



TÜRKİYE TAŞKÖMÜRÜ KURUMU GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

APK DAİRE BAŞKANLIĞI
“Sürdürülebilir Bilgi Paylaşımı: I”

MOLET MİLİNİN MUKAVEMET KONTROLÜ

Tuncer ÖZKAN - Kadir ÇELİK

AĞUSTOS 2006

T.T.K KOZLU MÜESSESESİ



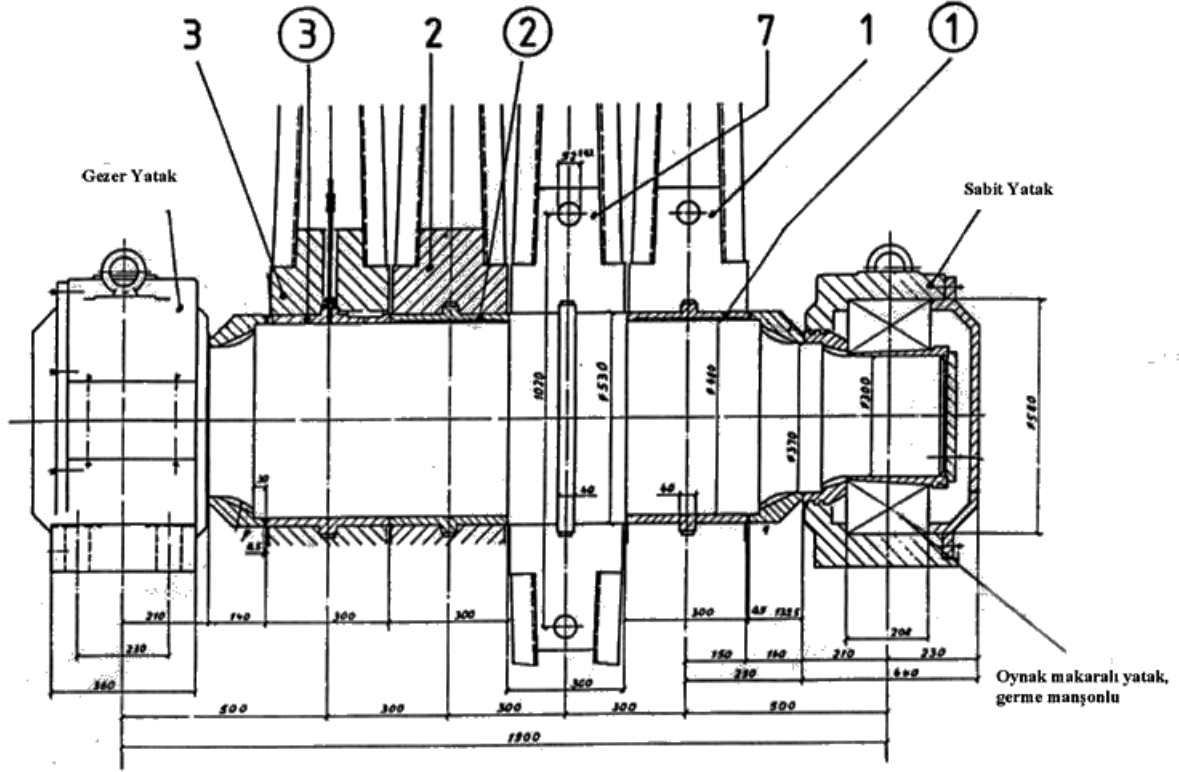
YENİ KUYU HALAT MAKARA MİLİNİN

(Molet döner AKS'ı)

MUKAVEMET KONTROLÜ (I)

Proje Konusu

Kozlu yeni kuyu molet döner aks'ının (Şekil 1) mukavemet kontrolünü yapınız.



Şekil 1 - AKS konstrüksiyonu (M.A.N GHH)

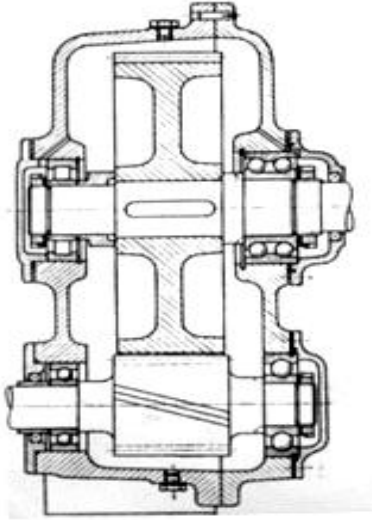
①, ②, ③ : Yatak burçları

2, 3, 7, 1 : Moletler

Verilen Değerler (Şekil 2;3)

- Max statik halat zorlanması : $S_1 = 130 \text{ kN}$
- Molet (halat makarası) yükü : $G_s = 33 \text{ kN}$
- Aks yükü : $G_A = 5 \text{ kN}$
- Halat kopma yükü : $S_B = 950 \text{ kN}$
- Halat makara çapı : $D = 4 \text{ m}$
- Halat sarım açısı : $\beta = 150^\circ$
- Max. halat hızı : $v = 14,4 \text{ m/sn}$
- Halat çapı : $d = 36 \text{ mm}$
- Halat konstrüksiyonu : $6 \times 36 + FE \quad \text{Warrington-seale}$
 - $6 \times 1 \times 2,27 \text{ mm } \phi$
 - $7 \times 1,69 \text{ mm } \phi$
 - $7 \times 1,64 \text{ mm } \phi$
 - $7 \times 1,26 \text{ mm } \phi$
 - $14 \times 2,02 \text{ mm } \phi$
- Elde edilen halat kopma kuvveti : $948,313 \text{ kN} \approx 950 \text{ kN}$

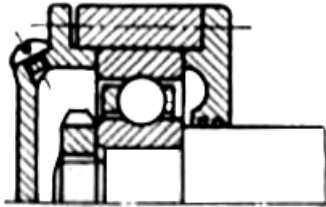
- Darbe faktörü : $f_Z = 1,1$
- Yatak açıklığı : $L = 1900 \text{ mm}$
- Halat makarası (molet imalatı) : Kollu, çelik konstrüksiyon (Kol sayısı : $Z = 12$)
- Halat makarası (molet) yuvarlanma dairesi çapı : $D_R = \phi 3240 \text{ mm}$



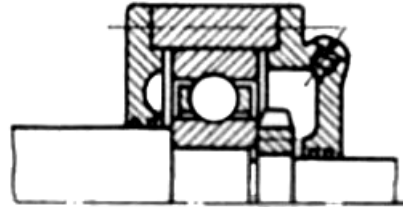
Tek kademeli alın dişli çark mekanizmasının yataklanması;

Sağda : Sabit yataklar (radyal ve eksenel yükleri taşıyan)

Solda : Gezer yataklar (pinyon milinde radyal, çark milindeki dış bilezik üzerinde eksenel yükleri taşıyabilen) [Niemann].



Sabit Yatak



Gezer Yatak

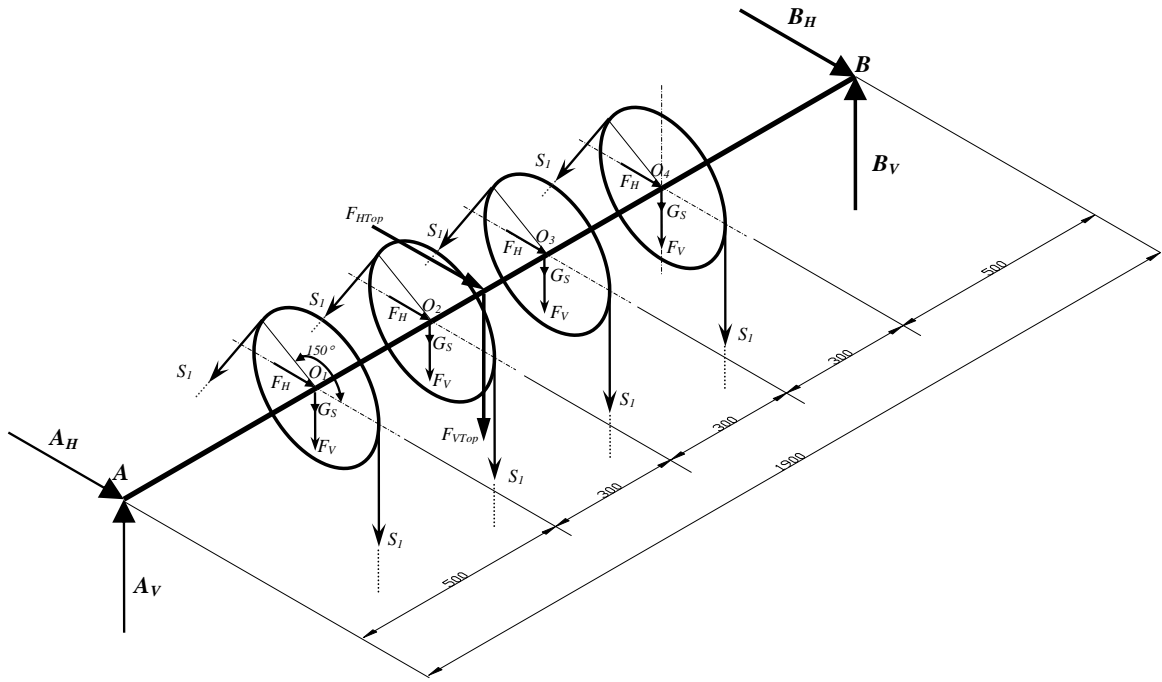
Yataklanmış mil konstrüksiyonu (yük konumuna göre) [Bauer/Scheider/Kaltofen].

Kısa Bilgiler

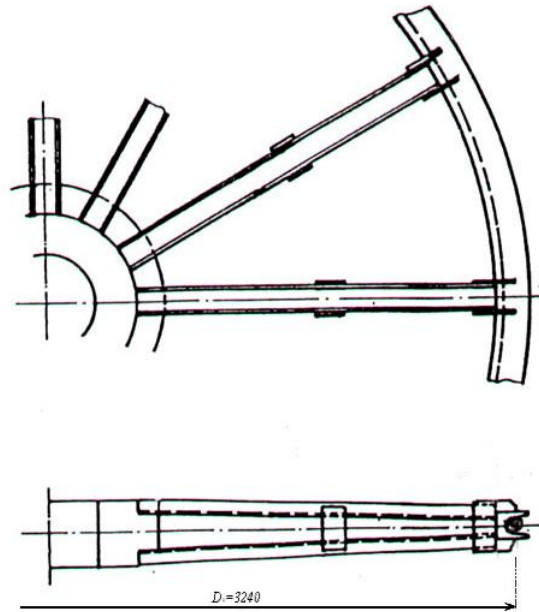
Akslar (döner veya sabit), duran, titreşen veya dönen makine parçalarının yataklanması için kullanılır. Bir burulma momenti iletmeyip genellikle sadece eğilmeye zorlanır. Kısa akslara perno, aksların (ve millerin) yatakta çalışan kısımlarına da muylu denir.

Miller (hemen her zaman dönerler) burulma momenti iletirler. Burulma ve eğilmeye zorlanırlar.

Çok kullanılan mil malzemeleri ve mukavemet değerleri Tablo 1 de verilmiştir.



Şekil 2 - Aks'ın yüklenmesi (F_H , F_V ; bileşke kuvvetin bileşenleri $S:45$)



Şekil 3 - Çelik konstrüksiyon halat makarası (molet) [M.A.N. GHH]

Kollar : Malzeme St 52-3

Akma sınırı : $\sigma_s = 35 \text{ kN} / \text{cm}^2$

Aksların ve Millerin Hesabı

Aks ve millerin hesaplama yöntemleri toplu olarak Tablo 2 de verilmiştir.

Malzeme ⁽²⁾	Çekme Mukavemeti σ_B N/mm^2	Sertlik HV (Sertleşebilir)	Eğilme – Mukavemeti ⁽¹⁾ (N/mm^2)		Burulma – Mukavemeti ⁽¹⁾ (N/mm^2)	
			Alternatif σ_{bW}	Titreşimli σ_{bSch}	Alternatif τ_{tW}	Titreşimli τ_{tSch}
St 42-2 B	420 ... 500	115 (450)	220	360	150	180
St 50-2 B	500 ... 600	135 (530)	260	420	180	210
St 60-2 B	600 ... 720	165 (720)	300	470	210	230
St 70-2 B	700 ... 850	190	340	520	240	260
C22, Ck22 V	500 ... 650	150	280	490	190	250
C35, Ck35 V	590 ... 740	140 (530)	330	550	230	300
C45, Ck45 V	670 ... 820	170 (720)	370	630	260	340
25 CrMo4 V	800 ... 950	186 (610)	430	730	300	450
34 Cr4 V	900 ... 1100	229 (670)	480	810	330	550
C15, Ck15 E	500 ... 650 ⁽³⁾	140 (840)	260	420	180	210
16 MnCr5 E	800 ... 1100 ⁽³⁾	210 (840)	390	670	270	430

Tablo 1- Çoğunlukla kullanılan mil malzemeleri [Niemann]

HV Vickers sertliği

⁽¹⁾- Genel olarak Hähnchen/Decker 'e göre (Neue Festigkeitsrechnung für den Maschinenbau. München ,Hanser 1967 /S:28

⁽²⁾- B : Genel imalat çelikleri ; V: Islah çelikleri ; E: Sementasyon çelikleri

⁽³⁾- Çekirdek mukavemeti

Kullanım	Hesabı	Değerleri	Not
Eğilmeye zorlanan akslar (Örnek 1'e bakınız)	$M_b = W_b \cdot \sigma_b \cong 0,1 \cdot d^3 \cdot \sigma_b$ den : $d = 2,17 \sqrt[3]{\frac{M_b}{\sigma_b}}$ $d = mm$ $M_b = N \cdot mm$ $\sigma_b = N/mm^2$	$\sigma_{bem} = 80 \dots 120 N/mm^2$ St 50 den sabit akslar için veya, $\sigma_{bem} = \sigma_{bSch} / (4 \dots 5)$ $\sigma_{bem} = 40 \dots 60 N/mm^2$ St 50 den dönen akslar için veya, $\sigma_{bem} = \sigma_{bW} / (4 \dots 6)$	$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \rightarrow M_b = W_b \cdot \sigma_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \cdot \sigma_b \cong 0,1 \cdot d^3 \cdot \sigma_b$ $d = \sqrt[3]{\frac{M_b}{0,1 \cdot \sigma_b}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_b}{\sigma_b}}$ $I_b = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$; $W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$
Miller, yaklaşık hesap: $\tau_t = 15 N/mm^2$ için	$M_t = W_t \cdot \tau_t \cong 0,2 \cdot d^3 \cdot \tau_t$ den: $d = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_t}{\tau_t}}$ $d = 0,7 \cdot \sqrt[3]{M_t} = 148 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$ $N = kW$ $M_t = Nmm$ $d = mm$ $n = d / dak$	$\tau_{tem} = 14 \dots 18 N/mm^2$ Eğilmenin gözardı edilmesi halinde, St 50; veya $\tau_{tem} = \tau_{tSch} / (12 \dots 14)$ $\tau_{tem} = 35 \dots 45 N/mm^2$ Sadece burulma halinde, St 50; veya, $\tau_{tem} = \tau_{tSch} / (4 \dots 5)$	$M_t = W_t \cdot \tau_t$; $I_t = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$; $W_t = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$ $M_t = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \cdot \tau_t \cong 0,2 \cdot d^3 \cdot \tau_t \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{M_t}{0,2 \cdot \tau_t}} \cong 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_t}{\tau_t}}$ $\tau = 15 N/mm^2$ için $\rightarrow d = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_t}{15}} = 0,7 \cdot \sqrt[3]{M_t}$ $d = 0,7 \cdot \sqrt[3]{\frac{9549 \frac{N}{n} \cdot 1000}{n}} = 148 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}}$
Eğilme ve burulmaya zorlanan miller (Örnek 2 ye bakınız)	$M_v = \sqrt{M_b^2 + \left(\frac{a}{2} \cdot M_t\right)^2}$ den : $d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{b' \cdot \frac{M_v}{\sigma_b}}$ $b' = 1$ Dolu mil için . $b' = \frac{1}{1 - (d_i/d)^4}$ içi boş mil için $b' = 1,065$ $d_i/d = 0,5$ için	$\sigma_{bem} = 40 \dots 60 N/mm^2$ Kaldırma makinası milleri için, St 50; veya $\sigma_{bem} = \sigma_{bW} / (4 \dots 5)$ $\sigma_{bem} = 100 \dots 150 N/mm^2$ Islah çeliğinden mekanizma milleri için $a \cong 1,2$ $\left. \begin{array}{l} \tau_t \text{ Titreşimli} \\ \sigma_b \text{ Tam değişken} \end{array} \right\}$ Zorlanma hali için $a \cong 1,7$ $\left. \begin{array}{l} \tau_t \text{ Tam değişken} \\ \sigma_b \text{ Tam değişken} \end{array} \right\}$ Zorlanma hali için	<div style="text-align: center;">Zorlanma Şekilleri</div> <p style="text-align: center;">$\sigma_a = 0,5 \cdot \sigma_0$ $\sigma_m = 0,5 \cdot \sigma_0$ $\sigma_u = 0$</p> <p style="text-align: center;">TITREŞİMLİ</p> <p style="text-align: center;">$\sigma_a = \sigma_0 = -\sigma_u$ $\sigma_m = 0$</p> <p style="text-align: center;">TAM DEĞİŞKEN (ALTERNATİF)</p> <p style="text-align: right;">S:26 Not'a bak</p>
Millerin meydana getirdiği eğilme açısı	$\tan \beta = \frac{a \cdot F}{E \cdot I}$ $d \geq 0,1 \sqrt[4]{\frac{a \cdot F}{\tan \beta}}$ $I = \text{sabit ve } E = 2,1 \cdot 10^5 N/mm^2$ için $\frac{a}{mm^2} \mid \frac{F}{N} \mid \frac{d}{mm}$	$a = \frac{a_1 \cdot a_2}{3} + \frac{a_1^2}{2}$ Tek taraflı yataklanmış pinyon için a_1, a_2 Şekil 4'e bakınız $a = \frac{(a_1 \cdot a_2 - a_1^2) \cdot (a_2 - 2 \cdot a_1)}{3 \cdot a_2}$ Asimetrik yüklü iki taraftan yataklanmış mil için (Şekil 5). Müsaade edilen (sınırlandırılan) eğim: $\tan \beta = 1/1000$ Konik pinyon için $\tan \beta = 1/5000$ Alın çarklar için	$\tan \beta = \frac{a \cdot F}{2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}} \rightarrow d^4 = \frac{a \cdot F}{2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi}{64} \cdot \tan \beta} \rightarrow d = 0,099 \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot F}{\tan \beta}}$ $d \geq 0,1 \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot F}{\tan \beta}}$

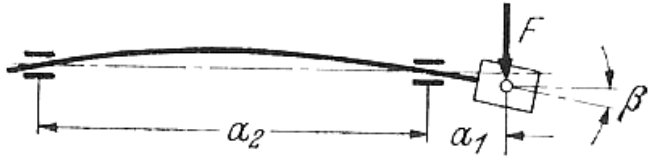
Uzun Miller: Müsaade edilen burulma açısı φ_m^0 'e göre (1000 mm boyundaki mil için) $G = 8,1 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ ve $\varphi_m^0 = \left(\frac{1}{4}\right)^\circ / 1000 \text{ mm}$ için	$\varphi_m^0 = \frac{1,8 \cdot 10^5 \cdot M_t}{\pi \cdot G \cdot I_t}$; $I_t = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$ $d = 27,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{M_t}{G \cdot \varphi_m^0}}$ $d = 2,3 \cdot \sqrt[4]{M_t} = 129 \cdot \sqrt[4]{\frac{N}{n}}$ $\frac{d}{\text{mm}} \left \frac{M_t}{\text{Nmm}} \right \frac{N}{\text{kW}}$	Ayrıca: Kendi ağırlığından dolayı çökmesi (sehimi) $f = 0,16 \text{ mm}$ olan ve birkaç yerinden yataklanmış miller için yatak açıklığı $a \leq 100 \cdot \sqrt{d}$ $\frac{a}{\text{cm}} \left \frac{d}{\text{cm}} \right $ $\tan \beta = 1/1000$ ise yatak açıklığı $a \leq 50 \cdot \sqrt[3]{d^2}$	$\varphi_m^0 = \frac{1,8 \cdot 10^5 \cdot M_t}{\pi \cdot G \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{32}} \rightarrow d^4 = \frac{1,8 \cdot 10^5 \cdot 32}{\pi^2 \cdot G \cdot \varphi_m^0} \cdot M_t \rightarrow d = 27,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{M_t}{G \cdot \varphi_m^0}}$ $d = 27,6 \cdot \sqrt[4]{\frac{M_t}{8,1 \cdot 10^4 \cdot 1/4}} = 2,3 \cdot \sqrt[4]{M_t} = 2,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{9549 \cdot \frac{N}{n} \cdot 1000}{N \cdot \text{mm}}}$ $d = 129 \cdot \sqrt[4]{\frac{N}{n}}$
Kritik devir sayısı $n_k \left(\frac{d}{\text{dak}}\right)$ (Örnek 3'e bakınız)	Eğilme Titreşimi: $n_k = 300 \cdot \sqrt{\frac{1}{f}}$ $f - \text{cm}$ Burulma Titreşimi ⁽²⁾ $n_k = \frac{30}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{I_m}}$ $\frac{c}{\text{Nm/rad}} \left \frac{I_m}{\text{kgm}^2} \right $ $\frac{1}{c} = \frac{\varphi}{M_t} = \frac{32}{\pi \cdot G} \cdot \left(\frac{L_1}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^4} + \dots \right) \left[\frac{\text{rad}}{\text{Nmm}} \right]$	Milin üzerinde 1 den fazla kütle $1,2, \dots$ bulunuyorsa ve her kütle için çökme (sehim) f_1, f_2, \dots ise $f \cong f_1 + f_2 + \dots$ olur ⁽¹⁾ Faturalı milde d_1, d_2, \dots çaplarında ve L_1, L_2, \dots boylarında burulmaya zorlanan kısımların toplam boyu $L = L_1 + L_2 + \dots$ dir. İki kütle için $I_m = \frac{I_{m1} \cdot I_{m2}}{I_{m1} + I_{m2}}$ dir.	

Tablo 2- Daire kesitli mil ve aksların hesabı (Boyutlandırılması) [Niemann]

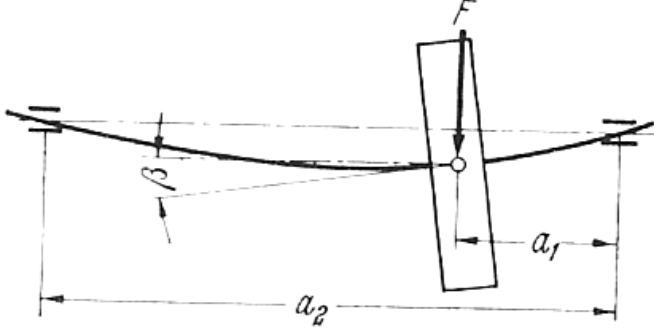
⁽¹⁾ Dunkerley'in 1. dereceden kritik devir sayısı için formülü. Bu formüle göre, serbest yataklanmış millerde n_k %4 kadar küçük hesaplanmaktadır. f_1 ve f_2 nin elde edilmesi için örnek 3 e bakınız.

⁽²⁾ D çapında L uzunluğunda ,dolu bir silindirin atalet momenti $I_m = 0,1 \cdot D^4 \cdot L \cdot \rho$ veya daha hassas olarak $I_m = \pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot L / 32$ dir

M_b	-	Eğilme Momenti	$[\text{Nmm}]$	I_t	-	Burulma Atalent Momenti	$[\text{mm}^4]$
σ_b	-	Eğilme Gerilmesi	$[\text{N/mm}^2]$	M_v	-	Eşdeğer Moment	$[\text{Nmm}]$
σ_{bem}	-	Eğilme Emniyet Gerilmesi	$[\text{N/mm}^2]$	a	-	Eksenler arası mesafe	$[\text{mm}]$
W_b	-	Eğilme Mukavemet Momenti	$[\text{mm}^3]$	b'	-	Katsayı	
I_b	-	Eğilme Atalent Momenti	$[\text{mm}^4]$	$\tan \beta$	-	Eğim	
M_t	-	Burulma Momenti	$[\text{Nmm}]$	G	-	Kayma Modülü	$[\text{N/mm}^2]$
τ_t	-	Burulma Gerilmesi	$[\text{N/mm}^2]$	f	-	Çökme (Sehim)	$[\text{mm}]$
τ_{tem}	-	Burulma Emniyet Gerilmesi	$[\text{N/mm}^2]$	I_m	-	Kütle Atalent Momenti	$[\text{kgm}^2]$
W_t	-	Burulma Mukavemet Momenti	$[\text{mm}^3]$	c	-	Burulma Yay Sabiti	$[\text{Nmm/rad}]$

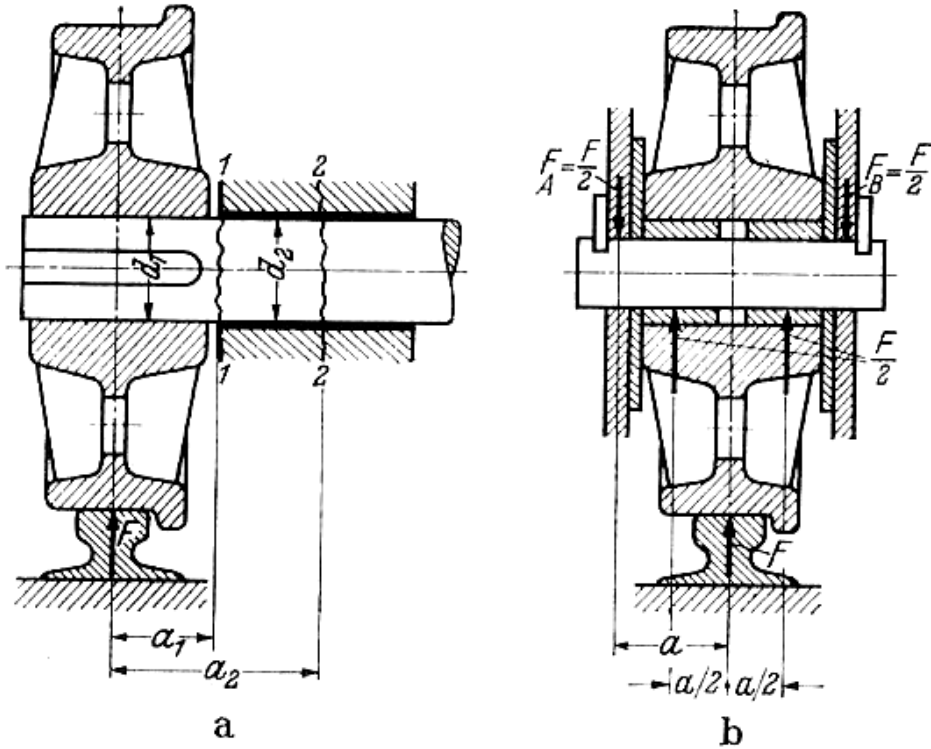


Şekil 4 – Tek taraflı yataklanmış pinyon mili [Niemann]



Şekil 5 – Asimetrik yüklü serbest yataklanmış mil [Niemann]

Örnek 1 – St 50 den tekerlek aksı, Şekil 6 daki gibi iki konstrüksiyon ile verilmiştir. Tekerleğe gelen kuvvet $F = 2 \cdot 10^4 \text{ N}$ olduğuna göre, her iki haldeki aks çapının hesabı ve mukayesesi istenmektedir.



