yazarsak F_z formülü şu şekli olacaktır.

$$F_a = \frac{F_z \cdot C_2}{C_1}$$

$$F_z = F_{i\delta} - F_a \Rightarrow F_z = F_{i\delta} - \frac{F_z \cdot C_2}{C_1}$$

Buradan F_z çekilirse

$$F_z + \frac{F_z \cdot C_2}{C_1} = F_{i\delta}$$

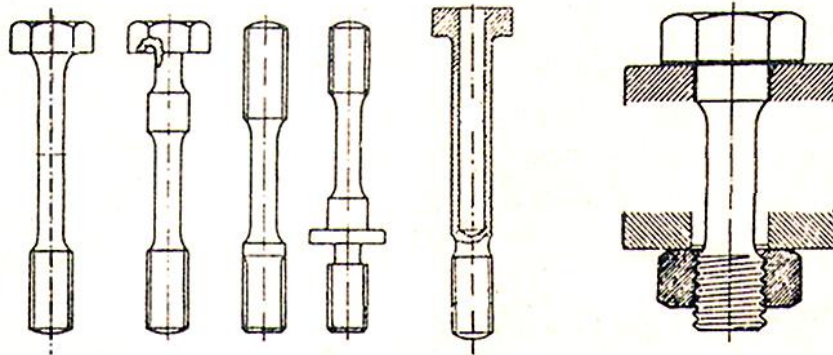
$$F_z \left(1 + \frac{C_2}{C_1}\right) = F_{i\delta}$$

$$F_z \left(\frac{C_1 + C_2}{C_1}\right) = F_{i\delta}$$

$$F_z = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2}\right) F_{i\delta}$$

Bulunur. Bu formülde $F_{i\delta}$ zaten biliniyor. C_1 civatanın yaylanma katsayısı ve C_2 plakaların yaylanma katsayıları için sonuçta kullanılan malzemeleri biliyorsak bu değerleri bilmemiz gerekir yada malzemelerin bildiğimiz bazı diğer özelliklerinden hesaplayabiliriz.

Bu formülden anlaşıldığına göre F_z yükünü düşük tutmak için (dinamik yükün etkisini azaltmak için) C_1 katsayısını yada C_1/C_2 oranını mümkün olduğunca düşük tutmak gerekir. Civatanın C_1 yaylanma katsayısını düşürmek için ise gövdesini incelterek yada civata boyunu artırmak ile mümkün olacaktır. Civatanın boyu düşürülemeyeceğine göre çapı düşürmek fayda sağlayacaktır. Bu amaçla civata çapı $0,7d$ oranına düşürülerek (vida kısmının çapı değişmez) elastikiyet sağlanmış olur. Aşağıda bu amaçla yapılmış bazı civata tasarımları vardır.



C_1 ve C_2 Yaylanma Katsayılarının Hesaplanması

a) Civatanın Yaylanma Katsayısı (C_1)

Önce civatanın C_1 yaylanma katsayısını bulalım. Mukavemet derslerinden hatırlayacağımız gibi bir F yükü altındaki cisim elastik olarak aşağıdaki formüle göre uzamaya maruz kalır. Yani bir metalin uzaması üzerindeki kuvvet ve başlangıç boyu ile doğru orantılıdır, kesit alanı ve elastisite modülü ile ters orantılıdır. Buna göre civatanın boyca uzaması aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$\lambda = \frac{F_0 \cdot l_1}{A \cdot E_1}$$

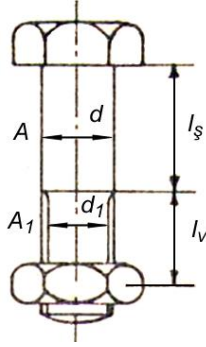
Burada F_0 civatayı uzatan ön yükleme kuvveti, l_1 civatanın başlangıç boyu, A civatanın kesiti (diş dibi yada diş üstü henüz belli değil, aşağıda açıklanacak), E_1 civatanın elastisite modülüdür. F_0 yükü civatayı yay gibi λ kadar uzatacağına yaylanma katsayısı ile ilgili formülü yazıp, yukarıdaki formülde F_0 yükü yerine yazılırsa civatanın yaylanma katsayısı bulunur.

