

MAKİNE ELEMANLARI - (6.Hafta)

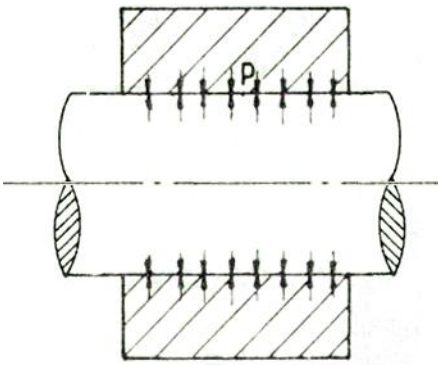
PRES (SIKI) GEÇMELER-1

Tanımlar

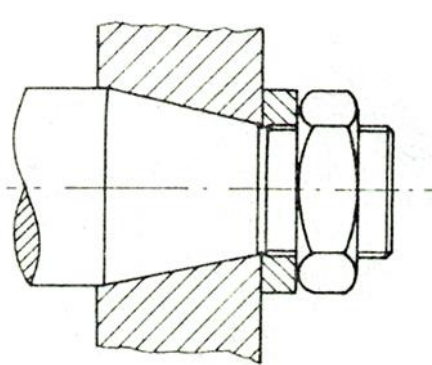
Pres geçmelerde mil ve göbek arasında moment ve hareket iletimi geçme yüzeyleri arasında oluşan sürtünme etkisiyle sağlanmaktadır. Parçaların birbiri üzerinde kayma yapmamaları için ayrıca kama kullanılmaz. Kullanılırsa da ek bir emniyet olarak düşünülmelidir. Hesaplamalar kama yok kabul edilerek yapılır.

Sıkı geçmede delik bir miktar büyür, mil ise bir miktar küçülür. Bu şekil değişimi elastik sınırlar içinde kalması sürece temas yüzeyleri arasında bir basınç ve dolayısıyla sürtünmeye bağlı olarak hareket iletimi olacaktır. Bağlantı eksenal yönde zorlanırsa sürtünme kuvveti, radyal yönde zorlanırsa moment iletecektir.

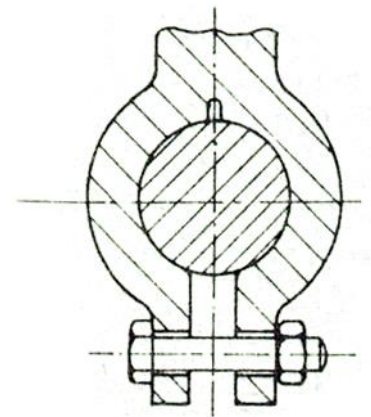
Kontrüksiyon Çeşitleri



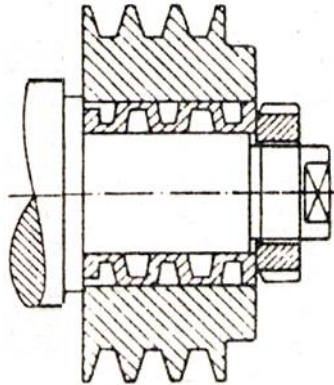
Düz pres geçme bağlantısı



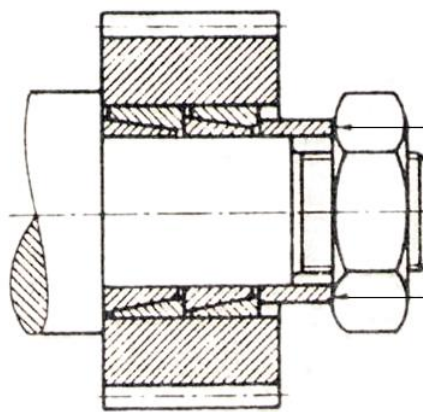
Konik pres geçme bağlantısı



Sıkma pres geçme bağlantısı



Germe Halkaları



Germe Bilezikleri (Bilezik kamalar)

A- Düz Pres Geçme Bağlantısı

Sıkı geçme yapacak malzemelerin yüzeyleri silindirik şekilde düz ise Düz Pres geçme bağlantısı yapılmış olur.