Şekil 6 – Tekerlek aksı (M_r olmaksızın)

- a) Aks döner ve tek taraflı yataklanmış
- b) Aks sabit ve iki taraflı yataklanmış

Cözüm -:

Tekerlek dönen aks'a tespit edilmiş ve tek taraflı yataklanmıştır.

$$a_1 = 50 \text{ mm} \quad a_2 = 100 \text{ mm.}$$

(1-1) Kesitinde

- Eğilme Momenti M_{b1} ;

$$\begin{aligned} M_{b1} &= F \cdot a_1 \\ M_{b1} &= 2 \cdot 10^4 \cdot 50 \\ \underline{M_{b1} &= 10^6 \text{ Nmm}} \end{aligned}$$

- Aks çapı d_1 ;

Eğilmeye zorlanan akslarda (Tablo 2)

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{M_{b1} / \sigma_{bem}}$$

St 50 den dönen akslar için;

$$\sigma_{bem} = 40 \dots 60 \text{ N/mm}^2$$

veya

$$\sigma_{bem} = \sigma_{bW} / (4 \dots 6)$$

$$\sigma_{bem} = 40 \text{ N/mm}^2 \text{ (Kabul)}$$

$$d_1 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{10^6 / 40} = \phi 63,4 \text{ mm}$$

$$\underline{d_1 = \phi 65 \text{ mm}}$$

Not: Mil çapının seçiminde standart sayılar da (Tablo 3) kullanılabilir.

(2-2) kesitinde :

- $M_{b2} = F \cdot a_2 = 2 \cdot 10^4 \cdot 100$

$$\underline{M_{b2} = 2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}$$

- $d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{M_{b2} / \sigma_{bem}}$

(1-1) kesitinde tam değişken zorlanma (alternatif gerilme) ve göbekte çentik etkisi var.

Dolayısıyla $\sigma_{bem} = 40 \text{ N/mm}^2$ olarak küçük değer alındı. (2-2) kesitinde ise çentik etkisi yok (Düz taşlanmış mil). Dolayısıyla σ_{bem} için büyük değer alınabilir.

$$\sigma_{bem} = 60 \text{ N/mm}^2 \text{ veya;}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bW}}{4} = \frac{260}{4} = 65 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{St 50 için } \sigma_{bW} = 260 \text{ N/mm}^2 \text{ Tablo 1})$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot 10^6 / 65} \cong \phi 68 \text{ mm}$$

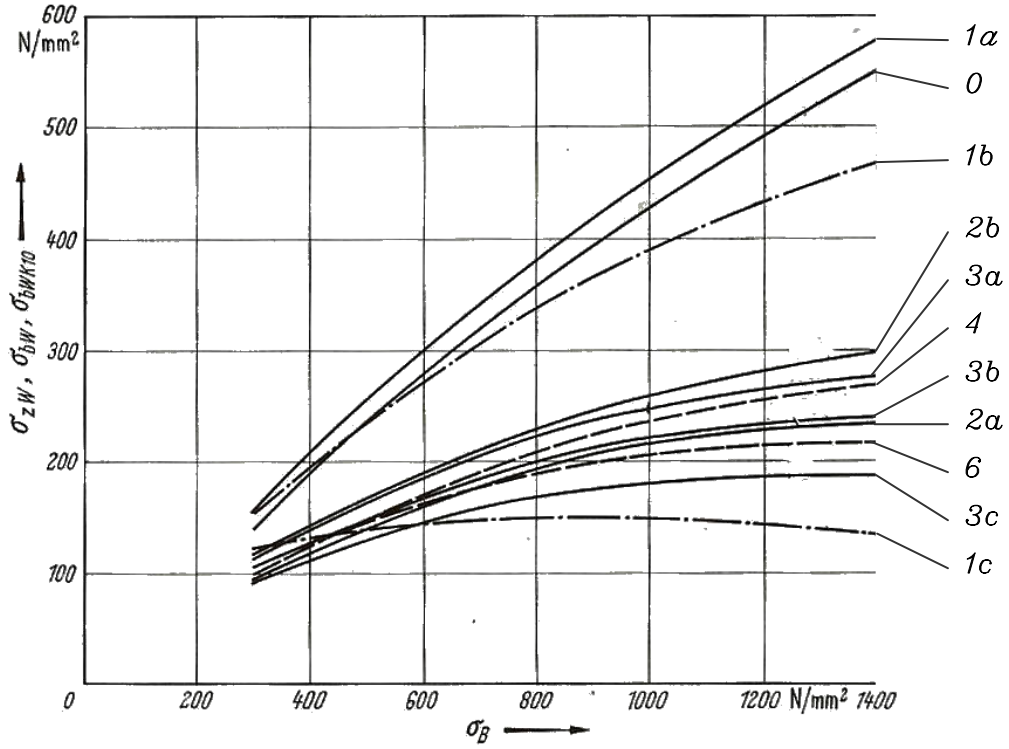
$d_1 = \phi 65 \text{ mm}$ $d_2 = \phi 68 \text{ mm}$ İmalat kolaylığı bakımından $d_1 = d_2 = \phi 65 \text{ mm}$ olmasında yarar var.

Daha hassas hesap yöntemi için Şekil 7 deki değerlerden faydalanılabilir.

Seri	Ort.Çarpan	Standart (Norm)	Sayılar
R5	$\sqrt[3]{10} \cong 1,6$	1	1.6 2.5
R10	$\sqrt[10]{10} \cong 1,25$	1	1.25 1.6 2 2.5
R20	$\sqrt[20]{10} \cong 1,12$	1	1.12 1.25 1.4 1.6 1.8 2 2.24 2.5 2.8
R40	$\sqrt[40]{10} \cong 1,06$	1	1.06 1.12 1.18 1.25 1.32 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 2 2.12 2.24 2.36 2.5 2.65 2.8
R5			4 6.3 10
R10			3.15 4 5 6.3 8 10
R20			3.15 3.55 4 4.5 5 5.6 6.3 7.1 8 9 10
R40			3 3.15 3.35 3.55 3.75 4 4.25 4.5 4.75 5 5.3 5.6 6 6.3 6.7 7.1 7.5 8 8.5 9 9.5 10

Tablo 3- Standart sayılar (DIN323, Ağustos 1974)

(Diğer standart sayılar, Tablodaki değerleri 10, 100 veya 1000 ile çarparak elde edilir. Makina imalatında R10 ve R20 dizileri tercih edilir. [Niemann])



Şekil 7- Çelik için; çekme-basma alternatif mukavemeti σ_{ZW} (Düz parlatılmış deney çubuğunda) ve eğilme-alternatif mukavemeti σ_{bWK10} ($d \cong \phi 10$ mm çaplı değişik çentikli millerde) Başka bir d çapı için : $\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0$

σ_{bWN} Faydalı (faydalanılan) eğilme-alternatif mukavemeti (çentiksiz milde) [Niemann]

Büyükölçü faktörü b_0 :	d [mm]	10	20	40	60	80	100	200	300
	b_0	1,0	0,94	0,88	0,85	0,82	0,80	0,75	0,70

Eğrilere göre kabul edilebilir (önerilen) değerler

0: Düz , parlatılmış deney çubuğu

1: a) σ_{bW} Düz, parlatılmış miller
b) σ_{bWN10} Düz,ince tormalanmış miller
c) σ_{bWN10} Düz,paslanmış miller

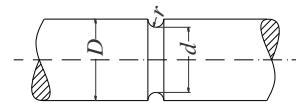
2: σ_{bWK10} Yuvarlak çentikli miller için, ince tormalanmış.

a) $d/D = 0,8$ $D - d = 2 \cdot r$ ($\alpha_K \approx 2$)

b) $d/D = 0,6$ $D - d = 2 \cdot r$ ($\alpha_K \approx 1,5$)

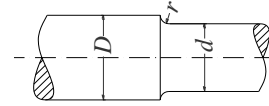
Diğer d/D de d/r için σ_{bWK} ,

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot g_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}}$$
 eşitliği ile hesaplanır



3: σ_{bWK10} Faturalı miller için, ince tormalanmış ($R_t \cong 10\mu m$)

- a) $d/D = 0,8$ $r/d = 0,1$ ($\alpha_k \approx 1,6$)
b) $d/D = 0,8$ $r/d = 0,05$ ($\alpha_k \approx 2$)
c) $d/D = 0,8$ $r/d = 0,025$ ($\alpha_k \approx 2,6$)



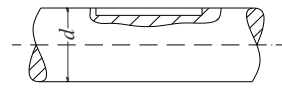
a) dan c) ye kadar başka bir d/D değeri için yaklaşık olarak

$$\sigma_{bWK10} = \sigma_{bWK10(d/D=0,8)} \cdot q \text{ veya,}$$

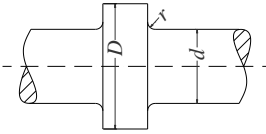
$$\sigma_{bWK} \text{ kesin olarak } \sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot g_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}} \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Fatura faktörü q :	d/D	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	q	0,86	0,87	0,88	0,90	0,95	1,0	1,12

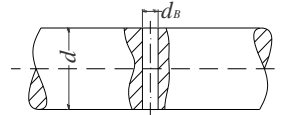
4 σ_{bWK10} gömme feder yuvalı miller (Parmak freze ile frezelenmiş) için ; Dik freze ile frezelenmişse yaklaşık %30 kadar daha büyük



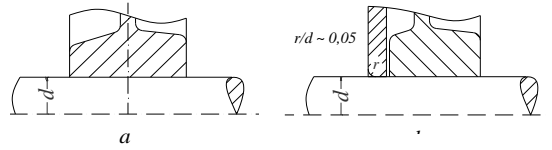
5 σ_{bWK10} bilezikli (Kemerli) miller için ince tormalanmış: $d/D = 0,8$ ve $r/d = 0,05$ ile (3b) eğrisine göre alınır.



6 σ_{bWK10} enine delikli miller için, $d_b/d = 0,1$



7 σ_{bWK10} mil malzemesi St50, taşlanmış, pres geçmeli düz miller için. Diğer malzemelerde, σ_b [N/mm^2] ye göre q_1 ile σ_{bWK10} çarpılır.

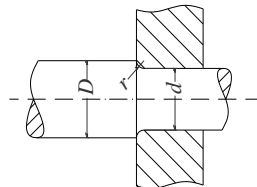


Malzeme Faktörü q_1	σ_B	400	500	600	700	850	1000
	q_1	1,1	1,0	0,93	0,85	0,74	0,71

$u/d = 1,5 \dots 2 \cdot 10^{-3}$ $u = \text{Mil çapı} - \text{Göbek çapı}$	İlave Gömme Kamalı
a) $\sigma_{bWK10} \approx \sigma_{bW} / 2,0$	a) $\sigma_{bWK10} \approx \sigma_{bW} / 2,5$
b) $\sigma_{bWK10} \approx \sigma_{bW} / 2,0$	b) $\sigma_{bWK10} \approx \sigma_{bW} / 2,3$

8 Sıkı geçme (rulman) ve faturalı miller için, taşlanmış :

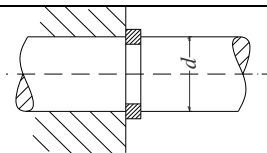
$$\sigma_{bWK10} \begin{cases} = \sigma_{bW} / 1,8 & \text{veya}^* \\ = \sigma_{bWK10} (3a) \text{ dan } (3c) \text{ eğrilerine göre} \end{cases}$$



* Her ikisinden daha küçük

9 Emniyet segmanlı miller için

$$\sigma_{bWK10} \approx \sigma_{bW} / 2,2$$



Probleme tekrar dönelim ;

(1-1) kesitinde :

Mil malzemesi St50, taşlanmış, pres geçmeli düz mil, ilave olarak gömme kamalı

$$\begin{aligned} \sigma_{bWK 10} &\approx \sigma_{bW} / 2,3 \quad (\text{Şekil 7, 7b}) \\ \left. \begin{aligned} \sigma_b &= 500 \text{ N/mm}^2 \text{ (St50)} \\ \text{Düz parlatılmış miller} \end{aligned} \right\} \sigma_{bW} &= 255 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Şekil 7, 1a eğrisi}) \end{aligned}$$

(Tablo 1 de bu değer, St50-2 için $\sigma_{bW} = 260 \text{ N/mm}^2$ dir.)

$$\begin{aligned} \sigma_{bWK 10} &= \frac{255}{2,3} \\ \sigma_{bWK 10} &\cong 110 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK 10} \cdot b_0 \quad (\text{Şekil 7})$$

$$b_0 = 0,85 \quad (d \cong \phi 60 \text{ mm} \text{ için Şekil 7})$$

Müsaade edilen gerilme veya eğilme emniyet gerilmesi ;

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S \cdot C_B}$$

S - Emniyet katsayısı

$S = S_D = 1,5 \dots 3$	Sürekli kırılmaya karşı emniyet katsayısı
$S = S_F = 1,2 \dots 2$	Şekil değiştirmeye (deformasyon) karşı emniyet katsayısı
$S = S_B = 2 \dots 4$	Kırılmaya karşı emniyet katsayısı
$S = S_K = 3 \dots 5$	Burkulmaya (Flambaj) karşı emniyet katsayısı

C_B – İşletme Faktörü

$C_B = 1,0 \dots 1,1$	Buhar ve su türbinleri, elektrikli makinalar.
$C_B = 1,2 \dots 1,5$	Pistonlu makinalar, planyalar, dik planyalar, (Maag yöntemiyle dişli çark açan tezgahlar), vinç düzenleri.
$C_B = 1,6 \dots 2,0$	Dövme presleri, abkant presleri, delik makinaları, taş değirmenleri.
$C_B = 2,0 \dots 3,0$	Mekanik çekiçler, hadde makinaları, taş kırıcılar (konkasörler)

Not:

Nominal gerilme \leq Müsaade edilen gerilme = $\frac{\text{Malzeme karakteristik değeri } K}{\text{Emniyet katsayısı} \cdot \text{İşletme faktörü}}$
olmalıdır.

Burada K için örneğin;

σ_S	-	Akma (uzama) sınırı
σ_{bF}	-	Eğilme-akma sınırı
τ_{tF}	-	Burulma-akma sınırı
σ_{FK}	-	Eğilme-akma sınırı (Çentik etkisinde)
σ_{bWN}	-	Faydalı (faydalanılan) eğilme-alternatif mukavemeti
σ_{bWK}	-	Eğilme alternatif mukavemeti (çentik etkisinde)
σ_K	-	Burkulma (flambaj) gerilmesi
σ_{DN}	-	Zaman mukavemeti

değerlerinden biri alınabilir.

$S_D = 1,5$ (Sürekli kırılmaya karşı)

$C_B = 1,5$ (Vinç- kren-düzenleri)

$$\sigma_{bem1} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{\sigma_{bWK10} \cdot b_0}{S_D \cdot C_B} = \frac{110 \cdot 0,85}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\sigma_{bem1} = 41,5 \text{ N/mm}^2}$$

Daha önce $\sigma_{bem} = 40 \text{ N/mm}^2$ kabulü ile $d_1 = \phi 65 \text{ mm}$ (S:8) bulmuştuk.

($\sigma_{bem} = 40 \text{ N/mm}^2 \cong 41,5 \text{ N/mm}^2$)

(2-2) kesitinde :

$M_{b2} = 2 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$ (hesapladık. S:8)

Şekil 7,1b eğrisine göre (Düz, ince tornalanmış miller) ki ,bu eğri σ_{bWN10} değerini vermektedir, mil düz ve çentik etkisi olmadığı için bu kesitte $\sigma_{bWN10} = \sigma_{bWK10}$ alınabilir.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2 \\ 1b \text{ eğrisi} \end{array} \right\} \sigma_{bWK10} = \sigma_{bWN10} = 235 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{şekil 7})$$

$$\sigma_{bem2} = \frac{\sigma_{bWK10} \cdot b_0}{S_D \cdot C_B} = \frac{235 \cdot 0,85}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\sigma_{bem2} \cong 89 \text{ N/mm}^2}$$

$$d_2 = 2,17 \cdot \sqrt[3]{M_{b2}/\sigma_{bem2}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{2 \cdot 10^6/89} = \phi 61,2 \text{ mm}$$

$$\underline{d_1 = d_2 = \phi 65 \text{ mm}} \text{ seçilir}$$

a) Aks; sabit, düz ve her iki taraftan (iki taraflı) yataklanmıştır.

$$a = 70 \text{ mm} , \quad F = 2 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Aks'ın ortasında,

$$M_b = F_A \cdot a - \frac{F}{2} \cdot \frac{a}{2} = \frac{F}{2} \cdot a - \frac{F}{2} \cdot \frac{a}{2}$$

$$M_b = \frac{F \cdot a}{4} = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot 70}{4}$$

$$\underline{M_b = 3,5 \cdot 10^5 \text{ N / mm}}$$

St50 den sabit akslar için (Tablo 2)

$$\sigma_{bem} = 80 \dots 120 \text{ N / mm}^2$$

veya

$$\sigma_{bem} = \sigma_{bSch} / (4 \dots 5)$$

$$\sigma_{bem} = 120 \text{ N / mm}^2 \quad (\text{kabul})$$

$$d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_b}{\sigma_{bem}}} = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,5 \cdot 10^5}{120}} = 31 \text{ mm}$$

$$\underline{d = \phi 30}$$

Tam değişken alternatif zorlanma yerine titreşimli zorlanmaya çalışan aks için; İmalat çeliğinde,

$$\sigma_{bem} \cong 1,5 \cdot \sigma_{bWN} \quad (\text{Tablo 4}) \text{ yazılabilir.}$$

$$(\sigma_{bWN} = \sigma_{bW} \text{ alınmıştır})$$

Aks, çentiksiz ve ince tornalanmış dolayısıyla σ_{bWN} değeri yerine (2-2) kesitindeki

$$\sigma_{bem2} = 89 \text{ N / mm}^2 \quad (\text{S:13}) \text{ alınabilir.}$$

$$\sigma_{bem} = 1,5 \cdot 89 = 133 \text{ N / mm}^2$$

$$d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,5 \cdot 10^5}{133}}$$

$$\underline{d = 30 \text{ mm}}$$

O halde ,sabit ve her iki taraftan yataklanmış aks çok daha ince yapılabilir, çünkü eğilme momenti daha küçük ve emniyet gerilmesi daha büyük olabilmektedir.

MALZEME	Çekme ⁽³⁾		Eğilme ⁽¹⁾			Burulma ⁽¹⁾		
	σ_W	σ_{Sch}	σ_{bW}	σ_{bSch}	σ_{bF}	τ_{tW}	τ_{tSch}	τ_{tF}
İmalat Çeliği	$0,45 \cdot \sigma_B$	$1,3 \cdot \sigma_W$	$0,49 \cdot \sigma_B$	$1,5 \cdot \sigma_{bW}$	$1,5 \cdot \sigma_S$	$0,35 \cdot \sigma_B$	$1,1 \cdot \tau_{tW}$	$0,7 \cdot \sigma_S$
İslah Çeliği	$0,41 \cdot \sigma_B$	$1,7 \cdot \sigma_W$	$0,44 \cdot \sigma_B$	$1,7 \cdot \sigma_{bW}$	$1,4 \cdot \sigma_S$	$0,30 \cdot \sigma_B$	$1,6 \cdot \tau_{tW}$	$0,7 \cdot \sigma_S$
Sementasyon Çeliği ⁽²⁾	$0,40 \cdot \sigma_B$	$1,6 \cdot \sigma_W$	$0,41 \cdot \sigma_B$	$1,7 \cdot \sigma_{bW}$	$1,4 \cdot \sigma_S$	$0,30 \cdot \sigma_B$	$1,4 \cdot \tau_{tW}$	$0,7 \cdot \sigma_S$
Kır dökme demir	$0,25 \cdot \sigma_B$	$1,6 \cdot \sigma_W$	$0,37 \cdot \sigma_B$	$1,8 \cdot \sigma_{bW}$	-	$0,36 \cdot \sigma_B$	$1,6 \cdot \tau_{tW}$	-
Hafif metal	$0,30 \cdot \sigma_B$	-	$0,4 \cdot \sigma_B$	-	-	$0,25 \cdot \sigma_B$	-	-

Tablo 4 – Çelik, kır dökme demir ve hafif metaller için ortalama sürekli mukavemet değerleri [Niemann]

⁽¹⁾ ~10 mm çaplı parlatılmış deney çubukları içindir. 10 mm den daha büyük çaplar için σ_{bW} , Şekil 7 deki b_0 değerleri ile çarpılır.

⁽²⁾ Semantasyonla sertleştirilmiş olup ~30 mm çaplı deney çubuklarından elde edilmiştir. $\cdot\sigma_B$ ve $\cdot\sigma_S$ çekirdek malzemesine aittir.

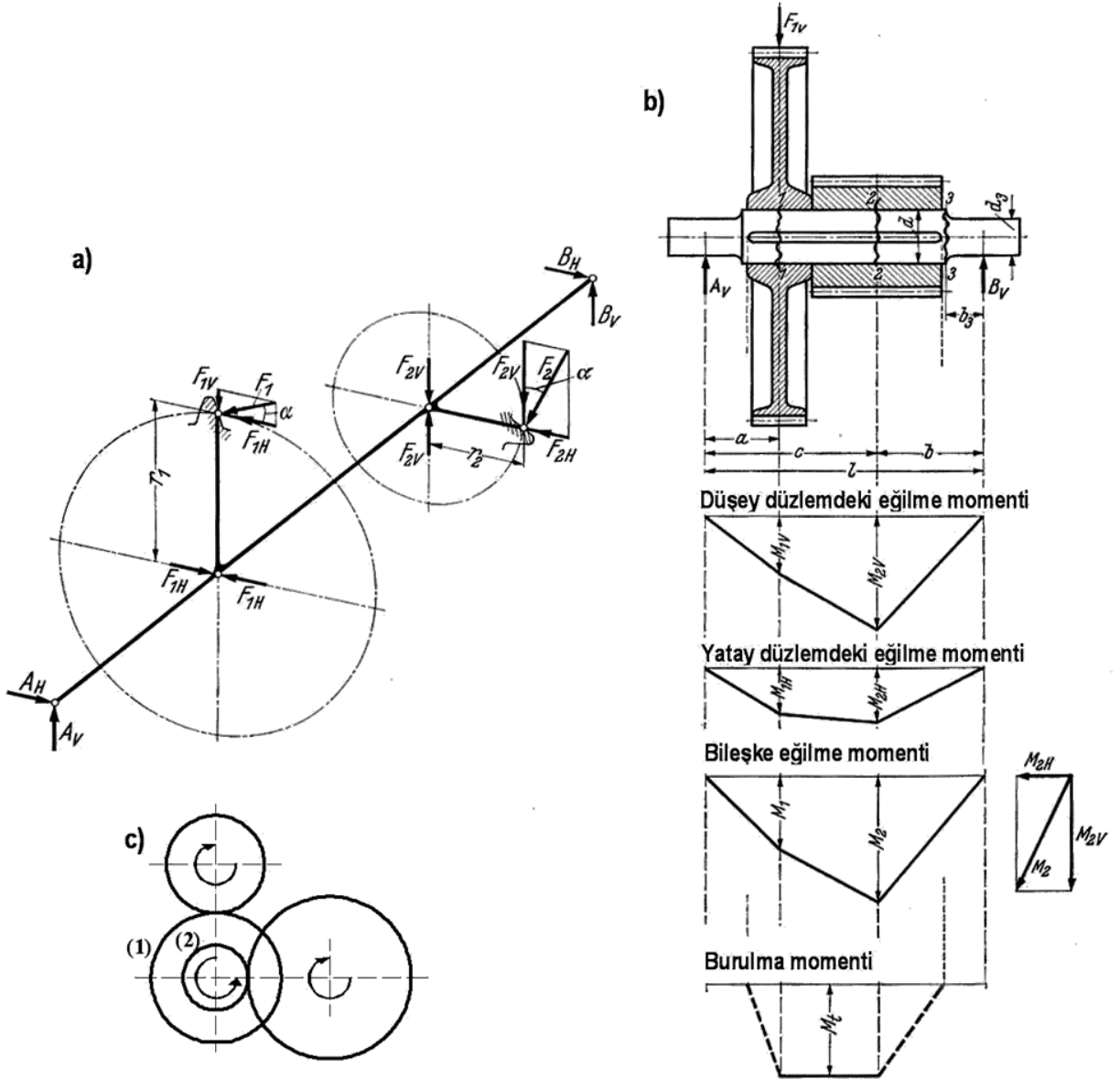
⁽³⁾ Basma için σ_{Sch} daha büyüktür, örneğin yay çeliğinde $\sigma_{dSch} \cong 1,3 \cdot \sigma_{Sch}$, kır dökme demirde $\sigma_{dSch} \cong 3 \cdot \sigma_{Sch}$ dir.

Örnek 2- St50 den imal edilmiş mekanizma (dişli) kutusu milinin hesabı istenmektedir.

Verilenler :

$$\text{Döndürme momenti} \quad : \quad M_t = 600 \text{ Nm} = 6 \cdot 10^5 \text{ Nmm.}$$

Düz dişliler : $\alpha = 20^\circ$
 $r_1 = 200 \text{ mm}$
 $r_2 = 60 \text{ mm}$
 $a = 80 \text{ mm}$
 $b = 120 \text{ mm}$
 $L = 300 \text{ mm}$
 $c = L - b = 180 \text{ mm}$



Şekil 8-Düz dişli çark mili:

- a) Yataklanması ve yüklenmesi
- b) Eğilme, bileşke ve burulma moment diyagramları
- c) Dişlilerin çalışma düzeni

Cözüm :

- Çevre kuvveti F_{1H} ;

$$F_{1H} = \frac{M_t}{r_1} = 6 \cdot 10^5 / 200$$

$$\underline{F_{1H} = 3000 \text{ N}}$$

- Radyal kuvvet F_{1V} ;

$$F_{1V} = F_{1H} \cdot \tan \alpha = 3000 \cdot \tan 20^\circ$$

$$\underline{F_{1V} = 1092 \text{ N}}$$

- Çevre kuvveti F_{2V} ;

$$F_{2V} = \frac{M_t}{r_2} = 6 \cdot 10^5 / 60$$

$$\underline{F_{2V} = 10000 \text{ N}}$$

- Radyal kuvvet F_{2H} ;

$$F_{2H} = F_{2V} \cdot \tan \alpha = 10000 \cdot \tan 20^\circ$$

$$\underline{F_{2H} = 3640 \text{ N}}$$

- Mesnet kuvvetleri (Yatak kuvvetlerinin bileşenleri)

B- Yatağı için ;

-Düşey V düzleminde :

$$B_V \cdot L = F_{2V} \cdot c + F_{1V} \cdot a$$

$$B_V \cdot 300 = 10000 \cdot 180 + 1092 \cdot 80$$

$$\underline{B_V = 6291 \text{ N}}$$

-Yatay H düzleminde :

$$B_H \cdot L = F_{2H} \cdot c + F_{1H} \cdot a$$

$$B_H \cdot 300 = 3640 \cdot 180 + 3000 \cdot 80$$

$$\underline{B_H = 2984 \text{ N}}$$

Bileşke yatak kuvveti B ;

$$B = \sqrt{B_H^2 + B_V^2} = \sqrt{2984^2 + 6291^2}$$

$$\underline{B = 6963 \text{ N}}$$

A-Yatağı için ;

-Düşey V düzleminde :

$$A_V + B_V = F_{1V} + F_{2V} \rightarrow A_V = 1092 + 10000 - 6291$$

$$\underline{A_V = 4801 \text{ N}}$$

-Yatay H düzleminde :

$$A_H + B_H = F_{1H} + F_{2H} \rightarrow A_H = 3000 + 3640 - 2984$$

$$\underline{A_H = 3656 \text{ N}}$$

-Bileşke yatak kuvveti A;

$$A = \sqrt{A_H^2 + A_V^2} = \sqrt{3656^2 + 4801^2}$$

$$\underline{A = 6034 \text{ N}}$$

- Max Bileşke eğilme momenti;

(1-1) Kesitinde :

$$M_1 = A \cdot a = 6034 \cdot 80$$

$$\underline{M_1 \cong 4,83 \cdot 10^5 \text{ Nmm}}$$

(2-2) Kesitinde :

$$M_2 = B \cdot b = 6963 \cdot 120$$

$$\underline{M_2 \cong 8,35 \cdot 10^5 \text{ Nmm}}$$

Max. Bileşke eğilme momenti (2-2) kesitindedir.