$$F_0 = C_1 \cdot \lambda$$

$$\lambda = \frac{(C_1 \cdot \lambda) \cdot l_1}{A \cdot E_1}$$

$$C_1 = \frac{A \cdot E_1}{l_1}$$

Bulunur. Görüldüğü gibi bir civatanın yaylanma katsayısı onun kesiti ve elastisite modülü ile doğru orantılı, boyu ile ters orantılıdır. Dolayısı ile civatanın kesiti arttıkça ve malzeme özelliği sertleştikçe veya dayanıklı hale geldikçe (elastisite modülü yüksek malzeme, aynı uzama için daha yüksek kuvvet gerektirir. çeliğin E= 205 GPa, Al ise E=70 GP dır) yaylanma katsayısı artmakta fakat boyu uzadıkça yaylanma katsayısı düşmektedir. Buna göre civata üzerinde dış olan kısım ile dışın olmadığı kısmın hem kesiti farklıdır hemde boyu farklıdır. Dolayısı ile buradaki C₁ katsayısı hangi bölgeyi temsil etmektedir belli değildir. Bu nedenle civatanın C₁ katsayısını bulurken vida ve şaft kısmı ayrı ayrı hesaplayalım ve oradan C₁ katsayısını hesaplamaya geçelim.



Vida kısmının yaylanma katsayısı

$$C_v = \frac{A_1 \cdot E_1}{l_v}$$

Şaft kısmının yaylanma katsayısı

$$C_s = \frac{A \cdot E_1}{l_s}$$

Civatanın toplam boydaki uzaması, şaft ve vida kısmının uzamalarının toplamına eşittir.

$$\lambda = \lambda_v + \lambda_s$$

λ değerleri yerine yukarıdaki formül yazılırsa

$$\frac{F_0 \cdot l_1}{A \cdot E_1} = \frac{F_0 \cdot l_v}{A_1 \cdot E_1} + \frac{F_0 \cdot l_s}{A \cdot E_1}$$

Aşağıdaki formüllerden l (boy) değerleri çekilip yukarıdaki formülde yerlerine yazılırsa,

$$C_1 = \frac{A \cdot E_1}{l_1} \quad C_v = \frac{A_1 \cdot E_1}{l_v} \quad C_s = \frac{A \cdot E_1}{l_s}$$

$$\frac{F_0 \cdot l_1}{A \cdot E_1} \left(\frac{A \cdot E_1}{C_1} \right) = \frac{F_0 \cdot l_v}{A_v \cdot E_1} \left(\frac{A_1 \cdot E_1}{C_v} \right) + \frac{F_0 \cdot l_s}{A \cdot E_1} \left(\frac{A \cdot E_1}{C_s} \right)$$

Buradan çoğu değer birbirini götürür ve aşağıdaki formül çıkar.

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_v} + \frac{1}{C_s}$$

C₁ çekilirse böylece içinde vida ve şaft kısmının yaylanma katsayısında olduğu daha doğru yaylanma katsayısı bulunmuş olur.

$$C_1 = \frac{C_v C_s}{C_v + C_s}$$

Buradaki C_v ve C_s formülleri aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$C_v = \frac{A_1 \cdot E_1}{l_v} \quad C_s = \frac{A \cdot E_1}{l_s}$$

b) Birleştirilen Malzemelerin Yaylanma Katsayısı (C₂)

Civatanın başı ve somun arasında sıkılan parçaların şekil değişimini hesaplamak güçtür. Yapılan deneyler civata başları arasında sıkılan parçalar somun altından itibaren 45 açı yapan konik bir bölgede ezildiğini göstermiştir. Ancak bu şekliyle ezilen bu konik bölgenin yaylanma katsayısını hesaplamak güçtür. Onun yerine yaylanma katsayısı açısından eşdeğer olarak kabul edilen hayali bir silindirin yaylanma katsayısı hesaplanır. Bu silindirin içinden civata deliği geçer ve çapı d dir. Hayali silindirin dış çapı ise aşağıdaki formülle bulunur.