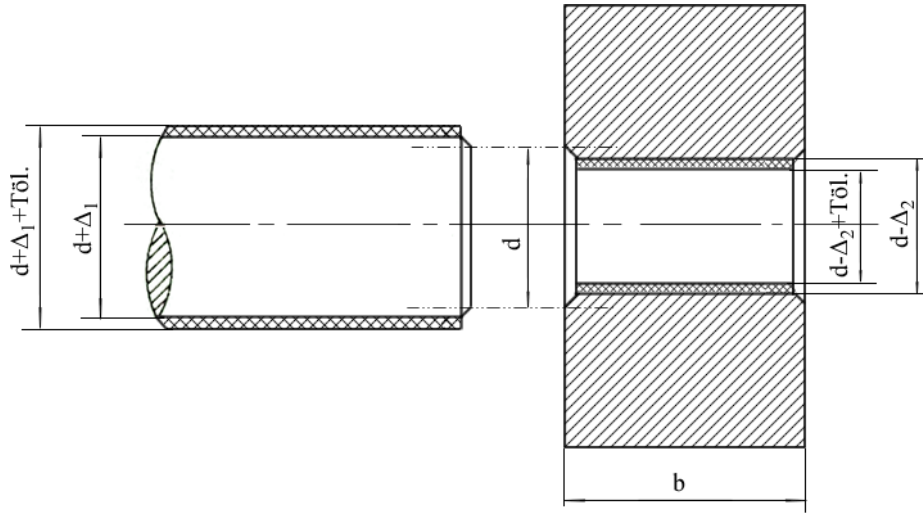
Çap Farkı (Δ)

Mil ve Göbek sıkı geçme oluşturabilmesi için, Milin çapının deliğin çapından daha büyük olması gerekir. d çapı hem mil hemde delik için Anma çapı (bahsederken kullanılan çap ölçüsü, milimetre ölçüsündedir) olursa, Milin çapı anma çapından Δ_1 kadar daha büyük olmalıdır. Deliğin çapı ise Δ_2 kadar küçük olmalıdır. Bu ölçülerin üzerine bir de Toleranslar eklendiği zaman çap farkı dahada açılacaktır. Oluşan çap farkına Δ dersek bu çap farkı toleranslar hesaba katılmadan en küçük çap farkı olmuş olacaktır. Mil göbek içerisine sıkıca yerleştirilirse Δ çap farkı elastik deformasyonlar (şekil değişimleri) sayesinde yok olur ve yüzeylerde P basıncı meydana gelir. Eğer Δ çap farkı çok fazla olursa sıkı geçen malzemelerin

yüzeyinde aşırı baskı oluşur ve malzeme Plastik deformasyonlara uğrar. Plastik deformasyona uğrayan malzeme yüzeyleri istenilen basıncın oluşmasını sağlayamaz ve malzeme yüzeyleri bozulmuş olur.

Mil ve deliğin çaplarını farklı değerlerde değiştirerek aynı çap farkını verecek yüzlerce çeşit çap değerleri bulunabilir. Çok fazla seçenek ortaya çıktığı için delik yada milden bir tanesi sabitlenir, diğer elemanın çapı değiştirilerek çap farkı elde edilir. Eğer delik sabitlenirse (buna Toleranslar konusunda “Birim Delik Sistemi” denir) deliğin çapı anma çapı ile aynı alınır üzerine sadece işleme toleransı eklenir. Bu durumda H toleransı kullanılır ve toleransın limit değerlerinden biri 0 değerini alır.

Toleranslar verilirken delikler için büyük harfler, miller için ise küçük harfler kullanılır. A.....G arasında kullanılan harflerde toleransın limitleri (-) negatif işaretlidir. H harfi özel bir harftir. Toleransın alt limiti 0 dir üst limiti Pozitifdir. I.....Z ye kadar harfler ise toleransın limitleri (+) pozitif işaretlidir (Bu konunun detayı için teknik resimde toleranslar konusuna bakınız).



Oluşan çap farkını bulalım ve örnekleyelim.

$$\text{Mil Çapı: } d_{mil} = d + \Delta_1$$

$$\text{Deli Çapı: } d_{delik} = d - \Delta_2$$

$$\text{Çap Farkı: } \Delta = d_{mil} - d_{delik} = d + \Delta_1 - (d - \Delta_2) = \Delta_1 + \Delta_2$$

olur. Burada çap farkı tek bir değer değildir. Deliğin alabileceği en küçük değer ile milin alabileceği en büyük değer arasındaki çap farkı maksimum olur (Δ_{maks}), tam tersi durumda, delik en büyük çapta ve mil en küçük çapta iken, Çap farkı minimum (Δ_{min}) olur.