- Eşdeğer Moment M_v ;
Eğilme ve burulmaya zorlanan miller için (Tablo 2)

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + \left(\frac{a}{2} \cdot M_t\right)^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \tau_t \quad \text{Titreşimli} \\ \sigma_b \quad \text{Tam değişken} \end{array} \right\} \underline{\underline{a \cong 1,2}}$$

$$M_v = \sqrt{(8,35 \cdot 10^5)^2 + \left(\frac{1,2}{2} \cdot 6 \cdot 10^5\right)^2}$$

$$\underline{M_v = 9,09 \cdot 10^5 \text{ Nmm}}$$

- Mil çapı d :

$$d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{b' \cdot \frac{M_v}{\sigma_{bem}}} \quad (\text{Tablo 2})$$

$$b' = 1 \quad (\text{Dolu mil})$$

σ_{bem} - Eğilme emniyet gerilmesi

Tablo 2'ye göre, eğilme ve burulmaya zorlanan, St50 den kaldırma makinaları milleri için,

$$\sigma_{bem} = 40 \dots 60 \text{ N/mm}^2$$

veya,

$$\sigma_{bem} = \sigma_{bW} / (4 \dots 5)$$

kamalı mil dolayısıyla çentik etkisi mevcut

$$\sigma_{bem} = 40 \text{ N/mm}^2$$

küçük değer alınabilir.

$$d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{9,09 \cdot 10^5}{40}}$$

$$\underline{d \cong \phi 61,5 \text{ mm}}$$

veya daha hassas bir hesap için, örnek1 incelenirse

$$\sigma_{bem} = 41,5 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{S:13})$$

bulunmuştu. Buna göre,

$$d = 2,17 \cdot \sqrt[3]{\frac{9,09 \cdot 10^5}{41,5}}$$

$$\underline{d \cong \phi 60,7 \text{ mm}}$$

olur.

(3-3) kesitinde veya mildeki fatura kesitinde :

$$\left. \begin{array}{l} b_3 = 40 \text{ mm} \\ d_3 = \phi 40 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ verilsin}$$

$$M_3 = B \cdot b_3 = 6963 \cdot 40$$

$$\underline{M_3 \cong 2,78 \cdot 10^5 \text{ Nmm}}$$

- Eğilme gerilmesi

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

W_b - eğilme mukavemet momenti

$$W_b = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 40^3}{32}$$

$$\underline{W_b = 6,28 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_b = \frac{2,78 \cdot 10^5}{6,28 \cdot 10^3}$$

$$\underline{\sigma_b = 44 \text{ N/mm}^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{bem} = 40 \dots 60 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{bem} = \sigma_{bW} / (4 \dots 5) \end{array} \right\} \text{ (Tablo 2, Eğilmeye ve burulmaya zorlanan miller)}$$

$$\sigma_{bW} = 260 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tablo 1, St50)}$$

$$\sigma_{bW} = 255 \text{ N/mm}^2 \text{ } (\sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2 \text{ için şekil 7,1a eğrisi)}$$

$$\sigma_{bW} = 0,49 \cdot \sigma_B \text{ (Tablo 4, İmalat çeliği)}$$

$$\sigma_{bW} = 0,49 \cdot 500$$

$$\underline{\sigma_{bW} = 245 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{bW} = 255 \text{ N/mm}^2 \text{ ile}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{255}{5} = 51 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_b (= 44 \text{ N/mm}^2) < \sigma_{bem} (= 51 \text{ N/mm}^2)$ daha emniyetlidir.

Şekil 7'deki

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot v_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}}$$

eşitliğini ele alalım.

σ_{bWK} - Eğilme alternatif mukavemeti veya tam değişken eğilme mukavemeti veya eğilme için tam değişken zorlanma sınırı (çentik etkisinde)

σ_{ZW} - Çekme-basma alternatif mukavemeti veya çekme-basma için tam değişken zorlanma sınırı (çentiksiz,parlatılmış deney çubuğunda). Şekil 7 ve 9

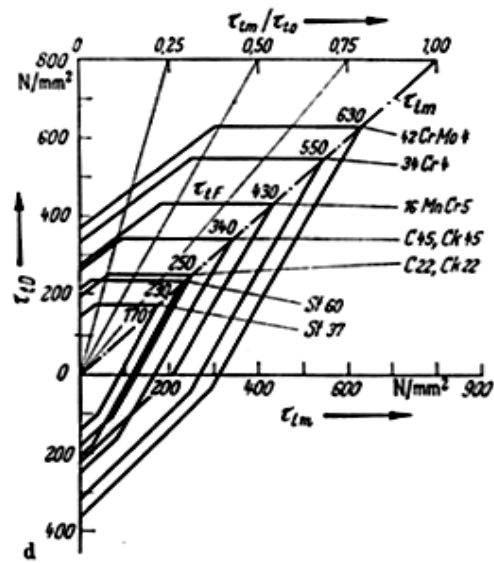
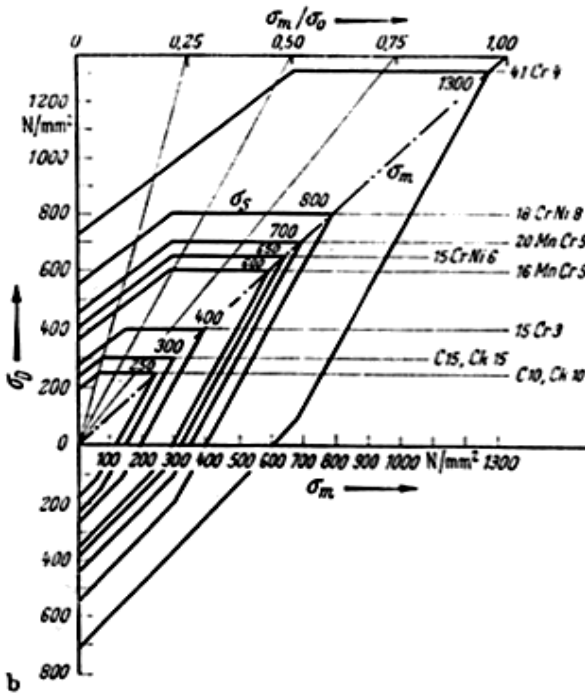
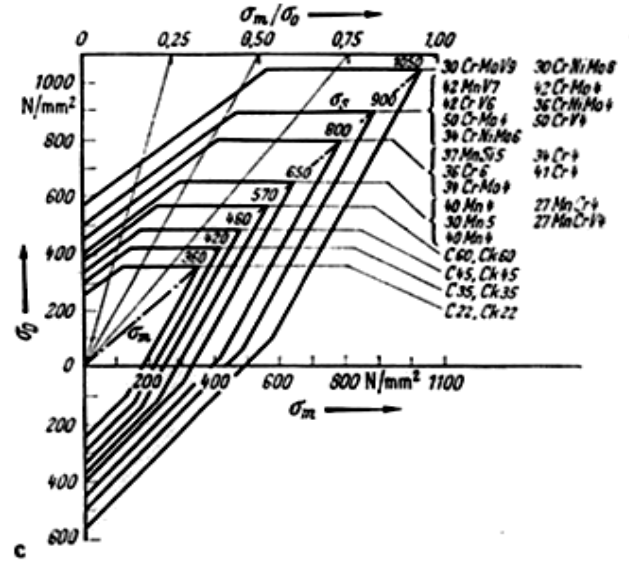
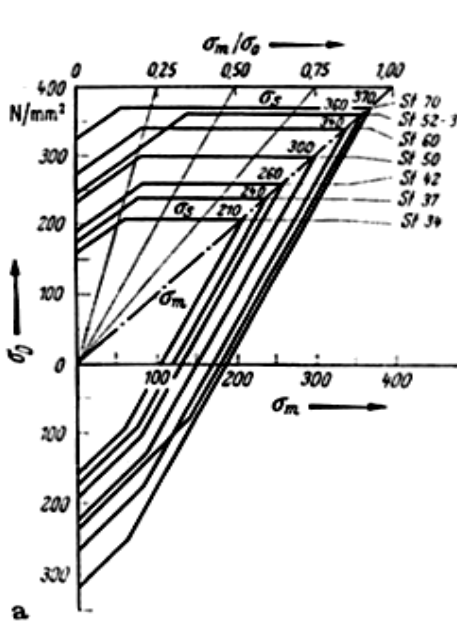
v_d - Dinamik destek faktörü (çentik etkisinde)

$$v_d = 1 + \sqrt{\rho^* \cdot s_\sigma}$$

ρ^* - Malzeme sabiti veya çentik hassasiyeti-malzeme sabiti (malzemenin çentik hassasiyetini gösteren bir faktör) Tablo 5

s_σ - İndirgenmiş gerilme düşüşü (Tablo 6)

b_s - Yüzey düzgünlük faktörü (Şekil 11)



Şekil 9 –Hänchen /Decker ‘e göre, çekme-basma zorlanması için sürekli mukavemet diyagramları (Smith-diyagramları)

- a) Genel imalat çelikleri (DIN17100)
- b) Sementasyon çelikleri (DIN17210)
- c) Islah çelikleri (DIN17200)
- d) Burulma zorlanması için sürekli mukavemet diyagramı

σ_D - Sürekli mukavemet (Genel)
 σ_S - Akma (uzama) sınırı
 τ_{tF} - Burulma-akma sınırı

Çelik ⁽¹⁾										
$\sigma_B =$	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	N / mm^2
$\rho^* =$	0,054	0,046	0,038	0,032	0,026	0,020	0,015	0,010	0,006	mm

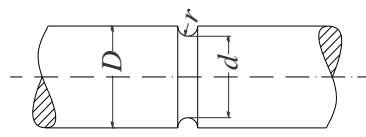
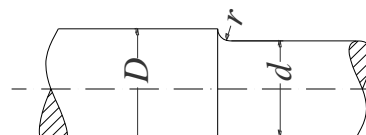
CG ¹			Al,Cu,Mg ¹		Östenitik çelikler ⁽²⁾					
$\sigma_B =$	150	200	300	$\sigma_{0,2} =$	200	400	200	300	400	N / mm^2
$\rho^* =$	0,320	0,240	0,210	$\rho^* =$	0,061	0,051	0,130	0,10	0,080	mm

Tablo 5 – Çekme mukavemeti veya 0,2-uzama sınırına bağlı olarak, değişik malzemeler için malzeme sabiti ρ^* değerleri . [Niemann]

⁽¹⁾ – Siebel’e göre verilen değerler. Petersen daha büyük değerleri önermiştir. Örneğin çelik için : $\rho^* \cong (140 / \sigma_B)^2$

Petersen’e göre çelik döküm ve temper döküm , çelik gibi sınıflandırılır.

⁽²⁾ – Örneğin :X12CrNi 188 (“V2A”-çeliği)korozyona dayanıklı (paslanmaz) çelik veya X40MnCr22 soğuga mukavemetli çelik gibi

Yükleme Şekli	İndirgenmiş gerilme düşüşü s_σ [1/mm]	Şekil
Eğilme	$s_\sigma = \frac{2}{d} + \frac{2}{r} (R)$	<p>R=Oluklu çentik</p> 
	$s_\sigma = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{r} \cdot (A)$	
Çekme -Basma	$s_\sigma = \frac{2}{r} (A, R)$	<p>A=Faturalı</p> 

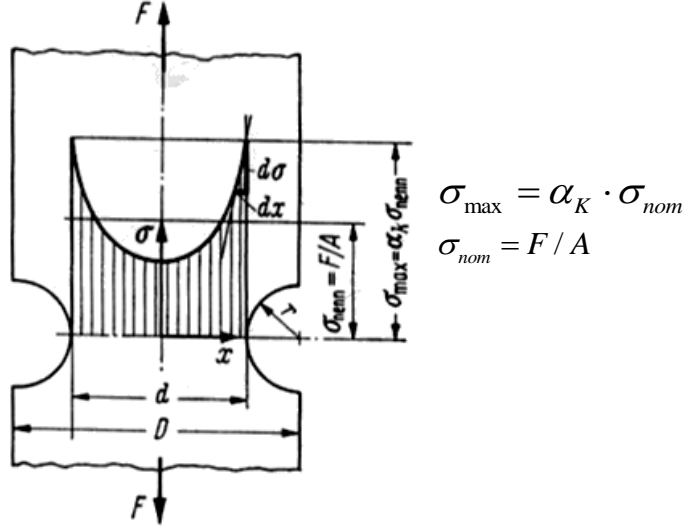
Burulma

$$s_{\sigma} = \frac{2}{d} + \frac{1}{r} (R)$$

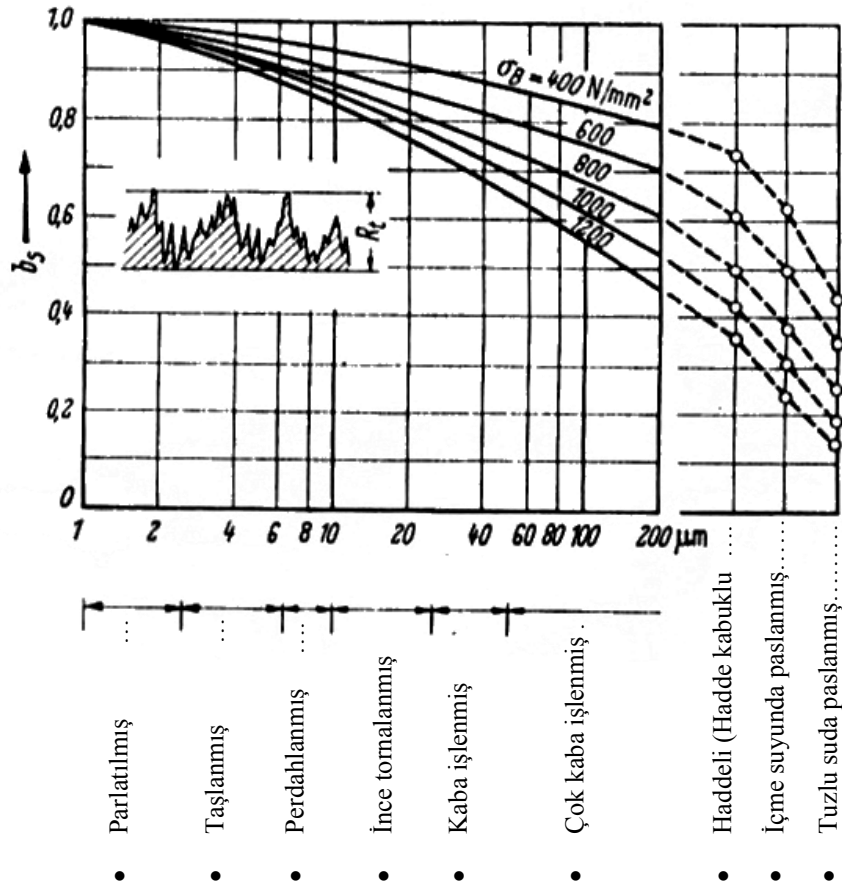
$$s_{\sigma} = \frac{4}{D+d} + \frac{1}{r} \cdot (A)$$

Tablo 6 – İndirgenmiş gerilme düşüşü [Niemann]

$$s_{\sigma} = \frac{d\sigma}{dx \cdot \sigma_{\max}} \quad (\text{Şekil 10})$$



Şekil 10 – Çentikli çekme çubuğunda, gerilme dağılımı ve gerilme değişimi [Niemann]



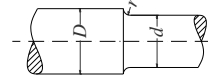
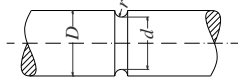
Şekil 11 – Yüzey düzgünlük faktörü b_s [Niemann].

Sürekli mukavemette, artan pürüz derinliği ile ve korozyonlu (paslanmış) yüzeyde b_s azalır. Zaman mukavemeti için $N \leq 10^3$ yük tekrarında $b_s \cong 1$ alınabilir.

α_k	–	Şekil faktörü (Genel)	} (Tablo 7)
α_{kb}	–	Şekil faktörü (Eğilme zorlanmasında)	
α_{kz}	–	Şekil faktörü (Çekme-basma zorlanmasında)	
α_{kt}	–	Şekil faktörü (Burulma zorlanmasında)	

Yuvarlak Çentikli Miller

Faturalı Miller



Katsayılar	Çekme	Eğilme	Burulma	Çekme	Eğilme	Burulma
$A =$	1,140	1,154	1,070	1,080	0,780	0,950
$B =$	0,830	0,980	0,940	0,770	0	0,300
d/D	B					
0,20	0,7201	0,5461	0,2767	0,4884	0,3689	0,1983
0,40	0,6880	0,5315	0,2691	0,4579	0,3562	0,1895
0,60	0,6340	0,5055	0,2557	0,4107	0,3346	0,1747
0,80	0,5255	0,4451	0,2246	0,3254	0,2885	0,1452
0,90	0,4105	0,3687	0,1855	0,2452	0,2359	0,1137
0,95	0,3052	0,2873	0,1442	0,1783	0,1840	0,0847
0,98	0,1960	0,1914	0,0958	0,1127	0,1215	0,0538

Tablo 7 - $\alpha_k = A + B \cdot (X - C)$ eşitliğine göre Şekil faktörü (K.Rühl tarafından elde edilmiş).

Burada , $X = \sqrt{d/r}$ dir. [Niemann].

Eşdeğer Gerilmeler :

Eğilme ve burulma ile zorlanan miller için:

- Max. Şekil değiştirme hipotezine göre eşdeğer gerilme;

$$\sigma_{VG} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_t)^2} \leq \sigma_{bem}$$

σ_{VG} ; Şekil değiştirmeye kabiliyetli malzemelerin (çelik gibi) akmaya (şiddetli kırılma) karşı hesapları için ve sürekli kırılmaya karşı yapılan hesaplarda kullanılabilir.

- Kayma gerilmesi teorisine (hipotezine) göre eşdeğer gerilme;

$$\sigma_{VS} = \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau_t^2}$$

Kesme kırılmasına karşı yapılan hesaplarda kullanılır.

- Normal gerilme teorisine (hipotezine) göre eşdeğer gerilme;

$$\sigma_{VN} = 0,5 \cdot \sigma_b + 0,5 \cdot \sqrt{\sigma_b^2 + 4 \cdot \tau_t^2}$$

Kırılgan malzemelerin birbirinden ayrılarak kopmasına karşı yapılan hesaplarda kullanılır.

σ_b	–	Eğilme gerilmesi
τ_t	–	Burulma gerilmesi (burulma momentinin oluşturduğu kesme gerilmesi)
α_0	–	Zorlanma veya gerilme oranı

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{bem}}{\varphi \cdot \tau_{tem}}$$

σ_{bem}	–	Eğilme emniyet gerilmesi
τ_{tem}	–	Burulma emniyet gerilmesi
φ	–	Katsayı

$\varphi = 1,73$	σ_{VG}	için (Max. Şekil değiştirme hipotezi)
$\varphi = 2$	σ_{VS}	için (Kayma gerilmesi hipotezi)
$\varphi = 1$	σ_{VN}	için (Normal gerilme hipotezi)

σ_{VG} denklemindeki α_0 için :

- σ_b ve τ_t 'nin alternatif (tam değişken) veya σ_b ve τ_t 'nin statik zorlanma hali için;

$$\alpha_0 = 1,0$$

- Eğilmenin alternatif (tam değişken) ve burulmanın titreşimli zorlanma hali için ;

$\alpha_0 = 0,70$	Genel imalat çelikleri
$\alpha_0 = 0,63$	Islah çelikleri
$\alpha_0 = 0,77$	Sementasyon çelikleri

- Eğilmenin statik ve burulmanın alternatif (tam değişken) zorlanma hali için ;

$$\alpha_0 = 1,6$$

alınır.

Eğilme ve burulma ile zorlanan ÇENTİK etkisindeki miller için eşdeğer gerilme;

$$\sigma_{VG} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_{0k} \cdot \tau_t)^2} \leq \sigma_{bWK}$$

veya

$$\sigma_{VG} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_{0k} \cdot \tau_t)^2} = \frac{\sigma_{bWK}}{s_D \cdot C_B}$$

şeklindedir.

α_{0k} - Zorlanma veya gerilme oranı (çentik etkisinde)

$$\alpha_{0k} = \alpha_0 \cdot \frac{\alpha_{kt}}{\alpha_{kb}}$$

α_{kt} - Şekil faktörü (Burulma zorlanmasında) }
 α_{kb} - Şekil faktörü (Eğilme zorlanmasında) } Tablo 7

Not :

- Mil dönen bir makine elemanı olduğundan eğilme gerilmeleri tam değişkendir. Buna karşılık burulma momenti ;statik, değişken veya tam değişken olabilir.
- Pratikte en çok rastlanan, eğilme gerilmelerinin tam değişken ve burulma momentinin statik olduğu hallerdir.
- Burulma momentinin değişim şekli çeşitli karakterlerde olabilir :
 - Burulma momenti zamana bağlı olarak uzun bir süre büyüklüğünü ve yönünü değiştirmezse, buna statik zorlanma,
 - Mil sık sık durur ve aynı yönde yeniden çalışırsa veya hız vites kutularında olduğu gibi sık sık hız değiştirirse titreşimli zorlanma,
 - Sık sık yön değiştirirse, tam değişken zorlanma denebilir.

Verilenlerin (Eşitlik,diyagram,Tablo) kullanılması ile ilgili problemler :

Problem 1 : Bir halat tamburunun aksı sabit olup titreşimli eğilmeye zorlanmaktadır. Aks boydan boya düz ve göbeksizdir. Malzeme St 50 , yüzey ince tormalanmış, $d = \phi 70mm$.
 Aks'ın eğilme emniyet gerilmesi σ_{bem} 'in hesabı istenmektedir.

Cözüm :

- Faydalanılan eğilme-alternatif mukavemeti (uygun yüzey yapılı ve uygun büyüklükteki çentiksiz miller için eğilme-alternatif mukavemeti) σ_{bWN} ;

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_B = 500 N / mm^2 \\ \text{ince tormalanmış yüzey } (R_t \cong 10 \mu m) \end{array} \right\} \sigma_{bWN10} = 235 N / mm^2 \quad (\text{Şekil 7,1b eğrisi})$$

Büyüklik faktörü b_0 ;

$$\begin{aligned} d = \phi 60 \text{ mm} &\rightarrow b_0 = 0,85 \\ d = \phi 80 \text{ mm} &\rightarrow b_0 = 0,82 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} d = \phi 60 \text{ mm} \\ d = \phi 80 \text{ mm} \end{aligned}} \right\} \text{ (Şekil 7)}$$
$$d = \phi 70 \text{ mm} \rightarrow b_0 = \frac{0,85 + 0,82}{2}$$
$$\underline{\underline{b_0 = 0,835}}$$

$$\sigma_{bWN} = \sigma_{bWN10} \cdot b_0 \quad \text{(Şekil 7)}$$

$$\sigma_{bWN} = 235 \cdot 0,835$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bWN} = 196,2 \text{ N / mm}^2}}$$

- Eğilme –titreşim mukavemeti, eğilmede titreşimli zorlanma sınırı veya eğilme için titreşimli zorlanma (10 mm çapındaki, düz parlatılmış miller için) σ_{bSch} ;

İmalat çelikleri için ,

$$\sigma_{bSch} = 1,5 \cdot \sigma_{bW} \quad \text{(Tablo 4)}$$

o halde,

$$\sigma_{bSchN} = 1,5 \cdot \sigma_{bWN} = 1,5 \cdot 196,2$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bSchN} = 294,3 \text{ N / mm}^2}}$$

- Eğilme emniyet gerilmesi σ_{bem} ;

$$\sigma_{bem} = \frac{K \text{ veya faydalı mukavemet değeri}}{\text{Emniyet katsayısı} \cdot \text{İşletme faktörü}} = \frac{\sigma_{bSchN}}{S_D \cdot C_B}$$

$S_D = 1,5$ (Sürekli kırılmaya karşı emniyet katsayısı)

$C_B = 1,4$ (Vinç düzenleri)

$$\sigma_{bem} = \frac{294,3}{1,5 \cdot 1,4}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bem} = 140,1 \text{ N / mm}^2}}$$

Not : σ_{bWN10} , aşağıdaki yöntemle de hesaplanabilir;

$$\sigma_{bW} = 0,49 \cdot \sigma_B \quad \text{(Tablo 4 İmalat çeliği)}$$

$$\sigma_{bW} = 0,49 \cdot 500$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bW} = 245 \text{ N / mm}^2}}$$

Tablo 4 incelendiğinde, σ_{bW} değerinin ~10 mm çapında parlatılmış deney çubukları için olduğu görülür.

Bu arada , çentik etkisiz sürekli mukavemeti nasıl hesaplıyorduk. Bir hatırlatma yapalım.

Farklı yükleme Şekillerinde çekme-basma zorlanması için parlatılmış çentiksiz deney çubuklarının sürekli mukavemet değerleri Şekil 9 ve Tablo 4 de verilmişti. Ayrıca imalat yöntemine bağlı olarak yüzey düzgünlüğünün etkisi b_s faktörü ile Şekil 11 de, eğilme ve burulma zorlanması için imalat büyüklüğünün etkisi b_0 faktörü ile Şekil 7 de göz önüne alınmıştı.

Yararlı eğilme alternatif mukavemeti σ_{bWN} ise, çentiksiz millerde genel olarak 10 mm çapında parlatılmış deney çubuklarının eğilme alternatif mukavemeti σ_{bW} ile

$$\sigma_{bWN} = \sigma_{bW} \cdot b_s \cdot b_0$$

veya

$$\tau_{tWN} = \tau_{tW} \cdot b_s \cdot b_0$$

eşitliklerinden bulunabilir.