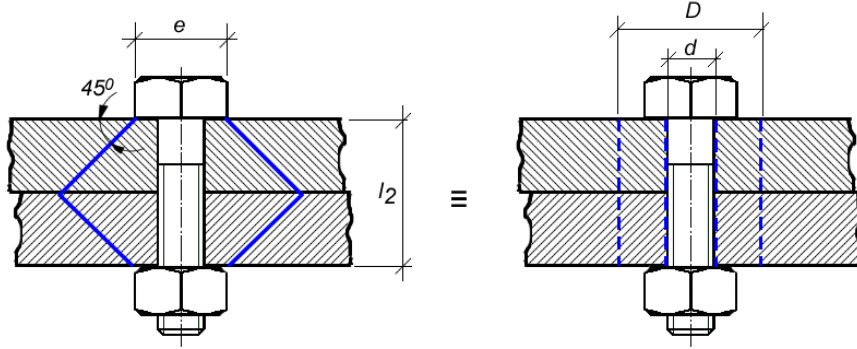
$$D = e + k \left(\frac{l^2}{2} \right)$$

Bu formülde e somun anahtar ağzının genişliğidir. l_2 sıkışan parçaların kalınlığıdır. k malzemeye bağlı bir katsayı olup çelikler için $k=0,2$ ve dökme demirler için $k=0,25$ alınır. Silindirin kesit alanı ise dıştaki daireden alanından içteki dairenin alanı çıkarılarak bulunur.

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$$

Civata gövdesinin yaylanma katsayısına benzer şekilde, civata başları altında ezildiği kabul edilen bu hayali silindirin yaylanma katsayısı da aşağıdaki şekilde yazılabilir. Deneysel yollarla sıkışan parçaların yaylanma katsayısı daha hassas hesaplanabilir.

$$C_2 = \frac{A_2 \cdot E_2}{l_2}$$



Gerilmelerin Belirlenmesi

Yukarıdaki formüllerden civata için tehlikeli olan F_{mak} ve F_z kuvvetlerini aşağıdaki şekilde bulduk.

$$F_{mak} = F_0 + F_z$$

$$F_z = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) F_{i\dot{s}}$$

İşletme kuvveti etki ettikten sonra civatayı zorlayan en büyük kuvvet F_{mak} olmaktadır. Bu kuvvet dış dibi tarafından karşılandığına göre meydana gelen gerilme şu şekilde olacaktır.

$$\sigma_{mak} = \frac{F_{mak}}{A_1} \leq \sigma_{em}$$

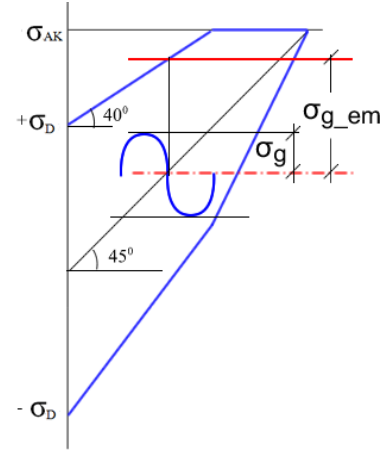
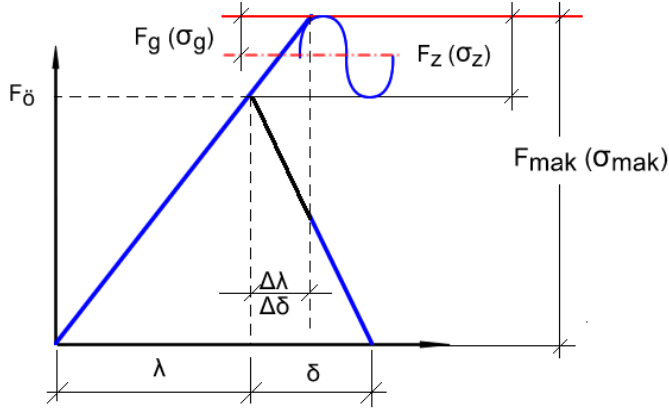
Civatanın emniyet gerilmesi ise aşağıdaki formüle hesaplanır. Civata dinamik yüklemeye maruz kaldığı için ve buna $F_{i\dot{s}}$ sebep olduğu için emniyet gerilmesi içinde bunun etkisi hesaba katılmıştır.

$$\sigma_{em} = 0,6 \cdot \sigma_A \frac{F_{i\dot{s}}}{F_{mak}}$$

Sadece F_{mak} yüküne göre civatanın kontrol edilmesi statik bir yük kontrolü olur. Oysa F_z civata üzerinde dinamik olarak etki etmektedir. Dinamik yüklerde zaman içinde malzemenin yorulmasına neden olur ve ömrünü kısaltır. Bu açıdan dinamik yüklerin olduğu yerlerde malzemeler sürekli mukavemete göre kontrol edilmelidir. Bu amaçla sürekli mukavemet diyagramları kullanılır.