Probleme geri dönersek, Tablo 4 de , $\sigma_{bW} = \sigma_{bWN10}$ ve $d = \phi 10 \text{ mm}$ için $b_0 = 1$ (Şekil 7) dir.

$$\sigma_{bWN10} = \sigma_{bW10} \cdot b_s$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_B = 500 \text{ N / mm}^2 \\ \text{İnce tormalanmış yüzey } (R_t \cong 10 \mu\text{m}) \end{array} \right\} b_s = 0,92 \quad (\text{Şekil 11})$$

$$\sigma_{bWN10} = 245 \cdot 0,92$$

$$\underline{\sigma_{bWN10} = 225,4 \text{ N / mm}^2}$$

$$(\sigma_{bWN10})_{1.\text{çözüm}} = 235 \text{ N / mm}^2$$

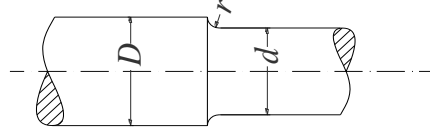
$$(\sigma_{bWN10})_{2.\text{çözüm}} = 225,4 \text{ N / mm}^2$$

$$1 - \frac{225,4}{235} = 0,04$$

2. Çözüm , 1. Çözümün %4'ü kadar daha az bir sonuç verdi. Sadece ortalama değerler veren Tablo 4 ten kaynaklanabilir. Önemsizdir.

Problem 2 : Bir dişli çark mekanizmasının St 60-2 den ince tormalanarak ($R_t \cong 10 \mu\text{m}$) imal edilmiş $d = \phi 50 \text{ mm}$ ve $D = \phi 70 \text{ mm}$ boyutlu mili, tam değişken eğilme ve titreşimli burulmaya zorlanmaktadır. σ_{bWK} değeri ile $\sigma_{VG} = \sqrt{\sigma_B^2 + 3 \cdot (\alpha_{ok} \cdot \tau_t)^2}$ eşitliğindeki α_{ok} katsayısının hesabı istenmektedir.

Çözüm :



$$d = \phi 50 \text{ mm}$$

$$D = \phi 70 \text{ mm}$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

a) σ_{bWK} için çözüm yolu 1:

Şekil 7 den faydalanarak;

$$\sigma_{bWK10} = \sigma_{bWK10(d/D=0,8)} \cdot q$$

$$\frac{d}{D} = \frac{50}{70} \cong 0,71$$

$$\frac{r}{d} = \frac{5}{50} = 0,1$$

$$d/D = 0,8$$

$$r/d = 0,1$$

İnce tornalanmış faturalı mil ($R_t = 10 \mu\text{m}$)

$$\left. \begin{array}{l} d/D = 0,8 \\ r/d = 0,1 \end{array} \right\} \sigma_{bWK10(d/D=0,8)} = 185 \text{ N/mm}^2 \quad \left(\sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2 \right)$$

(için 3a eğrisi)

$$\frac{d}{D} \cong 0,71 \quad \rightarrow \quad q \cong 0,95$$

$$\sigma_{bWK10} = 185 \cdot 0,95$$

$$\sigma_{bWK10} = 175,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0$$

$$d = \phi 50 \text{ mm için , } b_0 = 0,86$$

$$\sigma_{bWK} = 175,7 \cdot 0,86$$

$$\sigma_{bWK} = 151,1 \text{ N/mm}^2$$

b) σ_{bWK} için çözüm yolu 2:

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot g_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}} \quad (\text{Şekil 7})$$

- Çekme –basma alternatif mukavemeti σ_{ZW} ;

$$\sigma_{ZW} = 270 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Şekil 7, 0-eğrisi})$$

$$\sigma_{ZW} = 270 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Şekil 9, St60 eğrisi})$$

- Dinamik destek faktörü (çentik etkisinde) \mathcal{G}_d ;

$$v_d = 1 + \sqrt{\rho^* \cdot s_\sigma}$$

$$\rho^* \text{ – Malzeme sabiti} \quad \sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2 \text{ için } \underline{\rho^* = 0,032} \text{ (Tablo 5)}$$

$$s_\sigma \text{ – İndirgenmiş gerilme düşüşü} \quad s_\sigma = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{r} \quad \left(\text{Tablo 6. Eğilmeye} \right. \\ \left. \text{zorlanan faturalı mil} \right)$$

$$s_\sigma = \frac{4}{70+50} + \frac{2}{5}$$

$$\underline{s_\sigma = 0,43 \text{ 1/mm}}$$

$$v_d = 1 + \sqrt{0,032 \cdot 0,43}$$

$$\underline{v_d \cong 1,12}$$

- Yüzey düzgünlük faktörü b_s ;

$$\left. \begin{array}{l} \text{Mil, ince tormalanmış (} R_t = 10 \mu\text{m)} \\ \sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\} \underline{b_s = 0,90} \text{ (Şekil 11)}$$

- Şekil Faktörü (Eğilme zorlanmasında) α_{kb} ;

Tablo 7 den faydalanarak,

$$\alpha_{kb} = A + B \cdot (X - C)$$

$$X = \sqrt{d/r}$$

Faturalı mil eğilme zorlanması,

$$\underline{A = 0,780}$$

$$\underline{C = 0}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{50}{70} \cong 0,71 \rightarrow \frac{d}{D} = 0,6 \quad \rightarrow B = 0,3346$$

$$\frac{d}{D} = 0,8 \quad \rightarrow B = 0,2885$$

$$\frac{d}{D} \cong 0,70 \quad \rightarrow B = \frac{0,3346 + 0,2885}{2}$$

$$\underline{B = 03116}$$

$$\alpha_{kb} = 0,780 + 0,3116 \cdot \sqrt{\frac{50}{5}}$$

$$\underline{\alpha_{kb} = 1,76}$$

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot g_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}} = \frac{270 \cdot 1,12 \cdot 0,90}{1,76}$$

$$\underline{\sigma_{bWK} = 154,6 \text{ N/mm}^2}$$

1.Çözüm ; $\sigma_{bWK} = 151,1 \text{ N/mm}^2$

2.Çözüm ; $\sigma_{bWK} = 154,6 \text{ N/mm}^2$

1.Çözüm 2. çözümden %2 kadar daha az. Malzeme özelliklerinden olabilir, önemsizdir.

c) σ_{VG} için α_{0k} faktörü :

$$\alpha_{0k} = \alpha_0 \cdot \frac{\alpha_{kt}}{\alpha_{kb}}$$

α_0 - Zorlanma veya gerilme oranı

Tam değişken eğilme }
Titreşimli burulma } Zorlanma hali için

$\alpha_0 = 0,70$ (Genel imalat çelikleri)

α_{kt} - Şekil faktörü (Burulma zorlanmasında)

Tablo 7 den faydalanarak,

$$\alpha_{kt} = A + B \cdot (X - C)$$

$$X = \sqrt{\frac{d}{r}}$$

Faturalı mil, burulma zorlanması,

$$\underline{A = 0,950}$$

$$\underline{C = 0,300}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{50}{70} \cong 0,71 \quad \rightarrow \quad \left[\begin{array}{l} \frac{d}{D} = 0,60 \quad \rightarrow B = 0,1747 \\ \frac{d}{D} = 0,70 \quad \rightarrow B = 0,1452 \end{array} \right]$$

$$\frac{d}{D} = 0,70 \quad \rightarrow \quad B = \frac{0,1747 + 0,1452}{2}$$

$$\underline{B = 0,159}$$

$$\alpha_{kt} = 0,950 + 0,159 \cdot \left(\sqrt{\frac{50}{5}} - 0,3 \right)$$

$$\underline{\alpha_{kt} = 1,4}$$

Zorlanma veya gerilme oranı (çentik etkisinde) α_{0k} ,

$$\alpha_{0k} = \alpha_0 \cdot \frac{\alpha_{kt}}{\alpha_{kb}} = 0,70 \cdot \frac{1,4}{1,76}$$

$$\underline{\alpha_{0k} = 0,56}$$

Dolayısıyla eşdeğer gerilme değeri

$$\underline{\sigma_{VG} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (0,56 \cdot \tau_t)^2} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot c_B}}$$

olur.

Örnek 2 deki 3-3 kesitine yeniden dönelim.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_b = 44 \text{ N/mm}^2 \quad (S : 20) \\ \sigma_{bem} = 51 \text{ N/mm}^2 \quad (S : 20) \end{array} \right\} \text{Hesaplandı}$$

şimdi, σ_{bem} değerini Şekil 7 den faydalanarak hesaplayalım:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d(=d_3)}{D(=d)} = \frac{40}{65} \cong 0,61 \\ \frac{r}{d} = \frac{4}{40} = 0,1 \\ \text{İnce tornalanmış } (R_t \cong 10 \mu\text{m}) \text{ faturalı mil} \end{array} \right\} \sigma_{bWK10} \left(\frac{d}{D} = 0,8 \right) = 160 \text{ N/mm}^2 \left(\begin{array}{l} \sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2 \text{ için} \\ 3a \text{ eğrisi} \end{array} \right)$$

$$\frac{d}{D} = 0,61 \quad \rightarrow \quad q \cong 0,90$$

$$\sigma_{bWK10} = 160 \cdot 0,9$$

$$\sigma_{bWK10} = 144 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0$$

$$d = \phi 40 \text{ mm için} \quad b_0 = 0,88$$

$$\sigma_{bWK} = 144 \cdot 0,88$$

$$\sigma_{bWK} = 126 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{s_D \cdot c_B} = \frac{126}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\sigma_{bem} = 56 \text{ N / mm}^2 \quad (\text{Daha önce } 51 \text{ N / mm}^2 \text{ bulunmuştur. S:20})$$

σ_{bem} değeri

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot v_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}}$$

formülünden faydalanılarak da hesaplanabilir. (Problem 2 ye bakınız)

Çentik Etkisinde Sürekli Mukavemetin Elde Edilmesi

Şekil verilmiş makine elemanının sürekli mukavemeti, bu şekli ile sürekli dayanabileceği sınır gerilmesidir şeklinde tarif edilebilir.

Bir makine elemanı üzerindeki kama yuvası, fatura, v.s. gibi çentiklerin sürekli mukavemeti düşürücü etkisi, β_k çentik katsayısı (çentik faktörü veya çentik etki sayısı) ile göz önüne alınır.

β_k , parlatılmış çentiksiz deney parçasının alternatif mukavemeti σ_w nin , çentikli aynı deney parçasının alternatif mukavemeti σ_{WK} ya oranıdır.

$$\beta_k = \frac{\sigma_w}{\sigma_{WK}}$$

β_k katsayıları, çentik şekline, zorlanma tipine ve malzemeye bağlıdır. Bu nedenle çentik Şekilleri ve malzemeler için eğilme, burulma ve çekme-basma zorlanma durumlarında sürekli mukavemet deneyleri yapılarak (~10 mm çaplı parlatılmış deney çubuklarında) β_k katsayılarının sayısal değerleri elde edilmiştir.

- Çentikli miller için eğilme-alternatif mukavemeti;


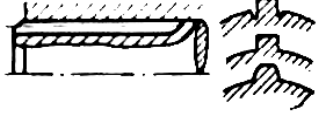
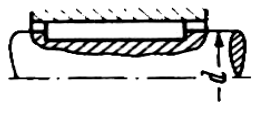
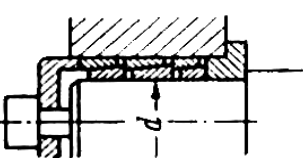
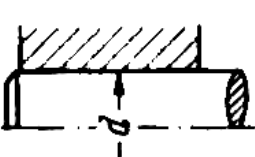

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW} \cdot b_s \cdot b_0}{\beta_{kb}}$$

- Çentikli miller için burulma-alternatif mukavemeti;

$$\tau_{tWK} = \frac{\tau_{tW} \cdot b_s \cdot b_0}{\beta_{kt}}$$

denklemlerinden hesaplanabilir.

$$\left. \begin{array}{l} \beta_{kb} \text{ – Çentik katsayısı (Eğilme zorlanmasında)} \\ \beta_{kt} \text{ – Çentik katsayısı (Burulma zorlanmasında)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{(Tablo 8,9,10 ve)} \\ \text{(Şekil 13,14)} \end{array}$$

Çentik Etkisi	Şekil	Eğilme β_{kb}	Burulma β_{kt}
• Çentikli dişli profil		1,4	3,0
• Çok kamalı mil veya dişli mil profili		1,3	2,7 2,0 1,5
• Gömme kama yuvası, parmak freze ile frezelenmiş (ilave olarak pres geçmeli)		1,7 (2,5)	1,9
• Bilezik kama-(Bilezik yay)-Yay elemanları		1,8	1,2
• Sıkı geçme ($\frac{\ddot{u}}{d} = 1,5 \dots 2 \cdot 10^{-3}$) Şekil 7 ye bakınız. $\ddot{u} = \text{Mil çapı} - \text{Göbek çapı}$		1,7...2,0	~1,5
• Enine delik ($\frac{d_B}{d} \cong 0,1$)		1,7	2,5

- Çevresel sivri çentik



2,5

-

- Bilezik-halka-yuvası



2,2

1,8

Tablo 8 – Eğilme çentik katsayısı β_{kb} ve burulma çentik katsayısı β_{kt} 'nin değişik çentik etkilerine göre değerleri (Şekil 7 de de kısmen göz önüne alınmıştır; mil malzemesi ~St50 ; β_k , σ_B ile artar, $\beta_k = \frac{\sigma_W}{\sigma_{WK}}$, Şekil 7 yi inceleyiniz), milin nominal dış çapına göre.

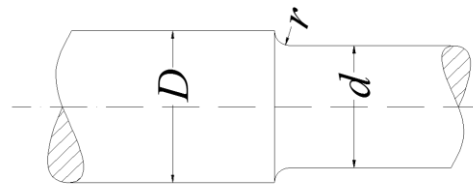
[Niemann]

r/d		0,025	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50
$\sigma_B [N/mm^2]$	50	2,10	1,85	1,55	1,40	1,32	1,22	1,15	1,12
	80	2,30	2,00	1,62	1,45	1,36	1,25	1,15	1,12
	100	2,80	2,35	1,80	1,55	1,43	1,19	1,15	1,12

Tablo 9 – Faturalı miller için eğilmede β_{kb} çentik katsayısı (Şekil 12). Çap oranı $D/d = 2$ için.

Diğer D/d çap oranlarında; $\beta_{kb} = 1 + c_1 \cdot \left[\beta_{kb(D/d=2)}^{-1} \right]$, $c_1 = f(D/d)$ [Prof.Dr.Mustafa SAVCI]

D/d	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,0
c_1	1,0	0,95	0,85	0,78	0,70	0,58	0,44	0,00



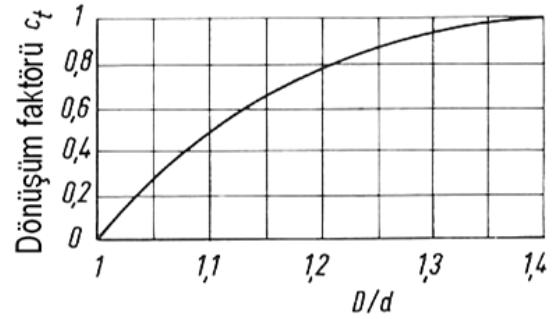
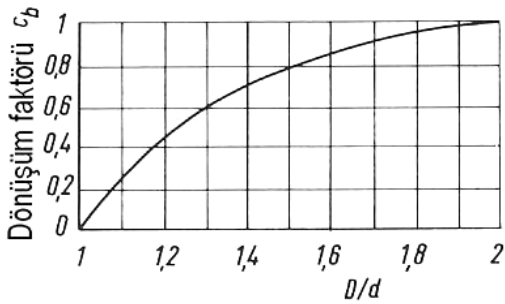
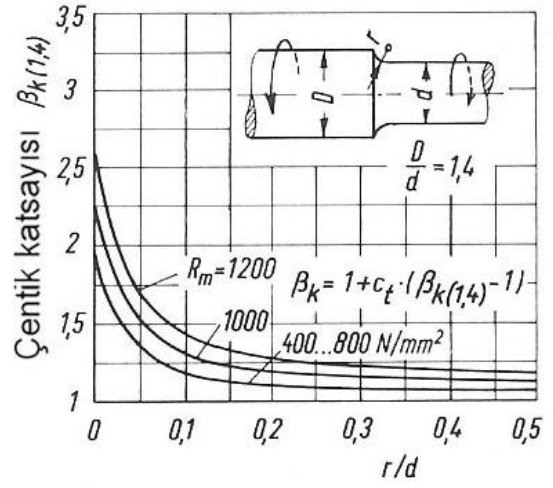
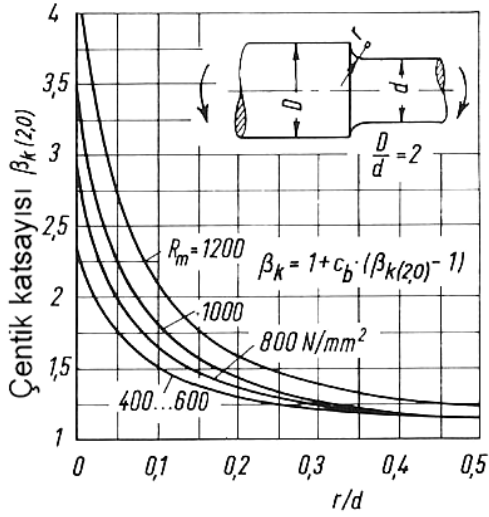
Şekil 12 – Faturalı (kademeli) mil.

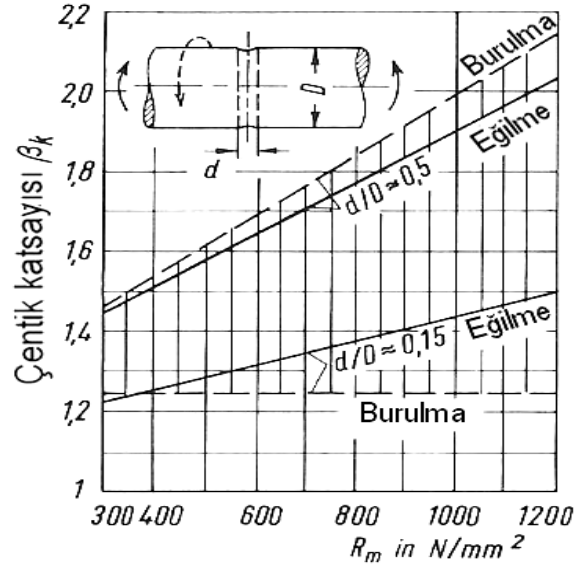
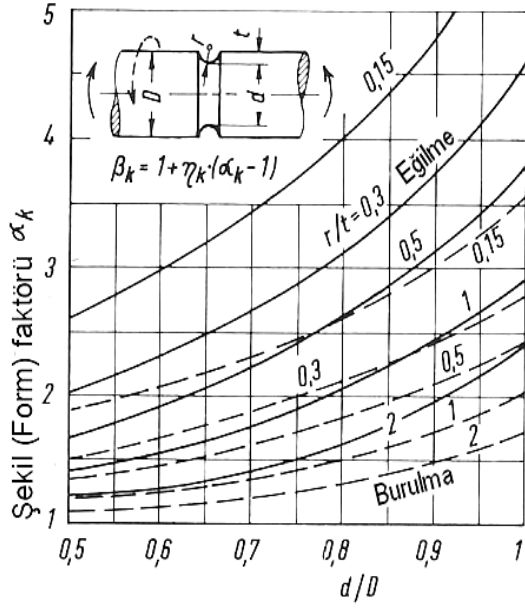
r/d		0,025	0,05	0,075	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
$\sigma_B [N/mm^2]$	60	1,60	1,40	1,27	1,20	1,12	1,08	1,08	1,08
	100	1,76	1,51	1,35	1,26	1,17	1,13	1,12	1,12

Tablo 10 – Faturalı miller için burulmada β_{kt} çentik katsayısı (Şekil 12). Çap oranı $D/d=1,4$ için.

$$\text{Diğer } D/d \text{ çap oranlarında; } \beta_{kt} = 1 + c_2 \cdot \left[\beta_{kt(D/d=1,4)}^{-1} \right], \quad c_2 = f(D/d)$$

D/d	1,4	1,35	1,30	1,25	1,20	1,15	1,10	1,0
c_2	1,0	0,98	0,95	0,90	0,80	0,68	0,50	0,00





Şekil 13 – Çentik katsayılarının elde edilmesi [Roloff / MATEK]

- Faturalı miller, eğilme zorlanması için
- Faturalı miller, burulma zorlanması için.
- Yuvarlak çentikli miller, eğilme ve burulma zorlanması için.
- Enine delikli miller, eğilme ve burulma zorlanması için.

Şekil 13c

$d = \phi 80$, $D = \phi 100$, $D - d = 2 \cdot r$, $r = 10$:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d}{D} = 0,8 \\ \frac{r}{t} = 1 \end{array} \right\} \alpha_k = 2 \text{ (Eğilme)} \quad \left. \begin{array}{l} \beta_{kb} = 1 + \eta_k (\alpha_{kb} - 1) \\ \beta_{kt} = 1 + \eta_k (\alpha_{kt} - 1) \end{array} \right\} \eta_k = 0,4 \dots 1 \text{ (Tablo 11)}$$

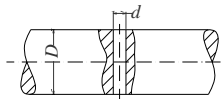
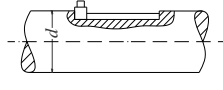
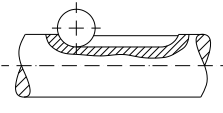
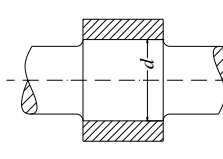
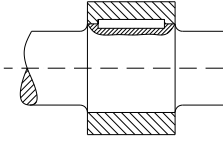
$$\left. \begin{array}{l} \beta_{kb} = 1 + 0,4(2 - 1) = 1,4 \\ \beta_{kt} = 1 + \eta_k (2 - 1) = 2 \end{array} \right\} 1,4 \dots 2$$

Şekil 13c de verilen, $\beta_k = 1 + \eta_k \cdot (\alpha_k - 1)$ denkleminde ;

η_k - Malzemenin çentik hassasiyet faktörü veya malzemenin duyarlılık sayısı (Tablo 11) dır.

η_k nın Tablo 11 deki hangi sınıra daha yakın olduğunu görebilmek için Şekil 15 ten faydalanılabilir.

Çentiğin Cinsi	Şekli	β_k	
		Eğilme	Burulma
Yuvarlak Çentik		1,5...2	1,3...1,8
Seeger halkası yuvası		2,5...3,5	2,5...3,5
Faturalı mil α_k değerleri için (Şekil 17 ve Tablo)		~1,5 $r/d = 0,1$ ve	~1,25 $r/d = 0,1$ ve

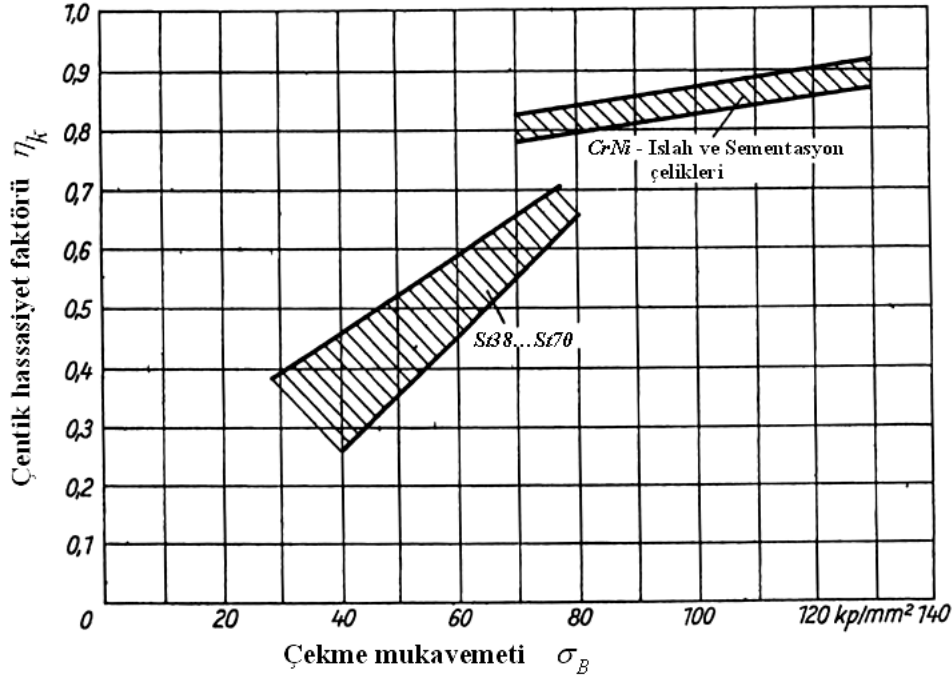
		$d/D = 0,7$ için	$d/D = 0,7$ için
Enine delik		1,4...1,8 $d/D = 0,14$ için	1,4...1,8 $d/D = 0,14$ için
Kama yuvası		1,6...2,0	1,3
Kama yuvası		1,3...1,5	1,3...1,5
Sıkı geçme ile bağlı göbek		1,7...1,9	1,3...1,4
Kama ile bağlı göbek		2,0...2,4	1,5...1,6

Not : Küçük değerler sünek, büyük değerler kırılğan malzemeler içindir.

Şekil 14 – Çentik etki sayısı (çentik faktörü) β_k nın, mildeki değişik çentik şekillerine göre değerleri. Malzeme St37...St60. [Tochtermann/Bodenstein]

Malzeme	η_k
İmalat Çeliği, St37...St60	0,4...0,8
İslah edilmiş çelik	0,6...0,9
Yay çeliği	0,9...1,0
Hafif metaller (Alüminyum v.s. gibi)	0,3...0,6

Tablo 11- Çentik hassasiyet faktörü η_k değerleri [Prof.Dr.M.SAVCI-Prof.Dr.M.AKKURT]



Şekil 15 – Çentik hassasiyet faktörü η_k [Bauer/Schneider/Kalfofen]

Oluk, fatura, sıkı geçme v.s. gibi çentik faktörüne bağlı eğilme gerilmeli millerin Şekil mukavemet değerleri Şekil 7 den direkt olarak alınabilir.

Ayrıca diğer çentik Şekilleri ve burulma gerilmeleri için çentik etki sayıları β_{kb} veya β_{kt} Tablo 8 de gösterilmiştir.

Çentik katsayısı β_k , Şekil faktörü α_k dan daha küçüktür. Şekil 10 incelenirse,

$$\alpha_k = \frac{\sigma_{\max.}}{\sigma_{\text{nom.}}} \quad \text{dolayısıyla} \quad \alpha_{kz} = \frac{\sigma_{\max.}}{F/A}; \quad \alpha_{kb} = \frac{\sigma_{\max.}}{M_b/W_b}; \quad \alpha_{kt} = \frac{\sigma_{\max.}}{M_t/W_t}$$

olduğu görülür.

Çok sayıda makine elemanı ve çentik Şekilleri için α_k Şekil faktörleri teorik olarak hesaplanabilir veya pratikte α_k değerleri Tablo 7 den alınabilir.

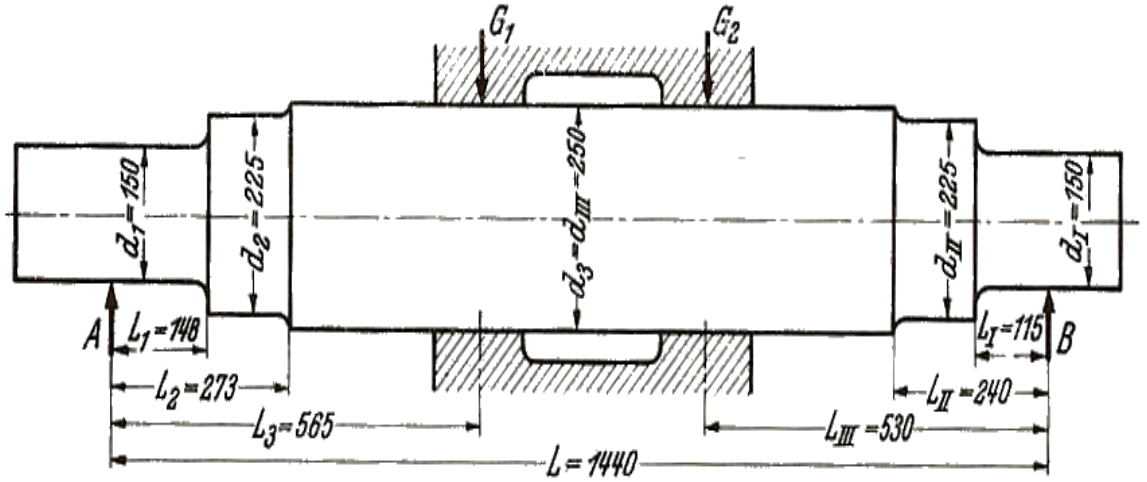
M.ten BOSCH tan tavsiyeler :

- Konstrüktör için, hesaplarında temel olmak üzere α_k Şekil sayısından çok, “çentik etki sayısı” adı verilen ve β_k ile tanımlanan sayının önemi vardır.
- Pratikte, deney yolu ile bulunan “Şekil sayıları” ile iş görmek zorunluluğu vardır.
- Verilen Şekil katsayıları aynı zamanda kademeli millerin çentik katsayısı β_k olarak alınabilir.
- Şu konstrüktif kural geçerlidir : Yapılan yuvarlatmalar gayet pürüzsüz bir şekilde işlenmeli örneğin; taşlama veya parlatma yapılması gibi.
- Sünek çelikten yapılmış millerin hesabında α_k değerlerini temel almak tavsiyeye değer.

Örnek 1 - Şekil 16 daki bir elektrik motor milinin kritik devir sayısı η_K nın hesabı istenmektedir.

Verilenler :

$$\left. \begin{array}{l} G_1 \text{ yükü} = 15000 \text{ N} \\ G_2 \text{ yükü} = 15000 \text{ N} \\ E - \text{Modül} = 2,1 \cdot 10^7 \text{ N/cm}^2 \end{array} \right\} \text{Mil dahil}$$



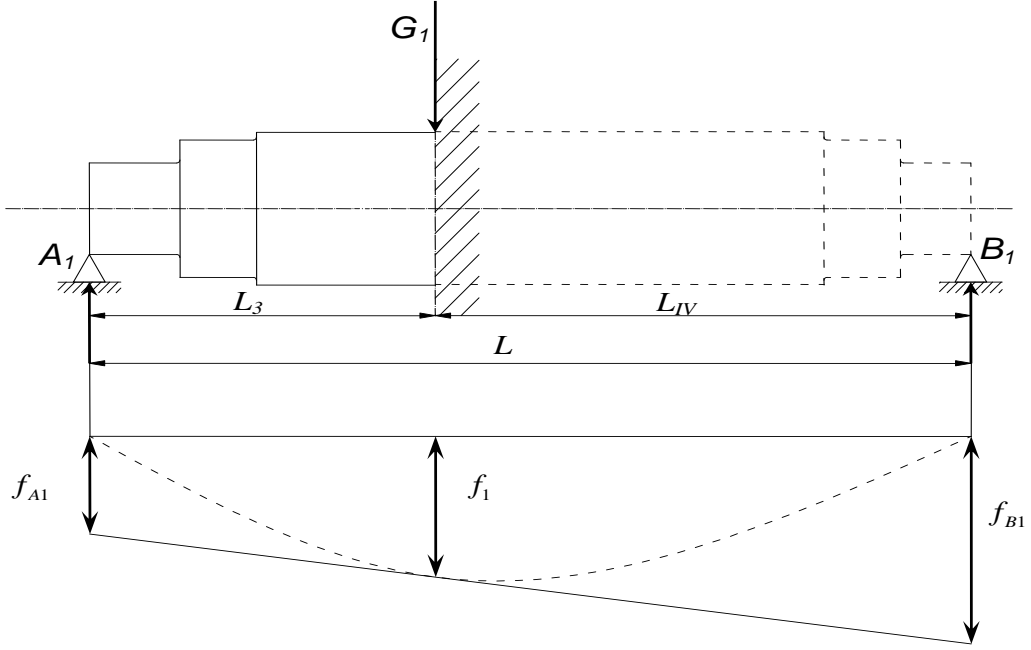
Şekil 16 – Örnek 3 için, bir elektrik motorunun mili. Ölçüler (mm) dir.

Çözüm - Milin üzerinde birden fazla kütle 1,2,3.... bulunuyorsa ve her kütle için sehim (çökme) f_1, f_2, \dots ise, $f \cong f_1 + f_2 + \dots$ olur. Kritik devir sayısında

$$\eta_k = 300 \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \quad (f - \text{cm} ; \eta_k - d/\text{dak}) \text{ formülünden (Tablo 2) hesaplanır.}$$

Serbest yataklanmış (mesnetlenmiş) mil;

1) G_1 den dolayı mildeki sehim (çökme) f_1 ;



Şekil 16-a G_1 yükü altında faturalı bir milin, f_{A1} ve f_{B1} sehimlerinden (çökmelerinden) f_1 sehiminin (çökmesinin) hesaplanması.

- G_1 yükü altında yatak (mesnet) kuvvetleri ;

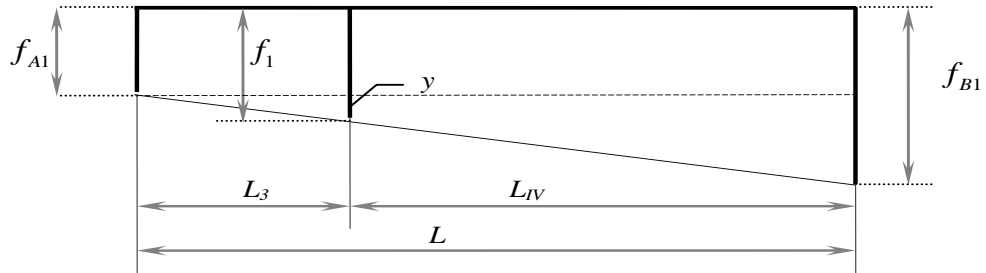
$$A_1 \cdot L = G_1 \cdot L_{IV} \rightarrow A_1 \cdot 1440 = 15000 \cdot (1440 - 565)$$

$$\underline{A_1 \cong 9100 \text{ N}}$$

$$B_1 = G_1 - A_1 \rightarrow B_1 = 15000 - 9100$$

$$\underline{B_1 = 5900 \text{ N}}$$

- G_1 yükü altında milin f_1 sehimi (çökmesi)



Şekil 16-b f_{A1} , f_1 ve f_{B2} sehimlerinin şematik gösterimi

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= f_{A1} + y \\ \frac{y}{f_{B1} - f_{A1}} &= \frac{L_3}{L} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} f_1 &= f_{A1} + (f_{B1} - f_{A1}) \cdot \frac{L_3}{L} \\ f_1 &= f_{A1} + \frac{f_{B1} - f_{A1}}{L/L_3} \end{aligned} \quad \text{bulunur.}$$

f_{A1} - G_1 noktasında sıkıştırıldığı ve A_1 yükü ile yüklendiği düşünülürse milin sehim

$$\begin{aligned} f_{A1} &= \frac{A_1 \cdot 6,8}{E} \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{L_3^3 - L_2^3}{d_3^4} \right] \\ f_{A1} &= \frac{9100 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \left[\frac{14,8^3}{15^4} + \frac{27,3^3 - 14,8^3}{22,5^4} + \frac{56,5^3 - 27,3^3}{25^4} \right] \\ \underline{f_{A1} &\cong 16 \cdot 10^{-4} \text{ cm}} \end{aligned}$$

f_{B1} - G_1 noktasında sıkıştırıldığı ve B_1 yükü ile yüklendiği düşünülürse milin sehim

$$\begin{aligned} f_{B1} &= \frac{B_1 \cdot 6,8}{E} \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_{II}^3 - L_1^3}{d_{II}^4} + \frac{L_{IV}^3 - L_{II}^3}{d_{III}^4} \right] \\ f_{B1} &= \frac{5900 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \left[\frac{11,5^3}{15^4} + \frac{24^3 - 11,5^3}{22,5^4} + \frac{87,5^3 - 24^3}{25^4} \right] \\ \underline{f_{B1} &\cong 34 \cdot 10^{-4} \text{ cm}} \end{aligned}$$

$$f_1 = 16 \cdot 10^{-4} + \frac{34 \cdot 10^{-4} - 16 \cdot 10^{-4}}{144/56,5}$$

$$\underline{f_1 \cong 23 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

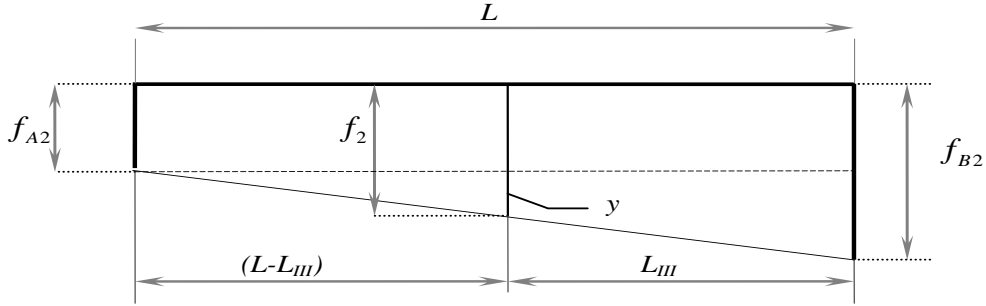
2) G_2 den dolayı mildeki sehim (çökme) f_2 ;

- G_2 yükü altında yatak (mesnet) kuvvetleri :

$$\begin{aligned} A_2 \cdot L &= G_2 \cdot L_{III} & \rightarrow & \quad A_2 \cdot 1440 = 15000 \cdot 530 \\ & & & \quad \underline{A_2 = 5520 \text{ N}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_2 &= G_2 - A_2 & \rightarrow & \quad B_2 = 15000 - 5520 \\ & & & \quad \underline{B_2 = 9480 \text{ N}} \end{aligned}$$

- G_2 yükü altında milin f_2 sehimi (çökmesi)



16-c f_2 sehiminin şematik gösterimi

$$f_2 = f_{A2} + y$$

$$\frac{y}{f_{B2} - f_{A2}} = \frac{L - L_{III}}{L} \quad \rightarrow \quad f_2 = f_{A2} + (f_{B2} - f_{A2}) \cdot \frac{L - L_{III}}{L}$$

$$f_2 = f_{A2} + \frac{f_{B2} - f_{A2}}{L} \cdot (L - L_{III})$$

f_{A2} - G_2 noktasında sıkıştırıldığı ve A_2 yükü ile yüklendiği düşünülürse milin sehimi :

$$f_{A2} = \frac{A_2 \cdot 6,8}{E} \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{L_3^3 - L_2^3}{d_3^4} \right]$$

$$f_{A2} = \frac{5520 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \left[\frac{14,8^3}{15^4} + \frac{27,3^3 - 14,8^3}{22,5^4} + \frac{(144 - 53)^3 - 27,3^3}{25^4} \right]$$

$$\underline{f_{A2} \cong 36 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

f_{B2} - G_2 noktasında sıkıştırıldığı ve B_2 yükü ile yüklendiği düşünülürse milin sehimi :

$$f_{B2} = \frac{B_2 \cdot 6,8}{E} \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_{II}^3 - L_1^3}{d_{II}^4} + \frac{L_{III}^3 - L_{II}^3}{d_{III}^4} \right]$$

$$f_{B1} = \frac{9480 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \left[\frac{11,5^3}{15^4} + \frac{24^3 - 11,5^3}{22,5^4} + \frac{53^3 - 24^3}{25^4} \right]$$

$$\underline{f_{B1} \cong 13 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

$$f_2 = 36 \cdot 10^{-4} + \frac{13 \cdot 10^{-4} - 36 \cdot 10^{-4}}{144 / (144 - 53)}$$
$$\underline{f_2 = 21 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

$$f = f_1 + f_2 = 23 \cdot 10^{-4} + 21 \cdot 10^{-4}$$

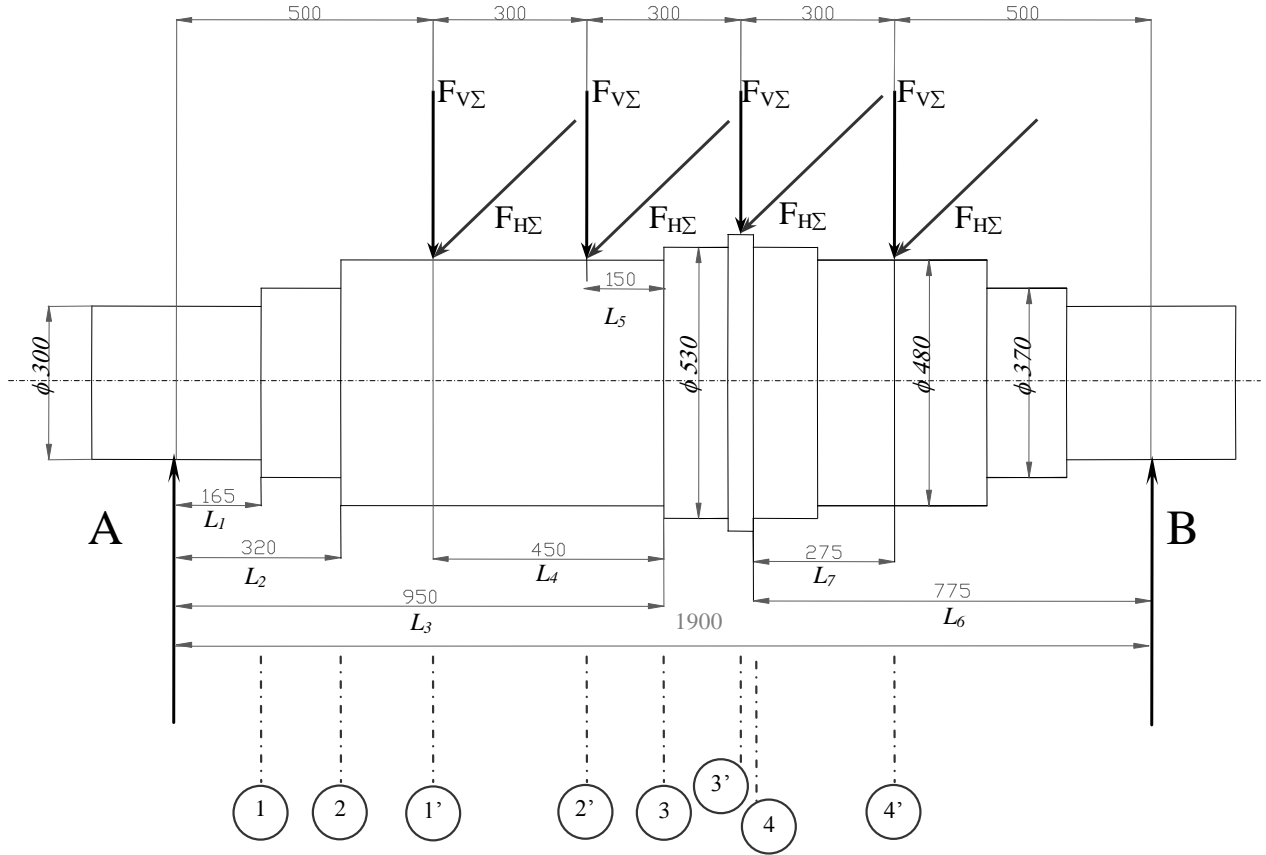
$$\underline{f = 44 \cdot 10^{-4} \text{ cm}}$$

Kritik devir sayısı ;

$$\eta_k = 300 \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} = 300 \cdot \sqrt{\frac{1}{44 \cdot 10^{-4}}}$$
$$\eta_k \cong 4520 \text{ d/dak.}$$

bulunur.

KOZLU yeni kuyu molet döner AKS'inin mukavemet kontrolü



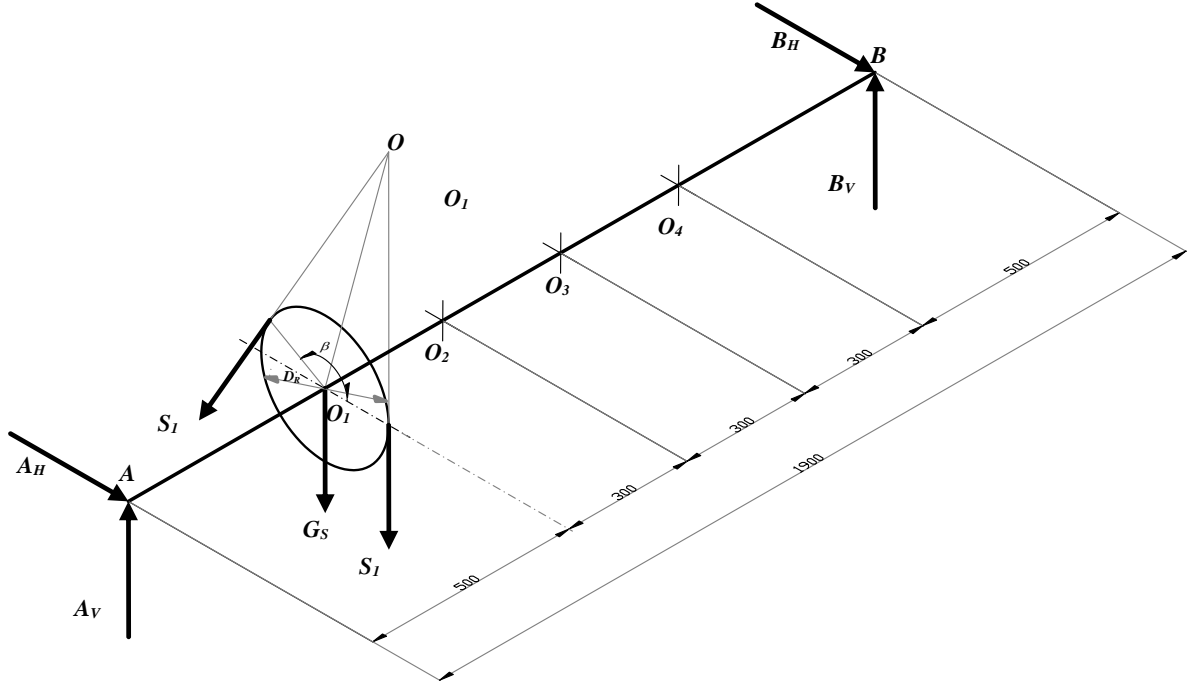
Şekil 17 – Döner AKS'in konstrüktif boyutları ve AKS'a tesir eden kuvvetler.

Malzeme : Ck45 , $\sigma_s = 33,3 \text{ kN} / \text{cm}^2$

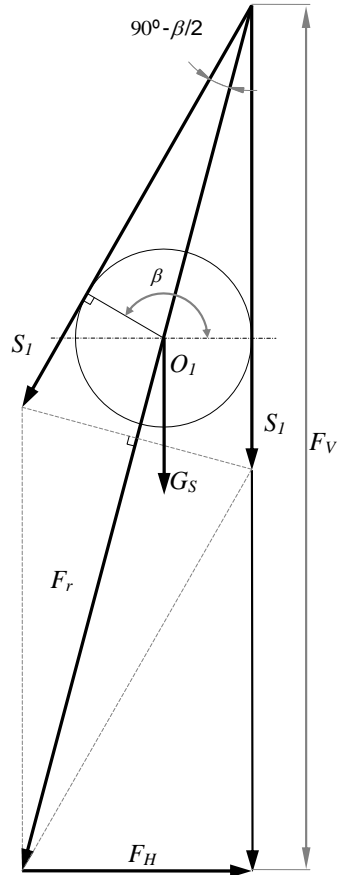
Verilen değerleri hatırlayalım ;

- Halat çekme kuvveti (Statik halat yükü) : $S_1 = 130 \text{ kN}$ (Toplam)
- Molet yükü : $G_s = 33 \text{ kN}$
- Halat sarım açısı : $\beta = 150^\circ$
- Halat kopma yükü (Elde edilmiş kopma yükü) : $S_B \cong 950 \text{ kN}$
- Molet yuvarlanma dairesi çapı : $D_R = \phi 3240 \text{ mm}$
- Yatak açıklığı : $L = 1900 \text{ mm}$
- Halat çapı : $d = \phi 36 \text{ mm}$
- Darbe faktörü : $f_z = 1,1$
- Max. halat hızı : $V = 14,4 \text{ m} / \text{sn}$

Aks'a tesir eden kuvvetler simetrik olduğundan, önce bir molet üzerindeki toplam kuvvetleri hesaplayalım.



Şekil 18 – Molet aks'ı ve bir moletteki kuvvetler.



Şekil 19 – Molet bileşke kuvveti ve bileşenleri

- Bileşke kuvvet F_r ;

$$\frac{F_r}{2} = S_1 \cdot \cos\left(90 - \frac{\beta}{2}\right) \quad \rightarrow \quad F_r = 2 \cdot S_1 \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$F_r = 2 \cdot 130 \cdot \sin\left(\frac{150}{2}\right)$$

$$\underline{F_r = 251,1 \text{ kN}}$$

- Bileşke kuvvetinin düşey bileşeni F_v ;

$$F_v = F_r \cdot \cos\left(90 - \frac{\beta}{2}\right) \quad \rightarrow \quad F_v = F_r \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$F_v = 251,1 \cdot \sin\left(\frac{150}{2}\right)$$

$$\underline{F_v = 242,5 \text{ kN}}$$

- Bileşke kuvvetinin yatay bileşeni F_H ;

$$F_H = F_r \cdot \sin\left(90 - \frac{\beta}{2}\right) \quad \rightarrow \quad F_H = F_r \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right)$$

$$F_H = 251,1 \cdot \cos\left(\frac{150}{2}\right)$$

$$\underline{F_H = 65 \text{ kN}}$$

- Toplam düşey kuvvet $F_{v\Sigma}$;

$$F_{v\Sigma} = G_s + F_v \cdot f_z$$

$$F_{v\Sigma} = 33 + 242,5 \cdot 1,1$$

$$\underline{F_{v\Sigma} \cong 300 \text{ kN}}$$

- Toplam yatay kuvvet $F_{H\Sigma}$;

$$F_{H\Sigma} = F_H \cdot f_z$$

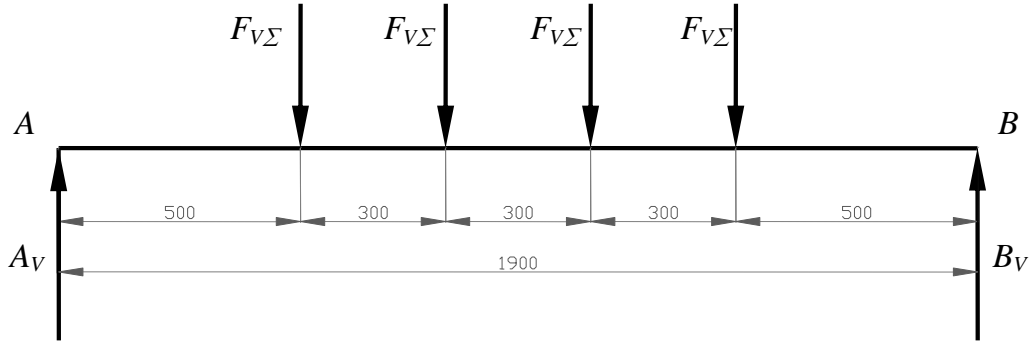
$$F_{H\Sigma} = 65 \cdot 1,1$$

$$\underline{F_{H\Sigma} = 71,5 \text{ kN}}$$

Yatak Kuvvetleri :

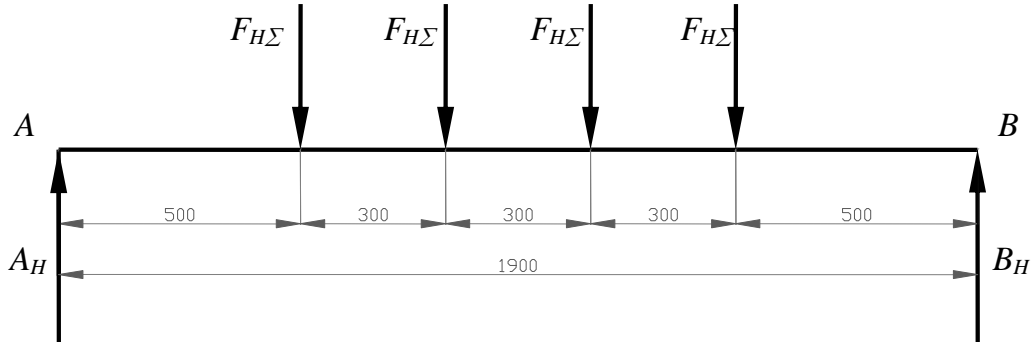
Hesaplarımız, her molet üzerine $F_{v\Sigma}$ ve $F_{H\Sigma}$ kuvvetlerinin tesir etmesi haline göre yapılmıştır.