Sürekli mukavemet diyagramını kullanabilmek için diyagramın çiziminde kullanılan ve malzemenin laboratuvar şartlarında ortalama gerilme sıfırken sadece gerilme genliği varken sürekli mukavemeti sağlayan Tam değişken gerilme genliğinin (σ_D) bilinmesi gerekir. Diyagramı kullanabilmek için parçada oluşan dinamik gerilme genliğinin (σ_g) bilinmesi gerekir. Bu değer F_z nin oluşturduğu (σ_z) nin yarısı olur. Diyagramda (σ_g) nin çıkabileceği en büyük değer üstteki 40° açılı çizgiye değdiği noktadır. Buranın gerilme karşılığı yaklaşık olarak $0,7 \sigma_D$ alınır. Buda sürekli mukavemet için emniyetli gerilme genliği olur (σ_{g-em}).

$$\sigma_g = \frac{F_g}{A_1} = \frac{F_z/2}{A_1} \leq \sigma_{g-em} \cong 0,7 \cdot \sigma_D$$



Örnek

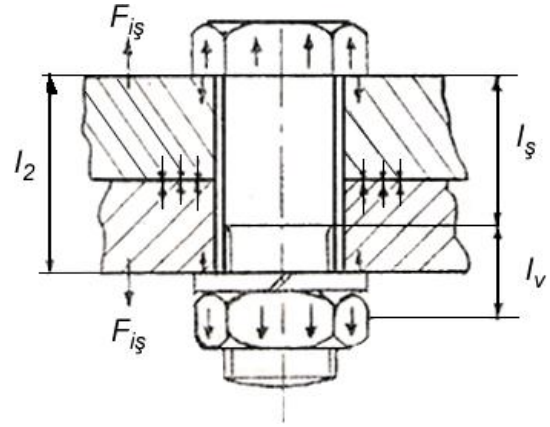
Şekildeki bağlantıda civataya $0 \div 9500$ N arasında değişen bir işletme yükü etki etmektedir. Bağlantıya 23750 N luk bir ön yüklemeye verilmiştir. Diğer verilenler şu şekildedir.

Civata:

- Malzemesi= M22 , 8.8 kalitesindedir.
- $d_1 = 18.75$ mm
- $h = 2.5$ mm
- $e = 32$ mm (anahtar ağız genişliği)
- $E_1 = 21 \cdot 10^4$ N/mm²
- $l_v = 25$ mm
- $l_{\text{iş}} = 45$ mm
- $\sigma_{AK} = 640$ N/mm²
- $\mu = 0,1$
- $\sigma_D = 44$ N/mm² (Tam değişken Sür. Muk. Değeri)

Bağlanan Parçalar:

- Malzemesi= Dökme demir
- $E_2 = 9,8 \cdot 10^4$ N/mm²
- Delik çapı= 23 mm
- $l_2 = 65$ mm



İstenenler:

- a) Gereken ön yüklemeyi sağlamak için somuna uygulanacak moment ne olmalıdır?
- b) İşletme kuvveti etkidiği zaman civatanın dış dibine en büyük gerilme oluşur? 8.8 kalite civata bu zorlanma için yeterli midir?. Gerilme genliği emniyet sınırları içinde midir?
- c) En büyük işletme kuvveti etkidiği zaman sıkılan parçaların değme yüzeyinde kalan ön yüklemeye ne kadardır?