- Düşey düzlemde A_v , B_v ;



$$\left. \begin{aligned} A_v &= B_v \\ A_v + B_v &= 4 \cdot F_{V\Sigma} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} A_v &= B_v = 2 \cdot F_{V\Sigma} \\ A_v &= B_v = 2 \cdot 300 \\ \underline{A_v &= B_v = 600 \text{ kN}} \end{aligned}$$

- Yatay düzlemde A_H , B_H ;



$$\left. \begin{aligned} A_H &= B_H \\ A_H + B_H &= 4 \cdot F_{H\Sigma} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} A_H &= B_H = 2 \cdot F_{H\Sigma} \\ A_H &= B_H = 2 \cdot 71,5 \\ \underline{A_H &= B_H = 143 \text{ kN}} \end{aligned}$$

Bileşke yatak kuvvetleri :

- A – Yatağı ;

$$\begin{aligned} A_r &= \sqrt{A_v^2 + A_H^2} \\ A_r &= \sqrt{600^2 + 143^2} \\ \underline{A_r &= 616,8 \text{ kN}} \end{aligned}$$

- B – Yatağı ;

$$B_r = A_r$$

$$\underline{B_r = 616,8 \text{ kN}}$$

Eğilme momentleri (1'...4' kuvvet tesir kesitlerinde) :

— Düşey düzlemde ;

- $M_{b1'V} = A_V \cdot 500$
 $M_{b1'V} = 600 \cdot 500 = 300000 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b1'V} = 30000 \text{ kNcm}}$
- $M_{b2'V} = A_V \cdot (500 + 300) - F_{V\Sigma} \cdot 300$
 $M_{b2'V} = 600 \cdot (500 + 300) - 300 \cdot 300$
 $M_{b2'V} = 390000 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b2'V} = 39000 \text{ kNcm}}$
- $M_{b3'V} = B_V \cdot (500 + 300) - F_{V\Sigma} \cdot 300$
 $M_{b3'V} = 600 \cdot (500 + 300) - 300 \cdot 300$
 $M_{b3'V} = 390000 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b3'V} = 39000 \text{ kNcm}}$
- $M_{b4'V} = B_V \cdot 500$
 $M_{b4'V} = 600 \cdot 500 = 300000 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b4'V} = 30000 \text{ kNcm}}$

— Yatay düzlemde ;

- $M_{b1'H} = A_H \cdot 500$
 $M_{b1'H} = 143 \cdot 500 = 71500 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b1'H} = 7150 \text{ kNcm}}$
- $M_{b2'H} = A_H \cdot (500 + 300) - F_{H\Sigma} \cdot 300$
 $M_{b2'H} = 143 \cdot (500 + 300) - 71,5 \cdot 300$
 $M_{b2'H} = 92950 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b2'H} = 9295 \text{ kNcm}}$

- $$M_{b3'H} = B_H \cdot (500 + 300) - F_{H\Sigma} \cdot 300$$

$$M_{b3'H} = 143 \cdot (500 + 300) - 71,5 \cdot 300$$

$$M_{b3'H} = 92950 \text{ kNmm}$$

$$\underline{M_{b3'H} = 9295 \text{ kNcm}}$$
- $$M_{b4'H} = B_H \cdot 500$$

$$M_{b4'H} = 143 \cdot 500 = 71500 \text{ kNmm}$$

$$\underline{M_{b4'H} = 7150 \text{ kNcm}}$$

Bileşke eğilme momentleri (1'...4' kuvvet tesir kesitlerinde) :

- $$M_{b1'r} = \sqrt{M_{b1'V}^2 + M_{b1'H}^2}$$

$$M_{b1'r} = \sqrt{30000^2 + 7150^2}$$

$$\underline{M_{b1'r} = 30840 \text{ kNcm}}$$
- $$M_{b2'r} = \sqrt{M_{b2'V}^2 + M_{b2'H}^2}$$

$$M_{b2'r} = \sqrt{39000^2 + 9295^2}$$

$$\underline{M_{b2'r} = 40092 \text{ kNcm}}$$
- $$M_{b3'r} = \sqrt{M_{b3'V}^2 + M_{b3'H}^2}$$

$$M_{b3'r} = \sqrt{39000^2 + 9295^2}$$

$$\underline{M_{b3'r} = 40092 \text{ kNcm}}$$
- $$M_{b4'r} = \sqrt{M_{b4'V}^2 + M_{b4'H}^2}$$

$$M_{b4'r} = \sqrt{30000^2 + 7150^2}$$

$$\underline{M_{b4'r} = 30840 \text{ kNcm}}$$

Eğilme momentleri (1...4 kontrol kesitlerinde) :

- $$M_{b1V} = A_V \cdot 165$$

$$M_{b1V} = 600 \cdot 165 = 99000 \text{ kNmm}$$

$$\underline{M_{b1V} = 9900 \text{ kNcm}}$$
- $$M_{b1H} = A_H \cdot 165$$
- $$M_{b1H} = 143 \cdot 165 = 23595 \text{ kNmm}$$
- $$\underline{M_{b1H} = 2359,5 \text{ kNcm}}$$

$$M_{b1r} = \sqrt{M_{b1V}^2 + M_{b1H}^2}$$

$$M_{b1r} = \sqrt{9900^2 + 2359,5^2}$$

$$\underline{M_{b1r} = 10177,3 \text{ kNcm}}$$

- $M_{b2V} = A_V \cdot 320$
 $M_{b2V} = 600 \cdot 320 = 192000 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b2V} = 19200 \text{ kNcm}}$

$$M_{b2H} = A_H \cdot 320$$

$$M_{b2H} = 143 \cdot 320 = 45760 \text{ kNmm}$$

$$\underline{M_{b2H} = 4576 \text{ kNcm}}$$

$$M_{b2r} = \sqrt{M_{b2V}^2 + M_{b2H}^2}$$

$$M_{b2r} = \sqrt{19200^2 + 4576^2}$$

$$\underline{M_{b2r} = 19737,8 \text{ kNcm}}$$

- $M_{b3V} = A_V \cdot 950 - F_{V\Sigma} \cdot 450 - F_{V\Sigma} \cdot 150$
 $M_{b3V} = 600 \cdot 950 - 300 \cdot 450 - 300 \cdot 150$
 $M_{b3V} = 390000 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b3V} = 39000 \text{ kNcm}} = M_{b3'V}$

$$M_{b3H} = A_H \cdot 950 - F_{H\Sigma} \cdot 450 - F_{H\Sigma} \cdot 150$$

$$M_{b3H} = 143 \cdot 950 - 71,5 \cdot 450 - 71,5 \cdot 150$$

$$M_{b3H} = 92950 \text{ kNmm}$$

$$\underline{M_{b3H} = 9295 \text{ kNcm}} = M_{b3'H}$$

$$M_{b3r} = M_{b3'r}$$

$$\underline{M_{b3r} = 40092 \text{ kNcm}}$$

- $M_{b4V} = B_V \cdot 775 - F_{V\Sigma} \cdot 275$
 $M_{b4V} = 600 \cdot 775 - 300 \cdot 275$
 $M_{b4V} = 382500 \text{ kNmm}$
 $\underline{M_{b4V} = 38250 \text{ kNcm}}$

$$M_{b4H} = B_H \cdot 775 - F_{H\Sigma} \cdot 275$$

$$M_{b4H} = 143 \cdot 775 - 71,5 \cdot 275$$

$$M_{b4H} = 91162,5 \text{ kNmm}$$

$$\underline{M_{b4H} \cong 9116 \text{ kNcm}}$$

$$M_{b4r} = \sqrt{M_{b4V}^2 + M_{b4H}^2}$$

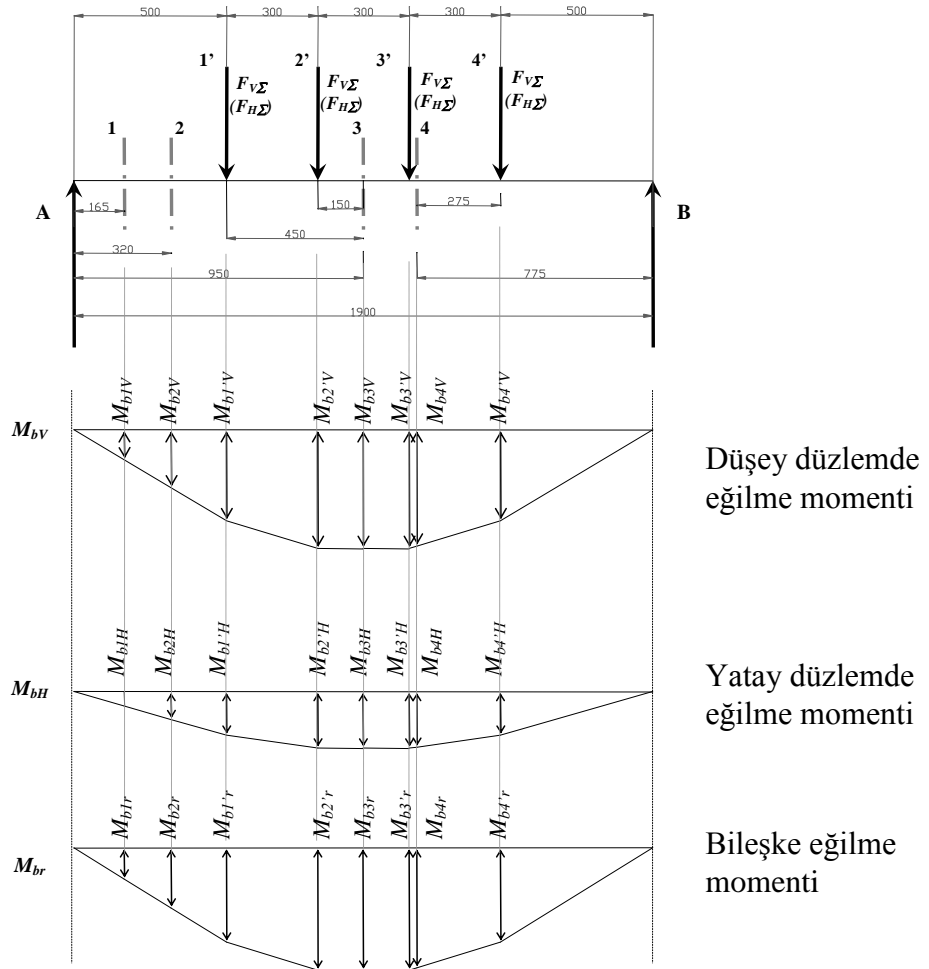
$$M_{b4r} = \sqrt{38250^2 + 9116^2}$$

$$M_{b4r} = 39321,3 \text{ kNcm}$$

Hesaplanan değerleri Tablo 12 de gösterelim ve moment diyagramlarını izelim (Şekil 20).

Eğilme Momentleri [kN.cm]	K E S İ T L E R							
	1	2	1'	2'	3	3'	4	4'
M_{bV}	9900	19200	30000	39000	39000	39000	38250	30000
M_{bH}	2359,5	4576	7150	9295	9295	9295	9116	7150
M_{br}	10177,3	19737,8	30840	40092	40092	40092	39321,3	30840

Tablo 12 – Kesitlere göre hesaplanan moment değerleri



Şekil 20 – Eğilme ve bileşke moment diyagramları

Eğilme gerilmeleri (1...4 kontrol kesitlerinde) :

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{\left(\pi \cdot d^3 / 32\right)} \cong \frac{M_b}{0,1 \cdot d^3} \quad \frac{\sigma_b}{N / mm^2} \left| \frac{M_b}{Nmm} \right| \frac{d}{mm}$$

- $\sigma_{b1} = \frac{M_{b1r}}{0,1 \cdot d_1^3} = \frac{101773 kNmm}{0,1 \cdot (300 mm)^3} = \frac{101773 \cdot 10^3 \cdot Nmm}{0,1 \cdot (300 mm)^3}$

$$\underline{\sigma_{b1} = 37,7 N / mm^2}$$

- $\sigma_{b2} = \frac{M_{b2r}}{0,1 \cdot d_2^3} = \frac{197378 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (370)^3} = 38,96 N / mm^2$

$$\underline{\sigma_{b2} \cong 39 N / mm^2}$$

- $\sigma_{b3} = \frac{M_{b3r}}{0,1 \cdot d_3^3} = \frac{400920 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (480)^3} = 36,252 N / mm^2$

$$\underline{\sigma_{b3} = 36,3 N / mm^2}$$

- $\sigma_{b4} = \frac{M_{b4r}}{0,1 \cdot d_4^3} = \frac{393213 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (530)^3} = 26,412 N / mm^2$

$$\underline{\sigma_{b4} = 26,4 N / mm^2}$$

Not : Eğilme gerilmesi (3' kesitinde);

$$\sigma_{b3'} = \frac{M_{b3'r}}{0,1 \cdot d_{3'}^3} = \frac{400920 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (530)^3} = 26,93 N / mm^2$$

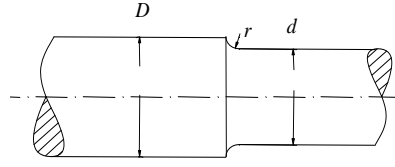
$$\underline{\sigma_{b3'} \cong 27 N / mm^2}$$

Müsaade edilen eğilme gerilmeleri veya eğilme emniyet gerilmeleri;

- Malzeme : Ck45 (Islah çeliği)
- Çekme mukavemeti : $\sigma_B = 670 \dots 820 N / mm^2$ (Tablo 1)
 $\underline{\sigma_B = 700 N / mm^2}$ (Kabul)

- Aks ince tornalanmış : $R_t \cong 10 \mu m$

(1) kesitinde :



$$\begin{aligned} D &= \phi 370 [mm] \\ d &= \phi 300 [mm] \\ r &= 15 [mm] \end{aligned}$$

Çözüm yolu 1 :

$$\begin{aligned} \frac{d}{D} &= \frac{300}{370} = 0,81 \\ \frac{r}{d} &= \frac{15}{300} = 0,05 \end{aligned}$$

Şekil 7/3' e göre ;

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{D} &= 0,80 \\ \frac{r}{d} &= 0,05 \\ R_t &\cong 10 \mu m \end{aligned} \right\} \text{Faturalı mil. } \underline{\underline{\sigma_{bWK10}(\frac{d}{D}=0,8) \cong 180 N/mm^2}} \quad (\sigma_B = 700 N/mm^2 \text{ için 3b eğrisi})$$

$$\frac{d}{D} = 0,81 \cong 0,8 \rightarrow q = 1$$

$$\sigma_{bWK10} = \sigma_{bWK10}(\frac{d}{D}=0,8) \cdot q = 180 \cdot 1 N/mm^2$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bWK10} = 180 N/mm^2}}$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0 \quad d = \phi 300 mm \rightarrow \underline{b_0 = 0,7}$$

$$\sigma_{bWK} = 180 \cdot 0,70$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bWK} = 126 N/mm^2}}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B}$$

$$S = S_D = 1,5 \quad (\text{Sürekli kırılmaya karşı emniyet katsayısı})$$

$$C_B = 1,5 \quad (\text{İşletme faktörü. Vinç düzenleri})$$

$$\sigma_{bem} = \frac{126}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{(\sigma_{bem1})_{1.\text{çözüm}} = 56 N/mm^2}}$$

Çözüm yolu 2 :

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot \mathcal{G}_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}}$$

- Çekme – basma alternatif mukavemeti σ_{ZW} ;

$$\sigma_{ZW} = 322 \text{ N/mm}^2 \text{ (Şekil 7, } \sigma_B = 700 \text{ N/mm}^2 \text{ için 0-eğrisi)}$$

$$\sigma_{ZW} = 335 \text{ N/mm}^2 \text{ (Şekil 9-c, Ck45 için)}$$

$$\sigma_{ZW} = 310 \text{ N/mm}^2 \text{ (Şekil 21-a, Ck45 için)}$$

- Dinamik destek faktörü (çentik etkisinde) \mathcal{G}_d ;

$$v_d = 1 + \sqrt{\rho^* \cdot s_\sigma}$$

ρ^* - malzeme sabiti

$$\sigma_B = 700 \text{ N/mm}^2 \text{ için ,}$$

$$\rho^* = 0,026 \text{ mm} \quad (\text{Tablo 5})$$

s_σ - indirgenmiş gerilme düşüşü ;

$$s_\sigma = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{r} \quad (\text{Tablo 6. Eğilmeye zorlanan faturalı mil})$$

$$s_\sigma = \frac{4}{370+300} + \frac{2}{15}$$

$$\underline{s_\sigma \cong 0,14 \text{ 1/mm}}$$

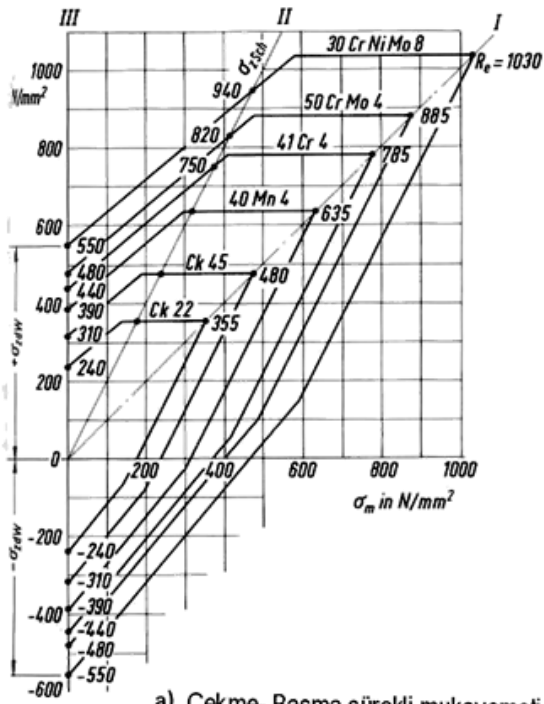
$$v_d = 1 + \sqrt{0,026 \cdot 0,14}$$

$$\underline{\underline{v_d = 1,06}}$$

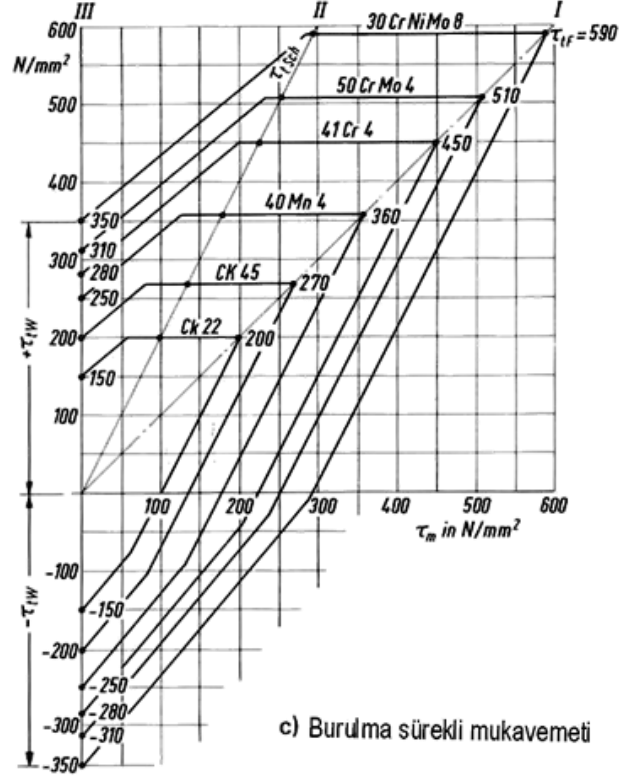
- Yüzey düzgünlük faktörü b_s ;

$$\left. \begin{array}{l} R_t \cong 10 \mu\text{m} \\ \sigma_B = 700 \text{ N/mm}^2 \end{array} \right\} b_s = 0,88 \text{ (Şekil 11)}$$

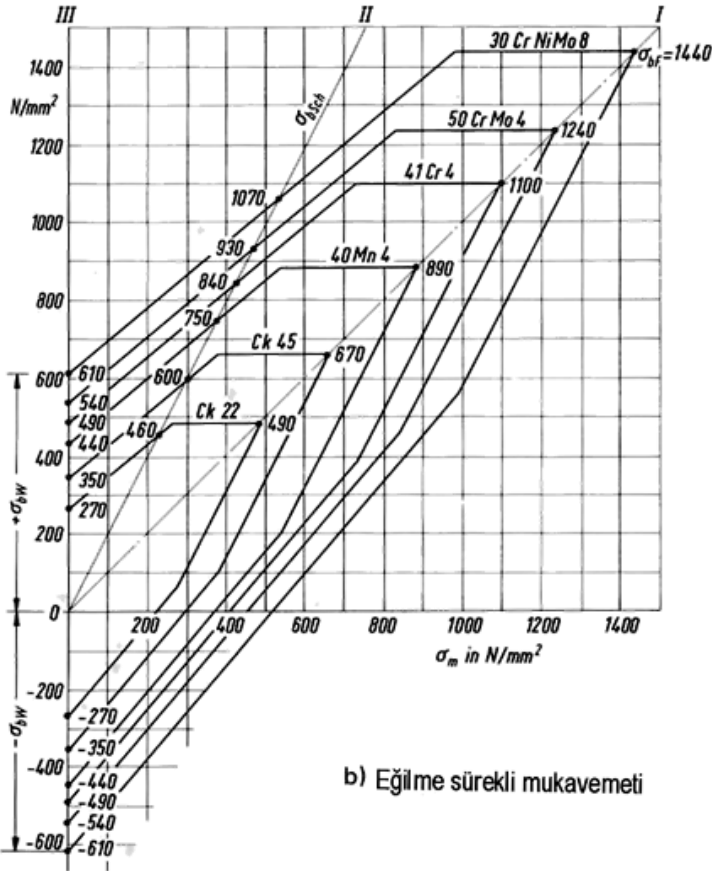
- Şekil faktörü (Eğilme zorlanmasında) α_{kb} ;



a) Çekme- Basma sürekli mukavemeti



c) Burulma sürekli mukavemeti



b) Eğilme sürekli mukavemeti

Gösterilmeyen ıslah çelikleri
aşağıdaki gibi düzenlenir :

30CrMoV4	} yerine	30CrNiMo8
32CrMo12		
34CrNiMo6	} yerine	50CrMo4
36CrNiMo4		
42CrMo4		
50CrV4		
34CrMo4	} yerine	41Cr4
25CrMo4		
34Cr4	} yerine	40Mn4
34CrMo4		
37Cr4		
46Cr2		
C45, Ck45	gibi	
C22, Ck22	gibi	

* : C60, Ck60 ve 28Mn6 yaklaşık olarak
Ck45 ve 40Mn4 arasında bulunur

** : C35 ve Ck35 yaklaşık olarak
Ck22 ve Ck 45 arasında bulunur

Şekil 21 – Islah çeliklerinin sürekli mukavemet diyagramları, DIN17200 (Islah işleminden sonra).
[Roloff / Matek]

Tablo 7 den faydalanarak,

$$\alpha_{kb} = A + B \cdot (X - C)$$

$$X = \sqrt{d/r}$$

Faturalı mil, eğilme zorlanması,

$$\underline{A = 0,780}$$

$$\underline{C = 0}$$

$$\frac{d}{D} \cong 0,8 \quad \rightarrow \quad \underline{B = 0,2885}$$

$$\alpha_{kb} = 0,780 + 0,2885 \cdot \sqrt{300/15}$$

$$\underline{\alpha_{kb} = 2,07}$$

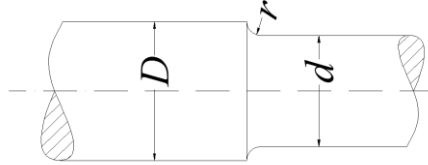
$$\sigma_{bWK} = \frac{300 \cdot 1,06 \cdot 0,88}{2,07}$$

$$\underline{\sigma_{bWK} \cong 140 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{140}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{(\sigma_{bem})_{2.\text{çözüm}} = 62 \text{ N/mm}^2}$$

(2) Kesitinde :



$$D = \phi 480 \text{ [mm]}$$

$$d = \phi 370 \text{ [mm]}$$

$$r = 18,5 \text{ [mm]}$$

Çözüm yolu 1 :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d}{D} = \frac{370}{480} = 0,77 \\ \frac{r}{d} = \frac{18,5}{370} = 0,05 \end{array} \right\} \underline{\underline{\sigma_{bWK10(d/D=0,8)} \cong 180 \text{ N/mm}^2}} \text{ (Şekil 7-3b eğrisi)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d}{D} = 0,7 \rightarrow q = 0,95 \\ \frac{d}{D} = 0,8 \rightarrow q = 1 \end{array} \right\} \frac{d}{D} = 0,77 \rightarrow q = 0,985$$

$$\sigma_{bWK10} = \sigma_{bWK10(d/D=0,8)} \cdot q = 180 \cdot 0,985$$

$$\underline{\underline{\sigma_{bWK10} = 177,3 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d = \phi 370 \text{ mm} \rightarrow \underline{b_0 = 0,7} \quad (\text{Şekil 7. } d \geq \phi 300 \text{ mm için } b_0 = 0,7 \text{ alınır})$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0$$

$$\sigma_{bWK} = 177,3 \cdot 0,70$$

$$\underline{\sigma_{bWK} = 124,11 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{124,11}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\underline{(\sigma_{bem2})_{1,\text{çözüm}} = 55 \text{ N/mm}^2}}$$

Çözüm yolu 2 :

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot v_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{ZW} = 310 \text{ N/mm}^2 \\ \rho^* = 0,026 \text{ mm} \end{array} \right\} S : 54$$

$$s_\sigma = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{r}$$

$$s_\sigma = \frac{4}{480+370} + \frac{2}{18,5}$$

$$\underline{\underline{s_\sigma = 0,1128 \text{ 1/mm}}}$$

$$v_d = 1 + \sqrt{\rho^* \cdot s_\sigma}$$

$$v_d = 1 + \sqrt{0,026 \cdot 0,1128}$$

$$\underline{\underline{v_d = 1,05}}$$

$$b_s = 0,88 \text{ (S: 54)}$$

$$\alpha_{kb} = A + B \cdot (X - C)$$

$$X = \sqrt{d/r}$$

$$\left. \begin{array}{l} \underline{A = 0,780} \\ \underline{C = 0} \end{array} \right\} (S : 56)$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d}{D} = 0,6 \rightarrow B = 0,3346 \\ \frac{d}{D} = 0,8 \rightarrow B = 0,2885 \end{array} \right\} \frac{d}{D} = 0,77 \rightarrow \underline{B = 0,2954}$$

$$\alpha_{kb} = 0,780 + 0,2954 \cdot \sqrt{370/18,5}$$

$$\underline{\alpha_{kb} = 2,1}$$

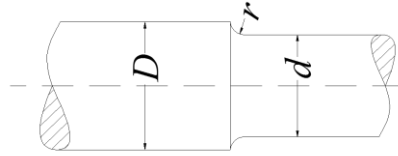
$$\sigma_{bWK} = \frac{310 \cdot 1,05 \cdot 0,88}{2,1}$$

$$\underline{\sigma_{bWK} = 136,4 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{136,5}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{(\sigma_{bem})_{2.\text{çözüm}} = 60,6 \text{ N/mm}^2}$$

(3) Kesitinde :



$$D = \phi 530 \text{ [mm]}$$

$$d = \phi 480 \text{ [mm]}$$

$$r = 12 \text{ [mm]}$$

Çözüm yolu 1 :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{d}{D} = \frac{480}{530} \cong 0,9 \\ \frac{r}{d} = \frac{12}{480} = 0,025 \end{array} \right\} \underline{\underline{\sigma_{bWK10(d/D=0,8)}} \cong 157 \text{ N/mm}^2 \text{ (Şekil 7-3b eğrisi)}}$$

$$\frac{d}{D} = 0,90 \rightarrow q = 1,12$$

$$\sigma_{bWK10} = \sigma_{bWK10(d/D=0,8)} \cdot q = 157 \cdot 1,12$$

$$\underline{\sigma_{bWK10} \cong 176 \text{ N/mm}^2}$$

$$d = \phi 480 \text{ mm} \rightarrow \underline{b_0 = 0,7} \quad (\text{Şekil 7. } d \geq \phi 300 \text{ mm için } b_0 = 0,7)$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0$$

$$\sigma_{bWK} = 176 \cdot 0,70$$

$$\underline{\sigma_{bWK} = 123,2 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{123,2}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\underline{(\sigma_{bem3})_{1.\text{çözüm}} \cong 55 \text{ N/mm}^2}}$$

Çözüm yolu 2 :

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{ZW} \cdot \mathcal{G}_d \cdot b_s}{\alpha_{kb}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_{ZW} = 310 \text{ N/mm}^2 \\ \rho^* = 0,026 \text{ mm} \end{array} \right\} (S:54)$$

$$s_\sigma = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{r}$$

$$s_\sigma = \frac{4}{530+480} + \frac{2}{12}$$

$$\underline{\underline{s_\sigma = 0,17 \text{ 1/mm}}}$$

$$v_d = 1 + \sqrt{\rho^* \cdot s_\sigma}$$

$$v_d = 1 + \sqrt{0,026 \cdot 0,17}$$

$$\underline{\underline{v_d \cong 1,07}}$$

$$b_s = 0,88 \quad (S:54)$$

$$\alpha_{kb} = A + B \cdot (X - C)$$

$$X = \sqrt{d/r}$$

$$\left. \begin{array}{l} A = 0,780 \\ C = 0 \end{array} \right\} (S:56)$$

$$\frac{d}{D} = 0,9 \rightarrow B = 0,2359 \quad (\text{Tablo 7})$$

$$\alpha_{kb} = 0,780 + 0,2359 \cdot \sqrt{480/12}$$

$$\underline{\underline{\alpha_{kb} = 2,272}}$$

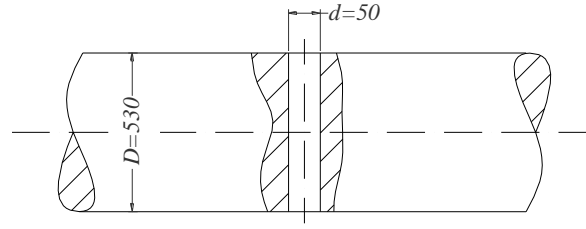
$$\sigma_{bWK} = \frac{310 \cdot 1,07 \cdot 0,88}{2,272}$$

$$\sigma_{bWK} = 128,5 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{128,5}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\underline{(\sigma_{bem3})_{2.\text{çözüm}} = 57 \text{ N / mm}^2}}$$

(3') Kesitinde :



Çözüm yolu 1 : Yaklaşık hesap metodu ;

$$\frac{d}{D} = \frac{50}{530} \cong 0,94 \cdot 10^{-2} = 0,094$$

Enine delikli miller $d/D = 0,1$ kabulü ile (daha emniyetli),

$\sigma_b = 700 \text{ N / mm}^2$ için,

$$\sigma_{bWK10} = 178 \text{ N / mm}^2 \quad (\text{Şekil 7-6 eğrisi})$$

$$d = \phi 530 \text{ mm} \rightarrow \underline{b_0 = 0,70} \quad (\text{Şekil 7})$$

$$\sigma_{bWK} = \sigma_{bWK10} \cdot b_0$$

$$\sigma_{bWK} = 178 \cdot 0,70$$

$$\sigma_{bWK} = 124,6 \text{ N / mm}^2$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{124,6}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\underline{(\sigma_{bem3'})_{1.\text{çözüm}} \cong 55,4 \text{ N / mm}^2}}$$

Çözüm yolu 2 :

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW} \cdot b_s \cdot b_0}{\beta_{kb}} \quad \text{formülünü kullanalım,}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bW} &= 370 \text{ N/mm}^2 && \text{(Tablo 1, Ck45 için)} \\ \sigma_{bW} &= 350 \text{ N/mm}^2 && \text{(Şekil 7, 1a eğrisi, } \sigma_B=700 \text{ N/mm}^2 \text{ için)} \\ \sigma_{bW} &= 350 \text{ N/mm}^2 && \text{(Şekil 21b, Ck45 için)}\end{aligned}$$

$$b_s = 0,88 \quad (S : 54)$$

$$b_0 = 0,70 \quad (S : 58)$$

$$\underline{\beta_{kb} = 1,7} \quad \text{(Tablo 8, enine delik)}$$

$$\sigma_{bWK} = \frac{350 \cdot 0,88 \cdot 0,70}{1,7}$$

$$\underline{\sigma_{bWK} \cong 127 \text{ N/mm}^2}$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{127}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$\underline{\left(\sigma_{bem} \right)_{2.\text{çözüm}} = 56 \text{ N/mm}^2}$$

Sonuçları toplu halde gösterelim.

Gerilme değerleri [N/mm ²]		K	E	S	İ	T	L	E	R	
		1	2	3	3'					
Eğilme gerilmeleri	σ_b	37,7	39	36,3	27					
Eğilme emniyet gerilmeleri	σ_{bem}	1.Çözüm	56	55	55	55,4				
		2.Çözüm	62	60,6	57	56				

Eğilme zorlanmasındaki çentik katsayısı β_{kb} ile bir kesit daha hesaplayalım. Örneğin (1) kesiti :

$$\left. \begin{aligned}\frac{r}{d} &= \frac{15}{300} = 0,05 \\ \sigma_B &= 700 \text{ N/mm}^2\end{aligned} \right\} \beta_{kb(D/d=2)} = 1,875 \quad \text{(Şekil 13)}$$

$$\left. \begin{aligned}\frac{D}{d} &= \frac{370}{300} \cong 1,24\end{aligned} \right\} c_b = 0,5 \quad \text{(Şekil 13)}$$

$$\beta_{kb} = 1 + c_b \cdot [\beta_{kb(2)} - 1]$$

$$\beta_{kb} = 1 + 0,5 \cdot (1,875 - 1)$$

$$\underline{\beta_{kb} = 1,44}$$

$$\sigma_{bWK} = \frac{\sigma_{bW} \cdot b_s \cdot b_0}{\beta_{kb}} = \frac{350 \cdot 0,88 \cdot 0,70}{1,44}$$

$$\sigma_{bWK} = 149 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{bem} = \frac{\sigma_{bWK}}{S_D \cdot C_B} = \frac{149}{1,5 \cdot 1,5}$$

$$(\sigma_{bem1})_{3.\text{çözüm}} = 66 \text{ N/mm}^2$$

Yaklaşık (kısaltılmış) mil çapı hesaplarındaki eğilme emniyet gerilmeleri Tablo 13 ten de alınabilir

M A L Z E M E			
DIN 17100	DIN17200	DIN17210	$\sigma_{bem} [kp/mm^2]$
St42-2	C22 ve Ck22	C10 ve Ck10	4,25
St50-2	C35 ve Ck35	C15 ve Ck15	5
St60-2	C45 ve Ck45	15Cr13	6
St70-2	C60 ve Ck60	—	7,1
	25CrMo4, 34Cr4	—	
	34CrMo4,30Mn5	16MnCr5	8,5
		20MnCr5	
	37MnSi5,34CrNiMo6	—	10
		18CrNi8	11,8

Tablo 13 – Eğilme emniyet gerilmeleri [Tochtermann/Bodenstein]

Hesaplarımızı bir de halat kopma yüküne ($s_B = 950 \text{ kN}$) göre yapalım.

- Bileşke kuvvet F_{rB} ve F_{vB} , F_{HB} bileşenleri (Şekil 19);

$$F_{rB} = 2 \cdot s_B \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

$$F_{rB} = 2 \cdot 950 \cdot \sin \frac{150}{2}$$

$$\underline{F_{rB} = 1835,3 \text{ kN}}$$

$$F_{vB} = F_{rB} \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

$$F_{vB} = 1835,3 \cdot \sin \frac{150}{2}$$

$$\underline{F_{vB} = 1773 \text{ kN}}$$

$$F_{HB} = F_{rB} \cdot \cos \frac{\beta}{2}$$

$$F_{HB} = 1835,3 \cdot \cos \frac{150}{2}$$

$$\underline{F_{HB} = 475 \text{ kN}}$$

- Toplam düşey kuvvet $F_{VB\Sigma}$;

$$F_{VB\Sigma} = G_s + F_{VB}$$

$$F_{VB\Sigma} = 33 + 1773$$

$$F_{VB\Sigma} = 1806 \text{ kN}$$

- Toplam yatay kuvvet $F_{HB\Sigma}$;

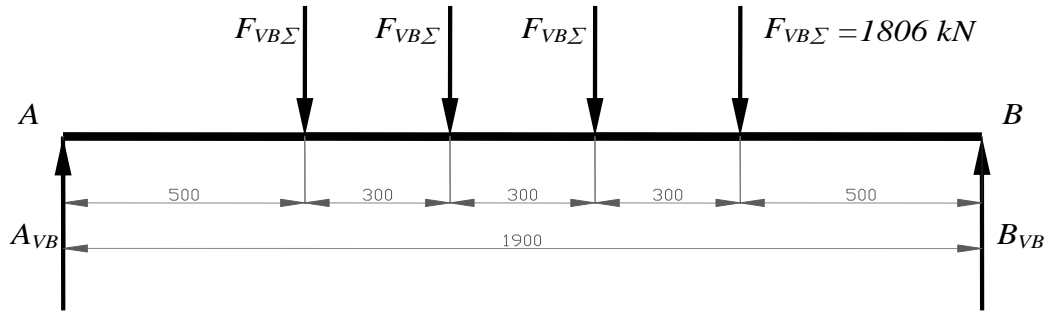
$$\underline{F_{HB\Sigma} = F_{HB} = 475 \text{ kN}}$$

(Hesap halat kopma yükünde yapıldığından f_z darbe faktörü göz önüne alınmaz).

Yatak kuvvetleri :

Her molet üzerine, $F_{VB\Sigma}$ ve $F_{HB\Sigma}$ kuvvetlerinin tesir ettiği düşünülmüştür.

- Düşey düzlemde A_{VB} , B_{VB} ;



$$\left. \begin{array}{l} A_{VB} = B_{VB} \\ A_{VB} + B_{VB} = 4 \cdot F_{VB\Sigma} \\ \underline{A_{VB} = B_{VB} = 3612 \text{ kN}} \end{array} \right\} A_{VB} = B_{VB} = 2 \cdot F_{VB\Sigma} = 2 \cdot 1806$$

- Yatay düzlemde A_{HB} , B_{HB} ;

$$\left. \begin{array}{l} A_{HB} = B_{HB} \\ A_{HB} + B_{HB} = 4 \cdot F_{HB\Sigma} \\ \underline{A_{HB} = B_{HB} = 950 \text{ kN}} \end{array} \right\} A_{HB} = B_{HB} = 2 \cdot F_{HB\Sigma} = 2 \cdot 475$$

- Bileşke yatak kuvvetleri A_{rB} , B_{rB} ;

$$A_{rB} = B_{rB} = \sqrt{A_{VB}^2 + B_{VB}^2} = \sqrt{3612^2 + 950^2}$$

$$\underline{A_{rB} = B_{rB} = 3735 \text{ kN}}$$

- Eğilme momentleri (Halat kopma yükünde) :

(1) kesitinde ;

$$M_{bb1r} = A_{rB} \cdot L_1 = 3735 \cdot 16,5$$

$$\underline{M_{bb1r} = 61627,5 \text{ kNcm}}$$

(2) kesitinde ;

$$M_{bb2r} = A_{rB} \cdot L_2 = 3735 \cdot 32$$

$$\underline{M_{bb2r} = 119520 \text{ kNcm}}$$

(3) kesitinde

$$M_{bb3V} = A_{VB} \cdot L_3 - F_{VB\Sigma} \cdot L_4 - F_{VB\Sigma} \cdot L_5$$

$$M_{bb3V} = 3612 \cdot 95 - 1806 \cdot (45 + 15)$$

$$\underline{M_{bb3V} = 234780 \text{ kNcm}}$$

$$M_{bb3H} = A_{HB} \cdot L_3 - F_{HB\Sigma} \cdot L_4 - F_{HB\Sigma} \cdot L_5$$

$$M_{bb3H} = 950 \cdot 95 - 475 \cdot (45 + 15)$$

$$\underline{M_{bb3H} = 61750 \text{ kNcm}}$$

$$M_{bb3r} = \sqrt{(M_{bb3V})^2 + (M_{bb3H})^2}$$

$$M_{bb3r} = \sqrt{(234780)^2 + (61750)^2}$$

$$\underline{M_{bb3r} = 242765 \text{ kNcm}}$$

(3') kesitinde ;

$$M_{bb3'V} = B_{VB} \cdot (50 + 30) - F_{HB\Sigma} \cdot 30$$

$$M_{bb3'V} = 3612 \cdot 80 - 1806 \cdot 30$$

$$\underline{M_{bb3'V} = 234780 = M_{bb3V}}$$

$$M_{bb3'H} = B_{HB} \cdot (50 + 30) - F_{HB\Sigma} \cdot 30$$

$$M_{bb3'H} = 950 \cdot 80 - 475 \cdot 30$$

$$\underline{M_{bb3'H} = 61750 \text{ kNcm} = M_{bb3H}}$$

$$\underline{M_{bb3'r} = M_{bb3r} = 242765 \text{ kNcm}}$$

Eğilme gerilmeleri (Halat kopma yükünde) ;

$$\bullet \quad \sigma_{bB1} = \frac{M_{bB1r}}{0,1 \cdot d_1^3} = \frac{616275 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{0,1 \cdot (300 \text{ mm})^3}$$

$$\underline{\sigma_{bB1} = 228 \text{ N/mm}^2}$$

$$\bullet \quad \sigma_{bB2} = \frac{M_{bB2r}}{0,1 \cdot d_2^3} = \frac{1195200 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (370 \text{ mm})^3}$$

$$\underline{\sigma_{bB2} = 236 \text{ N/mm}^2}$$

$$\bullet \quad \sigma_{bB3} = \frac{M_{bB3r}}{0,1 \cdot d_3^3} = \frac{2427650 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (480)^3}$$

$$\underline{\sigma_{bB3} = 219,5 \text{ N/mm}^2}$$

$$\bullet \quad \sigma_{bB3'} = \frac{M_{bB3'r}}{0,1 \cdot d_{3'}^3} = \frac{2427650 \cdot 10^3}{0,1 \cdot (530)^3}$$

$$\underline{\sigma_{bB3'} = 163 \text{ N/mm}^2}$$

Görüldüğü gibi eğilme gerilmeleri, eğilme emniyet gerilmelerinden büyük. Burada MAN-GHH, plastik Şekil değiştirme yöntemini uygulamıştır. Şöyle ki ;

$$v_F = \frac{\sigma_s}{\sigma_v}$$

v_F - Plastik Şekil değiştirmeye (deformasyona) karşı emniyet veya şiddetli kırılma emniyeti

σ_s - Akma sınırı

σ_v - Eşdeğer gerilme

$v_{r_{\min}} = 1,3 \dots 1,5$ (Hafif dinamik zorlanmalarda mesela, elektrik makinaları gibi.

Maschinenteile Band II – Achsen, Wellen, Lager, Kupplungen,
BAUER-SCHNEIDER-KALTOFEN)

$$v_1 = \frac{\sigma_s}{\sigma_{bB1}} = \frac{33,3 \text{ kN/cm}^2}{22,8 \text{ kN/cm}^2}$$

$$\underline{\underline{v_1 = 1,46 > v_{r_{\min}}}}$$

$$v_2 = \frac{\sigma_s}{\sigma_{bB2}} = \frac{33,3 \text{ kN} / \text{cm}^2}{23,6 \text{ kN} / \text{cm}^2}$$

$$\underline{\underline{v_2 = 1,41 > v_{F_{\min}}}}$$

$$v_3 = \frac{\sigma_s}{\sigma_{bB3}} = \frac{33,3 \text{ kN} / \text{cm}^2}{21,95 \text{ kN} / \text{cm}^2}$$

$$\underline{\underline{v_3 = 1,52 > v_{F_{\min}}}}$$

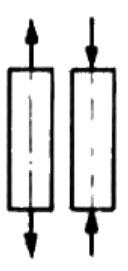



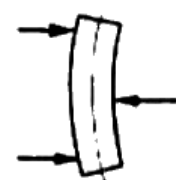



$$v_{3'} = \frac{\sigma_s}{\sigma_{bB3'}} = \frac{33,3 \text{ kN} / \text{cm}^2}{16,3 \text{ kN} / \text{cm}^2}$$

$$\underline{\underline{v_{3'} = 2,04 > v_{F_{\min}}}}$$

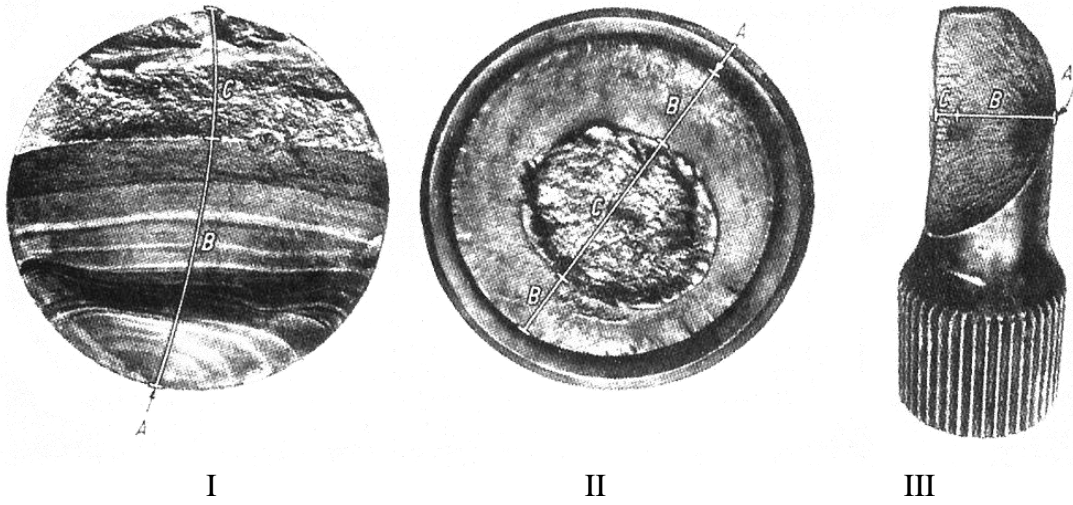
Kopma (kırılma) tipine ait bazı örnekler; Şekil 22,23,24 ve 25 te verilmiştir. Şimdi ; F_1, F_2, F_3 , ve F_4 yüklerinin her biri için mil sehimleri (milin çökme miktarları) f_1, f_2, f_3 , ve f_4 'ün, çok faturalı molet aksındaki değerlerini hesaplayalım (Şekil 26)

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = \sqrt{F_{V\Sigma}^2 + F_{H\Sigma}^2} = \sqrt{300^2 + 71,5^2}$$

$$F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 308 \text{ kN}$$

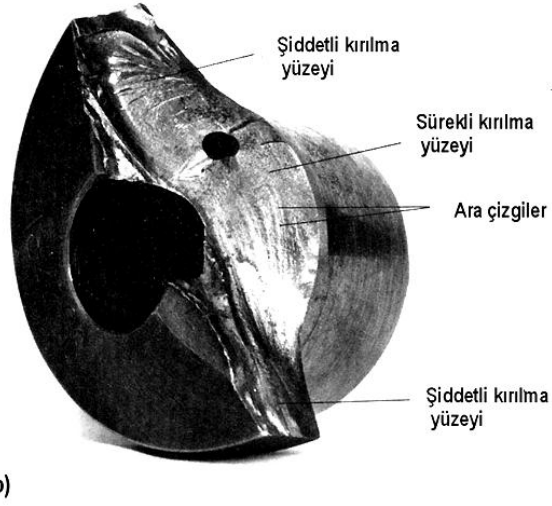
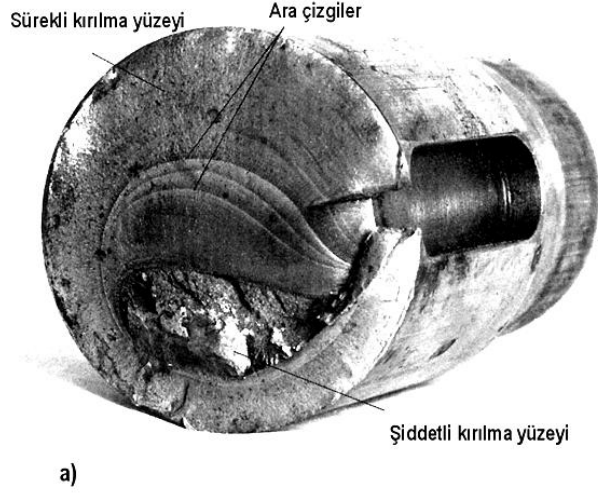
Yükleme şekli	<i>I</i> Şekil değişimi (Deformasyon kopması) (Makaslama-kayma) kopması (Plastik)	<i>II</i> Ayrılma kopması (Gevrek veya kolay kırılma)
a) Çekme		
b) Basma		
c) Eğilme		
d) Döndürme (Burulma)		

Şekil 22 – Yüklem şekli ve malzemenin reaksiyonuna bağlı olarak kopma (kırılma) tipleri [Niemann]



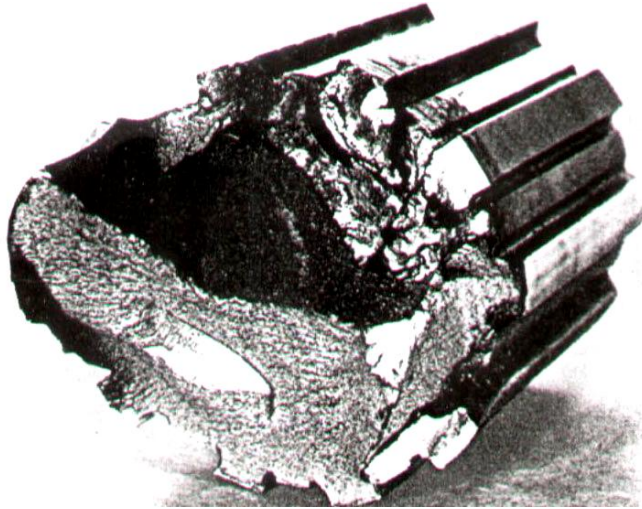
Şekil 23 – Tipik sürekli kırılmalar (kopmalar). [G.Richter ve Alianz – AG].

- I – Bir kırıcının eksantrik milindeki ($d = \phi 230 \text{ mm}$) yapı değişimi ve dolayısıyla eğilme-sürekli kırılması (kopması)
- II – Arıtma sistemi boşaltıcı aks'ının çevresel-eğilme sürekli kırılması (kopması).
Neden : Küçük boğaz yarıçapları .
- III–Burulmaya alışan bir kamalı milde , burulma – sürekli kırılması (kopması)
- A: İlk kırılma, dış yüzey üzerindeki hatalı veya çentikli yerde oluşur.
B: Giderek artan sürekli kırılma bölgesi.
C: Son kırılma bölgesi (şiddetli kırılma).



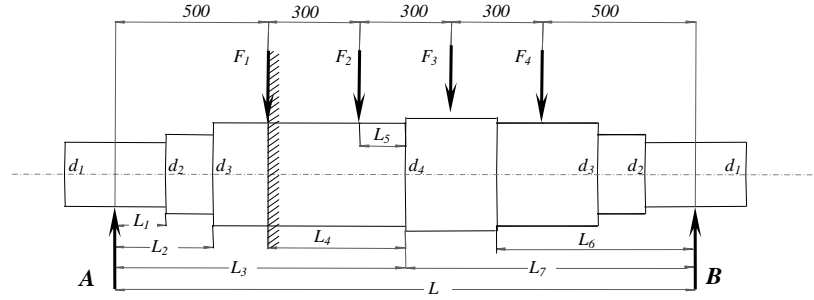
Şekil 24 – Sürekli kırılma (kopma) örnekleri. [Roloff / Matek]

- a) Pinyon milinde
- b) Krank milinde

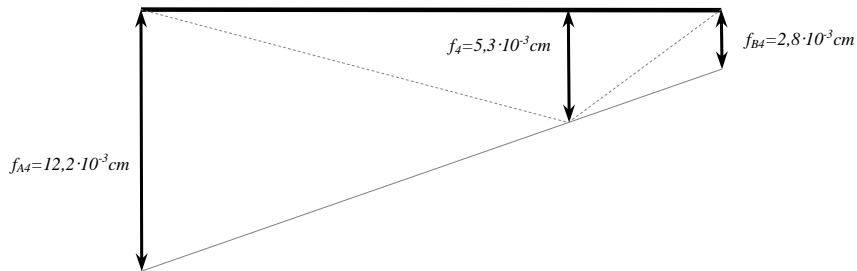
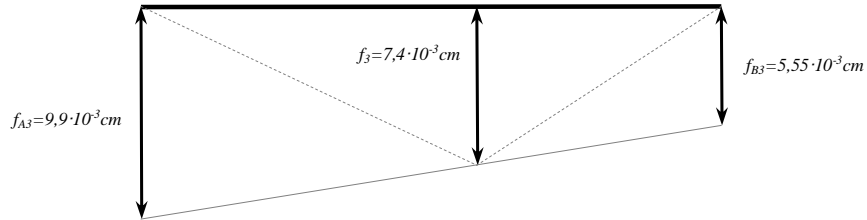
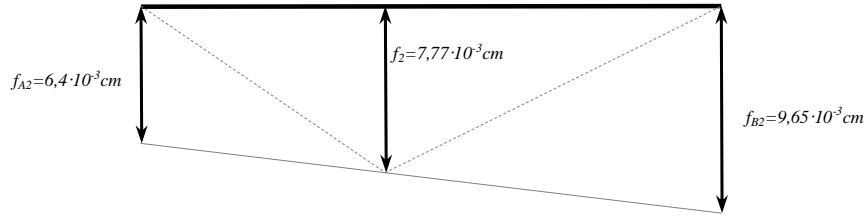
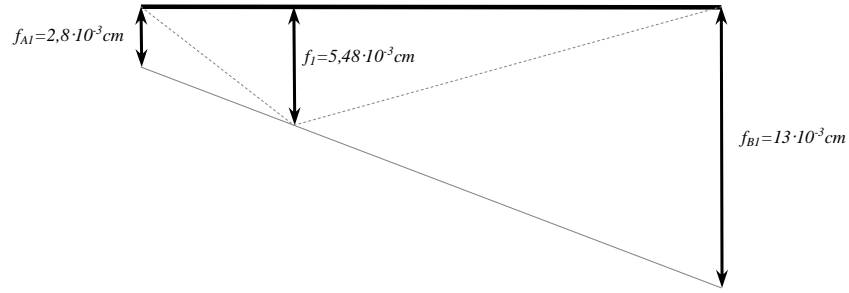


Şekil 25 – Bir kamalı milde şiddetli kırılma (kopma). [Roloff / Matek]

$L_1=165 \text{ mm.}$
 $L_2=320 \text{ mm.}$
 $L_3=350 \text{ mm.}$
 $L_4=450 \text{ mm.}$
 $L_5=150 \text{ mm.}$
 $L_6=650 \text{ mm.}$
 $L_7=950 \text{ mm.}$
 $L=1900 \text{ mm.}$



$d_1=\phi 300 \text{ mm.}$
 $d_2=\phi 370 \text{ mm.}$
 $d_3=\phi 480 \text{ mm.}$
 $d_4=\phi 530 \text{ mm.}$