Çözüm:

- a) Somun sıkılırken anahtar ile uygulanan moment hem dişlerde oluşan sürtünme momentine hemde somun altının parçaya değmesi sonucu oluşan sürtünme momentine harcanır. Bunun formülü daha önceki derste şu şekilde bulunmuştur.

$$M_{\text{anahtar}} = M_{\text{vida}} + M_{\text{somunaltı}} = F_{\text{ö}} \cdot r_2 \cdot \tan(\alpha + \gamma') + F_{\text{ö}} \cdot R_m \cdot \mu$$

$$M_{\text{anahtar}} = F_{\text{ö}} [r_2 \cdot \tan(\alpha + \gamma') + R_m \cdot \mu]$$

Buradaki bilinmeyenler hesaplayalım;

$$\text{Dişlerin ortalama yarıçapı: } r_2 = \frac{\frac{d}{2} + \frac{d_1}{2}}{2} = \frac{22 + 18,75}{2} = 10,19 \text{ mm}$$

Somun altı sürtünme momentini oluşturan ortalama yarıçap R_m (analitik ortalaması değildir) aşağıdaki formülle hesaplanıyordu. $R_{\text{iç}}$ yarıçap somunun oturduğu delik yarıçapı olur. $R_{\text{dış}}$ yarıçap ise somunun başının parçaya değdiği en büyük çap olan anahtar ağızının yarıçapı olur.

$$R_m = \sqrt{\frac{R_{iç}^2 + R_{dis}^2}{2}} = \sqrt{\frac{(\frac{23}{2})^2 + (\frac{32}{2})^2}{2}} = 13,93 \text{ mm}$$

α açısı vidanın eğim açısıdır. Vidanın ortalama yarıçapı üzerinden geçen eksene göre hesaplanır. Buna göre;

$$\tan \alpha = \frac{h}{\pi d_2} = \frac{2,5 \text{ mm}}{\pi \cdot 20,375 \text{ mm}} = 0,039 \rightarrow \alpha = 2,236^\circ$$

Sürtünme değeri açılı duran vidalarda direk kullanılmaz. Vida dişlerinin eğiminden dolayı artırılmış değeri olan μ' değeri ve onun karşılığı olan açı değeri γ' formüllerde kullanılır. Metrik vidanın tepe açısı $\beta=60^\circ$ dir. Somun altında sürtünme katsayısı gerçek değeri olan μ kullanılır.

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \beta/2} = \frac{0,1}{\cos 30} = 0,11547$$

Sürtünme değerinin yerine kullanılan açı değeri ise (gerçekte böyle bir açı yoktur, sadece formüller basitleşmesi için sürtünme yerine kullanılır);

$$\tan \gamma' = 0,11547 \rightarrow \gamma' = 6,587^\circ$$

Bu değerler yerine yazılırsa;

$$M_{anahtar} = F_0 [r_2 \cdot \tan(\alpha + \gamma') + R_m \cdot \mu]$$

$$M_{anahtar} = 23750 [10,19 \cdot \tan(2,236 + 6,587) + 13,93 \cdot 0,1]$$

$$M_{anahtar} = 70 \text{ 648 Nmm}$$

b) İşletme kuvveti etkimiye başladığı zaman civataya gelen en büyük kuvvet F_{mak} olur. Şimdi bu kuvveti bulmak için gerekli förmülleri sırasıyla yazalım..

Civataya gelen en büyük kuvvet ile dinamik etkiyi oluşturan kuvvetler için förmüller: $F_{mak} = F_0 + F_z$, $F_z = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) F_{iç}$

Civata ve bağlanan parçaların yaylanma katsayısı: $C_1 = \frac{C_v C_s}{C_v + C_s}$, $C_2 = \frac{A_2 E_2}{l_2}$

Civatanın vida ve shaft kısmının yaylanma katsayısı: $C_v = \frac{A_1 E_1}{l_v}$, $C_s = \frac{A E_1}{l_s}$

Bu formüller üzerinden tersten giderek F_{mak} bulmaya çalışalım. Önce civatanın yaylanma katsayısını (C_1) bulalım.

$$C_v = \frac{A_1 \cdot E_1}{l_v} = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot E_1 = \frac{\pi \cdot 18,75^2}{4} \cdot 21 \cdot 10^4 = 23,193 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$$

$$C_s = \frac{A \cdot E_1}{l_s} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot E_1 = \frac{\pi \cdot 22^2}{4} \cdot 21 \cdot 10^4 = 17,74 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$$

$$C_1 = \frac{C_v C_s}{C_v + C_s} = \frac{23,193 \cdot 10^5 \cdot 17,74 \cdot 10^5}{23,193 \cdot 10^5 + 17,74 \cdot 10^5} = 10,051 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$$