Şekil 26 – Döner aks ta oluşan çökme (sehim) değerleri. Elastik eğri kesikli çizgi ile doğrusal (yaklaşık) olarak gösterilmiştir

- F_1 noktasında sıkıştırıldığı ve A_1 yükü ile yüklendiği düşünülürse aks'ın sehimi (A_1 yükü etkisiyle aks'ın çökme miktarı) f_{A1} ;

$$\left. \begin{array}{l} A_1 + B_1 = F_1 \\ A_1 \cdot L = F_1 \cdot (L_4 + L_7) \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_1 + B_1 = 308 \\ A_1 \cdot 1900 = 308 \cdot (450 + 950) \end{array}$$

$$\underline{A_1 \cong 227 \text{ kN}}$$

$$\underline{B_1 = 81 \text{ kN}}$$

$$f_{A1} = \frac{A_1 \cdot 6,8}{E} \cdot \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{(L_3 - L_4)^3 - L_2^3}{d_3^4} \right]$$

$$f_{A1} = \frac{227 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{(95 - 45)^3 - 32^3}{48^4} \right]$$

$$\underline{f_{A1} \cong 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

F_1 noktasında sıkıştırıldığı ve B_1 yükü ile yüklendiği düşünülürse aks'ın sehimi (B_1 yükü etkisiyle aks'ın çökme miktarı) f_{B1} ;

$$f_{B1} = \frac{81 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{65^3 - 32^3}{48^4} + \frac{95^3 - 65^3}{53^4} + \frac{140^3 - 95^3}{48^4} \right]$$

$$\underline{f_{B1} \cong 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ cm}}$$

F_1 yükü etkisiyle aks'ın sehimi (çökme miktarı) f_1 ;

$$f_1 = f_{A1} + \frac{f_{B1} - f_{A1}}{L / (L_3 - L_4)}$$

$$f_1 = 2,8 \cdot 10^{-3} + \frac{1,3 \cdot 10^{-2} - 2,8 \cdot 10^{-3}}{190 / (95 - 45)}$$

$$\underline{f_1 = 5,48 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

- F_2 noktasında sıkıştırıldığı ve A_2 yükü ile yüklendiği düşünülürse aks'ın sehimi (A_2 yükü etkisiyle aks'ın çökme miktarı) f_{A2} ;

$$\left. \begin{array}{l} A_2 + B_2 = F_2 \\ A_2 \cdot L = F_2 \cdot (L_5 + L_7) \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_2 + B_2 = 308 \\ A_2 \cdot 1900 = 308 \cdot (150 + 950) \end{array}$$

$$\underline{A_2 \cong 178 \text{ kN}}$$

$$\underline{B_2 = 130 \text{ kN}}$$

$$f_{A2} = \frac{A_2 \cdot 6,8}{E} \cdot \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{(L_3 - L_5)^3 - L_2^3}{d_3^4} \right]$$

$$f_{A2} = \frac{178 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{(95 - 15)^3 - 32^3}{48^4} \right]$$

$$\underline{f_{A2} \cong 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

B_2 yükü ile yüklendiği düşünülürse f_{B2} ;

$$f_{B2} = \frac{130 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{65^3 - 32^3}{48^4} + \frac{95^3 - 65^3}{53^4} + \frac{110^3 - 95^3}{48^4} \right]$$

$$\underline{f_{B2} \cong 9,65 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

F_2 yükü etkisiyle f_2 ;

$$f_2 = f_{A2} + \frac{f_{B2} - f_{A2}}{L / (L_3 - L_5)}$$

$$f_2 = 6,4 \cdot 10^{-3} + \frac{9,65 \cdot 10^{-3} - 6,4 \cdot 10^{-3}}{190 / (95 - 15)}$$

$$\underline{f_2 = 7,77 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

- F_3 noktasında sıkıştırıldığı ve A_3 yükü ile yüklendiği düşünülürse aks'ın sehimi (A_3 yükü etkisiyle aks'ın çökme miktarı) f_{A3} ;

$$\left. \begin{array}{l} A_3 + B_3 = F_3 \\ A_3 \cdot L = F_3 \cdot (L_7 - 150) \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_3 + B_3 = 308 \\ A_3 \cdot 1900 = 308 \cdot (950 - 150) \end{array}$$

$$\underline{A_3 \cong 130 \text{ kN}}$$

$$\underline{B_3 = 178 \text{ kN}}$$

$$f_{A3} = \frac{A_3 \cdot 6,8}{E} \cdot \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{L_3^3 - L_2^3}{d_3^4} + \frac{(L_3 + 15)^3 - L_3^3}{d_4^4} \right]$$

$$f_{A3} = \frac{130 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{95^3 - 32^3}{48^4} + \frac{(95 + 15)^3 - 95^3}{53^4} \right]$$

$$\underline{f_{A3} \cong 9,9 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

B_3 yükü ile yüklendiği düşünülürse f_{B3} ;

$$f_{B3} = \frac{178 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{65^3 - 32^3}{48^4} + \frac{(65 + 15)^3 - 65^3}{53^4} \right]$$

$$\underline{f_{B3} \cong 5,55 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

F_3 yükü etkisiyle f_3 ;

$$f_3 = f_{A3} + \frac{f_{B3} - f_{A3}}{\frac{L}{(L_3 + 15)}}$$

$$f_3 = 9,9 \cdot 10^{-3} + \frac{5,55 \cdot 10^{-3} - 9,9 \cdot 10^{-3}}{\frac{190}{(95 + 15)}}$$

$$\underline{f_3 \cong 7,4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

- F_4 noktasında sıkıştırıldığı ve A_4 yükü ile yüklendiği düşünülürse aks'ın sehimi (A_4 yükü etkisiyle aks'ın çökme miktarı) f_{A4} ;

$$\left. \begin{array}{l} A_4 + B_4 = F_4 \\ A_4 \cdot L = F_4 \cdot 500 \end{array} \right\} \begin{array}{l} A_4 + B_4 = 308 \\ A_4 \cdot 1900 = 308 \cdot 500 \end{array}$$

$$\underline{A_4 = 81 \text{ kN}}$$

$$\underline{B_4 = 227 \text{ kN}}$$

$$f_{A4} = \frac{A_4 \cdot 6,8}{E} \cdot \left[\frac{L_1^3}{d_1^4} + \frac{L_2^3 - L_1^3}{d_2^4} + \frac{L_3^3 - L_2^3}{d_3^4} + \frac{(L - L_6)^3 - L_3^3}{d_4^4} + \frac{(L - 50)^3 - (L - L_6)^3}{d_3^4} \right]$$

$$f_{A4} = \frac{81 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{95^3 - 32^3}{48^4} + \frac{(190 - 65)^3 - 95^3}{53^4} + \frac{(190 - 50)^3 - (190 - 65)^3}{48^4} \right]$$

$$\underline{f_{A4} \cong 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

B_4 yükü ile yüklendiği düşünülürse f_{B4} ;

$$f_{B4} = \frac{227 \cdot 10^3 \cdot 6,8}{2,1 \cdot 10^7} \cdot \left[\frac{16,5^3}{30^4} + \frac{32^3 - 16,5^3}{37^4} + \frac{50^3 - 32^3}{48^4} \right]$$

$$\underline{f_{B4} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

F_4 yükü etkisiyle f_4 ;

$$f_4 = f_{A4} + \frac{f_{B4} - f_{A4}}{L / (L - 50)}$$

$$f_4 = 12,2 \cdot 10^{-3} + \frac{2,8 \cdot 10^{-3} - 12,2 \cdot 10^{-3}}{190 / (190 - 50)}$$

$$\underline{f_4 \cong 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ cm}}$$

Sonuç :

$$f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4$$

$$f = (5,48 + 7,77 + 7,4 + 5,3) \cdot 10^{-3}$$

$$\underline{f \cong 26 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = 0,26 \text{ mm}}$$

M.SAVCI – M.AKKURT'a göre; genel makine konstrüksiyonlarında

$f < f_{em}$ ($= 0,0003 \cdot L$) olmalıdır.

$$f_{em} = 0,0003 \cdot 1900$$

$$\underline{f_{em} = 0,57 \text{ mm}}$$

$$\underline{\underline{f (= 0,26 \text{ mm}) < f_{em} (= 0,57) \text{ UYGUNDUR}}}$$

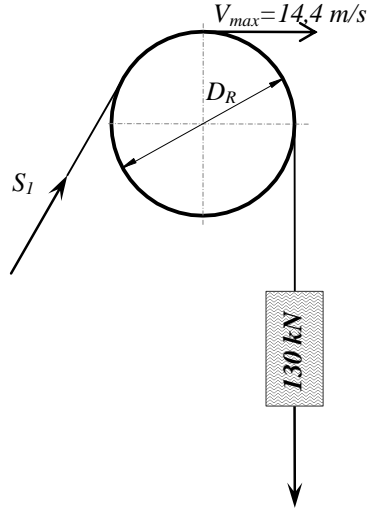
- AKS'in kritik devir sayısı ;

$$\eta_k = 300 \cdot \sqrt{1/f} \quad (\text{Tablo 2})$$

$$\eta_k = 300 \cdot \sqrt{1/(26 \cdot 10^{-3})}$$

$$\underline{\eta_k = 1860 \text{ d / dak.}}$$

- AKS'in max devir sayısı ;



D_R - Molet yuvarlanma dairesi çapı (=3240 mm)

$$V_{\max} = \frac{\pi \cdot D_R \cdot n_{\max}}{60}$$

$$(14,4 \text{ m/s}) = \frac{\pi \cdot (3,240 \text{ m}) \cdot (n_{\max} \text{ d/d})}{60}$$

$$n_{\max} \cong 85 \text{ d/d}$$

(MAN-GHH, $n_{\text{nom}} = 86 \text{ d/d}$ olarak almıştır)

$n_k = 1860 \text{ d/d}$, max. çalışma devri $n_{\max} = 85 \text{ d/d}$ değerinin 22 katına yakın olduğu için kritik hız bakımından döner aks tehlikede değildir.

- Efektif motor gücü (Hesaplanan motor gücü)

$$P_{\text{mot.ef.}} = S_1 \cdot V_{\max}$$

$$P_{\text{mot.ef.}} = 130 \cdot 14,4$$

$$\underline{P_{\text{mot.ef.}} = 1872 \text{ kW}}$$

$$\frac{P_{\text{mot.ef.}}}{\text{kW}} \left| \frac{S_1}{\text{kN}} \right| \left| \frac{V_{\max}}{\text{m/sn.}} \right|$$

- Seçilen elektrik motor gücü;

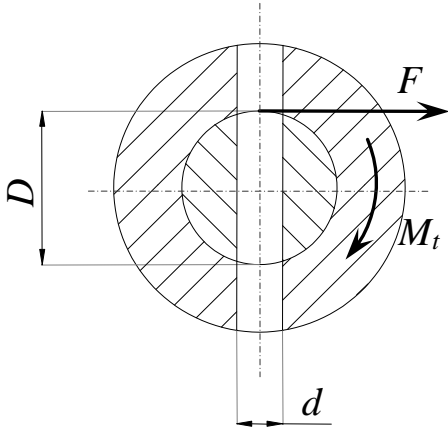
Motor gücü, hesaplanan motor gücü değeri bir emniyet katsayısı ile çarpılarak bulunur.

MAN-GHH nominal motor gücünü

$$\underline{\underline{2300kW}}$$

olarak almıştır. (Emniyet katsayısı $2300/1872 \cong 1,23$)

- Aks üzerindeki pim'in taşıyabileceği döndürme momenti;



$$D = \phi 530 \text{ mm}$$

$$d = \phi 50 \text{ mm}$$

$$M_t = F \cdot \frac{D}{2} = 2 \cdot \underbrace{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \tau_{ab}}_F \cdot \frac{D}{2}$$

$$M_t = \tau_{ab} \cdot D \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}$$

Pim malzemesini St 50 ($\sigma_B = 500 \text{ N/mm}^2$) seçelim (Titreşimli zorlanma)

$$\tau_{ab} = 50 \text{ N/mm}^2 \text{ (Tablo 14)}$$

$$M_t = 50 \cdot 530 \cdot \pi \cdot \frac{50^2}{4}$$

$$M_t = 52032628 \text{ Nmm}$$

$$\underline{\underline{M_t \cong 52000Nm}}$$

- Efektif döndürme momenti;

$$M_{tef} = 9549 \cdot \frac{N_{mot.ef.}}{n}$$

$$M_{tef} = 9549 \cdot \frac{1872}{85}$$

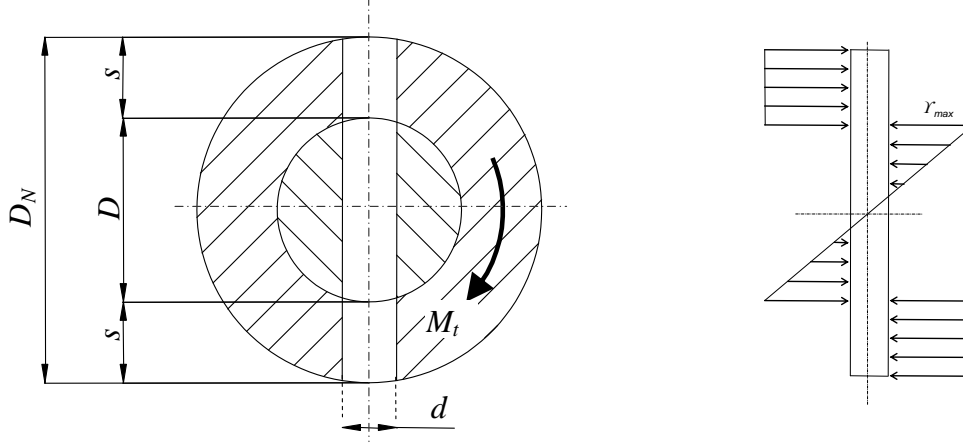
$$\underline{\underline{M_{tef} \cong 210000Nm}}$$

$$\frac{M_{tef}}{Nm} \left| \frac{N_{mot.ef.}}{kW} \right| \frac{n}{d/d}$$

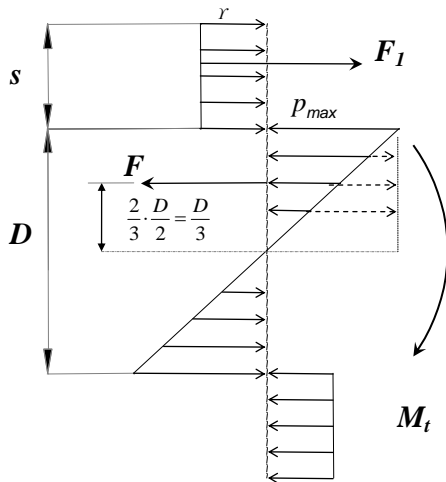
Pim, efektif döndürme momentinin $52000/210000 \cong 0,25$ 'ini karşılar.

NOT : Bazı pim bağlantılarında , zorlanma ve hesaplama. Müsaade edilen değerler *Tablo 14* te verilmiştir.

- Enine pim (M_t burulma momenti ile zorlanan)



Yaklaşık değer : $q = d/D = 0,2 \dots 0,3$
 St ve GS- göbek için : $D_N/D \cong 2$
 GG – göbek için : $D_N/D \cong 2,5$
 τ_{ab} Pim : $M_t = \tau_{ab} \cdot D \cdot \pi \cdot d^2 / 4$ eşitliğinden



$$M_t = F \cdot \frac{D}{3} , \quad F = d \cdot \frac{D}{2} \cdot p_{max}$$

$$M_t = d \cdot \frac{D}{2} \cdot p_{max} \cdot \frac{D}{3} \rightarrow \underline{\underline{M_t = p_{max} \cdot d \cdot \frac{D^2}{6}}}$$

$$M_t = 2 \cdot F_1 \cdot \left(\frac{s}{2} + \frac{D}{2} \right) , \quad F_1 = s \cdot d \cdot p$$

$$M_t = 2 \cdot s \cdot d \cdot p \cdot \left(\frac{s+D}{2} \right) \quad \underline{\underline{M_t = p \cdot s \cdot d \cdot (D+s)}}$$

p_{max} mil : $M_t = p_{max} \cdot d \cdot D^2 / 6$ eşitliğinden

p göbek : $M_t = p \cdot s \cdot d \cdot (D+s)$ eşitliğinden

τ_t mil : $M_t = W_t \cdot \tau_t$; $W_t = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \cdot (1 - 0,9 \cdot d/D)$ eşitliğinden

τ_{ab} - Makaslama (kesme) gerilmesi $[N/mm^2]$

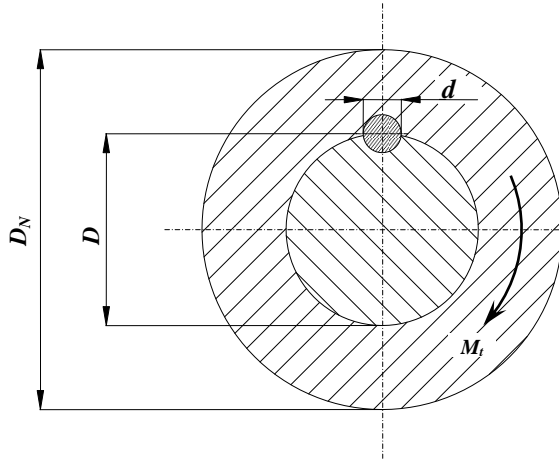
p - Yüzey basıncı $[N/mm^2]$

τ_t - Burulma gerilmesi $[N/mm^2]$

W_t - Burulma – mukavemet momenti $[mm^3]$

M_t - Döndürme veya burulma momenti $[Nmm]$

- Boyuna pim veya yuvarlak kama (M_t burulma momenti ile zorlanan) ;



Yaklaşık değer : $q = d/D = 0,13 \dots 0,2$

Pim uzunluğu : $L = 1 \cdot D \dots 1,5 \cdot D$

p, τ_{ab} Pim : $M_t = p \cdot L \cdot d \cdot D/4$
 $M_t = \tau_{ab} \cdot L \cdot d \cdot D/2$
eşitliğinden,

	İ m a l a t M a l z e m e s i			
	GG	GS	St37	St50
p_{em}	50	60	65	90
P i m v e y a p e r n o m a l z e m e s i (σ_B ' y e g ö r e)				
σ_B	400	500	600	700
σ_b	55	80	95	105
τ_{ab}	40	50	60	70

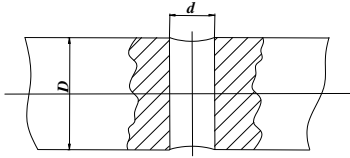
Tablo 14 – Perno ve pim bağlantıları için müsaade edilen p, σ_b ve τ_{ab} $[N/mm^2]$ değerleri.

Değerler ; titreşimli zorlanma için geçerlidir.

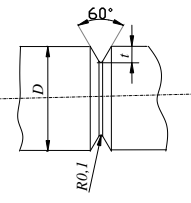
Değerler : Alternatif zorlanma için 0,7 }
: Statik zorlanma için 1,4 } ile çarpılmalıdır.

Çentikli pimlerde p değerleri 0.7 , σ_b ve τ değerleri 0.8 ile çarpılmalıdır.

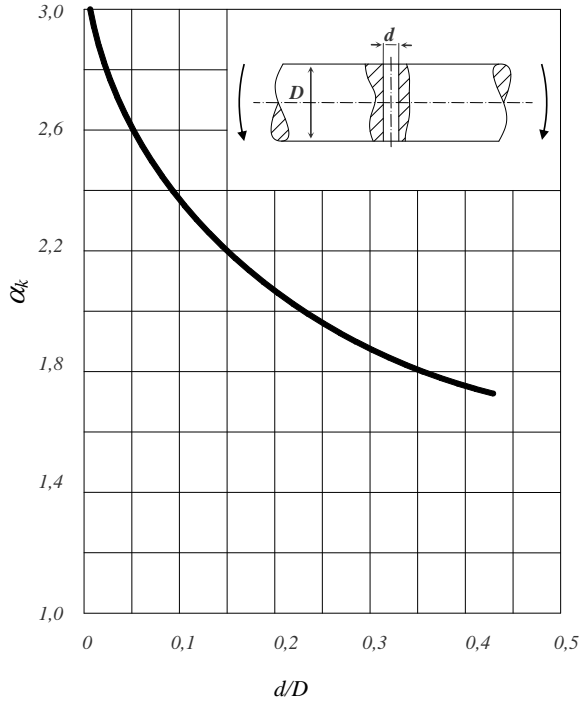
E K L E R

		Eğilme-Alternatif zorlanması (Çevresel eğilme)			Burulma-Alternatif zorlanması		
		$\frac{d}{D}$ oranı			$\frac{d}{D}$ oranı		
		0,146	0,213	0,532	0,146	0,213	0,532
Malzeme		Çentik Etki Sayısı β_k					
	St38	1,4	1,4	1,3	-	-	-
	St50	1,6	1,6	1,4	1,4	1,5	1,6
	St60	-	1,6	-	-	1,5	-
	St70	1,5	1,6	1,2	1,7	1,8	1,8
Semente edilmiş	15Cr3	1,5					
Islah edilmiş	25CrMo4	1,7...1,8					
Islah edilmiş	34CrMo4	1,5...1,7					
Islah edilmiş	42CrMo4	1,8					

Tablo 15 – Enine delikli miller için çentik etki sayıları β_k [Bauer / Schneider / Kaltofen]

		Eğilme-Alternatif zorlanması					Burulma-Alternatif zorlanması				
		$\frac{t}{D}$ oranı					$\frac{t}{D}$ oranı				
		0,042	0,065	0,100	0,146	0,189	0,021	0,032	0,055	0,09	0,14
Malzeme		Çentik Etki Sayısı β_k									
	St38	-	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-
	St50	1,6	1,8	1,7	1,6	-	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3
	St60	-	-	1,6	-	-	-	-	1,2	-	-
	St70	1,6	1,7	1,7	1,6	1,65	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
	25CrMo4			1,7...2,0							
	34CrMo4			1,9...2,0							
	42CrMo4			2,0							

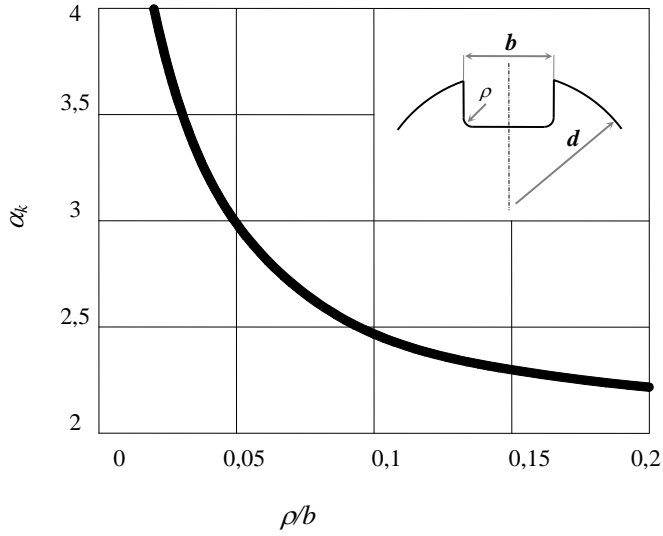
Tablo 16 – Çevresel sivri çentikli miller için çentik etki sayıları β_k [Bauer / Schneider / Kaltofen]



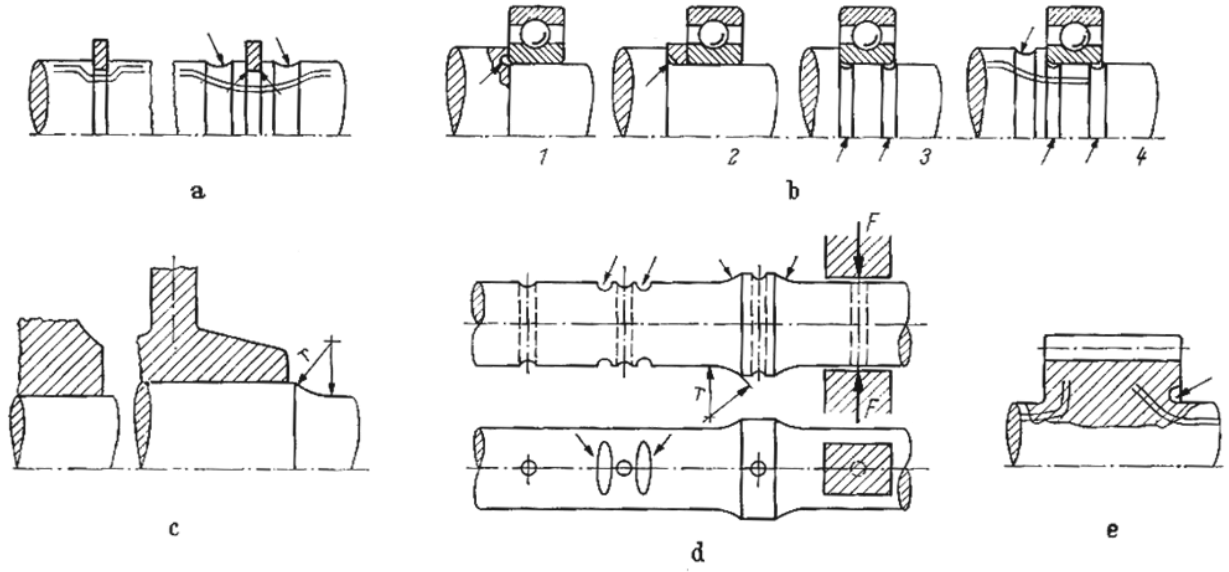
Şekil 27 – Enine delikli yuvarlak çubuklarda eğilme zorlanması için, form sayısı α_k değerleri [Bauer / Schneider / Kaltofen]

Not :

Form sayısı (Şekil faktörü) α_k nın, çentik etki sayısı β_k dan daha büyük olduğunu tekrar hatırlayalım .



Şekil 28 – Kama kanallı yuvarlak çubuklarda burulma zorlanması için, form sayısı α_k değerleri [Bauer / Schneider / Kaltofen]



Şekil 29 – Konstrüktif ölçülere bağlı olarak millerin Şekil mukavemetinin (sürekli mukavemetin) artırılması için örnekler. [Niemann]

- a) **Dikdörtgen kesitli – bilezik kanalında** : İç köşelerin yuvarlatılması veya çentik yükünün hafifletilmesi ile sürekli mukavemet %40'a kadar arttırılır.
- b) **Yatak** oturma yüzeyli faturalı milde :
1. Eksenel ve içeriye doğru yuvarlatılmış kanal yani boğazın yuvarlatılması
 2. Yuvarlatma ve ara bilezik
 3. Çentik yükünü hafifleten yuvarlatmalar
 4. İlave olarak çentik yükünü hafifleten boğaz
- c) **Göbek geçirilmiş milde**: Geçen göbek ile mil kalınlaşması, daha büyük boğaz yarıçapı, konik göbek.
- d) **Enine delikli milde**: Delik ağzı yanında çentik yükünü hafifletme. Kalınlaşan mil ve daha büyük boğaz yarıçapı veya delik etrafının basınçlı düzlemsel parça tarafından preslenmesi.
- e) **Üzerine dişli çark açılmış milde** :Eksenel, içeriye doğru yuvarlatılmış yükün hafifletilmesini sağlayan oluk.