Bağlanan parçaların yaylanma katsayısını bulalım (C_2).

$$D = e + k \left(\frac{l_2}{2} \right) = 32 + 0,25 \left(\frac{65}{2} \right) = 40,125 \text{ mm}$$

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (40,125^2 - 23^2) = 849 \text{ mm}^2$$

$$C_2 = \frac{A_2 \cdot E_2}{l_2} = \frac{849 \cdot 9,8 \cdot 10^4}{65} = 12,8 \cdot 10^5$$

F_z ve F_{mak} kuvvetlerini bulalım.

$$F_z = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) F_{iç} = \left(\frac{10,051 \cdot 10^5}{10,051 \cdot 10^5 + 12,8 \cdot 10^5} \right) 9500 = 4178,57 \text{ N}$$

$$F_{mak} = F_{\delta} + F_z = 23750 + 4178,57 = 27928,57 \text{ N}$$

Maksimum gerilmeyi bulup emniyet gerilmesinden düşük olup olmadığını ve gerilme genliğini bulup sürekli mukavemet açısından güvenli olup olmadığını bulalım.

$$\sigma_{mak} = \frac{F_{mak}}{A_1} = \frac{27928,57}{\frac{\pi \cdot 18,75^2}{4}} = 101,15 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{em} = 0,6 \cdot \sigma_A \frac{F_{i\delta}}{F_{mak}}$$

Emniyet gerilmesi içinde σ_A akma gerilmesi vardır. Bu değer soruda verilmemiştir. Fakat bunun yerine civatanın malzeme özelliklerini gösteren civata kalite değeri verilmiştir. Buradan akma gerilmesini bulabiliriz. 8.8 kalite civatanın akma gerilmesi $8 \cdot 8 = 64$ bunun 10 katı akma gerilmesidir. Yani 640 N/mm^2 civatanın akma gerilmesi olmuş olur. Buna göre civatanın emniyet gerilmesi;

$$\sigma_{em} = 0,6 \cdot \sigma_A \frac{F_{i\delta}}{F_{mak}} = 0,6 \cdot 640 \cdot \frac{9550}{27928,57} = 131,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{mak} \leq \sigma_{em} \rightarrow 101,15 \leq 131,3$$

Olduğu için civata kopmaya karşı emniyetlidir. Fakat bu emniyet civatanın sürekli mukavemet açısından emniyetli olup olmadığını vermez. Çünkü civata dinamik yüke maruzdur. Bu nedenle sürekli mukavemet açısından da kontrol etmeliyiz. Sürekli mukavemet kontrolü için oluşan gerilme genliğini sürekli mukavemet diyagramları üzerinde kontrol etmek gerekir fakat yaklaşık olarak aşağıdaki hesaplama bunu sağlayabilir.

$$\sigma_g = \frac{F_g}{A_1} = \frac{F_z/2}{A_1} \leq \sigma_{g-em} \cong 0,7 \cdot \sigma_D$$

$$\sigma_g = \frac{F_z}{2 \cdot A_1} = \frac{4178,57}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 18,75^2}{4}} = 7,566 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \leq 0,7 \cdot 44 = 30,8$$

Civata $\sigma_g \leq \sigma_{g-em}$ olduğundan dinamik gerilme için sürekli mukavemet açısından da güvenli demektir.

- c) İşletme kuvveti en büyük değere ulaştığında sıkılan parçaların üzerinde kuvvet kalıp kalmadığını bulalım. Ön yükleme üçgenini incelersek F_z dinamik kuvveti civatayı zorlarken sıkıştırılan plakaların üzerinden F_a kadar kuvvet kalkar ve kalan kuvvet F_b olur. Buna göre F_b yi veren formül;

$$F_b = F_{mak} - F_{i\delta}$$

$$F_b = 27928,57 - 9500 = 18428,57 \text{ N}$$

Newton'luk kuvvet birleştirilen plakaların üzerinde durmaktadır. Aynı sonucu $F_b = F_{\delta} - F_a$ formülünü kullanarak bulabiliriz fakat bu sefer f_a bulmak gerekir.