Hareketin iletilebilmesi için Çap farkı en az **Minimum seviyede** olması gerekir. Deliğin yada milin yüzeylerinin zarar görmemesi için ise Çap farkı en fazla **Maksimum seviyede** olması gerekir.

Örnek: Anma çapı 30 mm olan Mil ve Göbek sıkı geçme ile bağlanacaktır. Delik H7 toleransı ile mil ise r6 toleransı ile işlenmiştir. Sıkı geçmeyi oluşturacak En küçük çap farkı ve en büyük çap farkı ne olur?

Önce mil ve deliğin tolerans aralıklarını, tolerans tablolarından okuyalım.

$$\text{Delik için: } \varnothing 30 H7 \begin{smallmatrix} +25 \\ 0 \end{smallmatrix} = (30,000 \div 30,025)$$

$$\text{Mil için: } \varnothing 30 r6 \begin{smallmatrix} +50 \\ +34 \end{smallmatrix} = (30,034 \div 30,050)$$

En küçük çap farkı, delik en büyük, mil en küçük çap'a sahip iken olur.

$$\text{Minimum çap farkı: } \Delta_{min} = (d_{mil})_{min} - (d_{delik})_{maks} = 30,034 - 30,025 = 9 \mu (\text{mikron})$$

En büyük çap farkı ise delik en küçük, mil en büyük çapa sahip iken olur.

$$\text{Maksimum çap farkı: } \Delta_{maks} = (d_{mil})_{maks} - (d_{delik})_{min} = 30,050 - 30,000 = 50 \mu (\text{mikron})$$

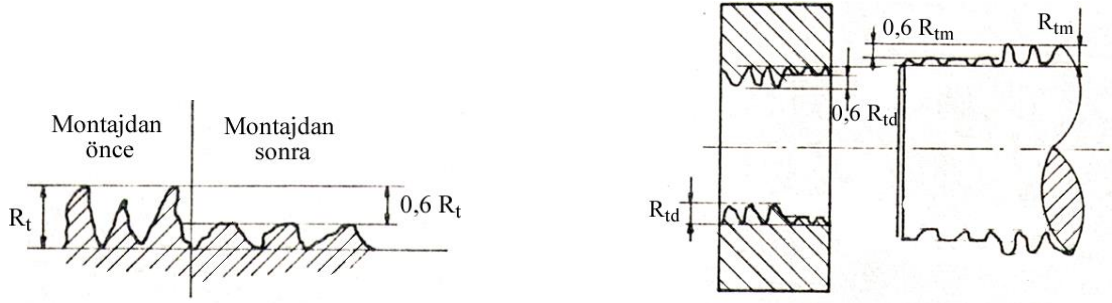
Yüzey Pürüzlülüğünün Çap Farkına Etkisi: Parça yüzeylerine mikroskopla baktığımızda en iyi işlenmiş yüzeylerde bile pürüzlerin olduğunu görürüz. Yüzey pürüzlülüğü optik ve mekanik esaslı ölçü aletleriyle ölçülebilir ve kaydedilebilir.

Pürüzün en yüksek tepesi ile en düşük çukuru arasındaki derinliğe R_t pürüz yüksekliği denir. Yapılan deneyler Pürüz yüksekliğinin sıkı geçme montajından sonra %60'nın ezilerek düzleştiğini göstermektedir. Ezilmenin aynı oranda hem mil hemde delikte olacağını varsayarsak ve çap yönünde iki kat büyüyeceğini ele alırsak sıkı geçmede çap farkında oluşan kayıp aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$\delta = 2 (0,6 R_{tm} + 0,6 R_{td})$$

Montajdan sonra sıkı geçme bu Kayıp çap farkı kadar gevşeme durumunda olacaktır. Dolayısıyla sıkı geçmeyi sağlayacak minimum ve maksimum çap farkları üzerine bu kadar daha gevşeme çap farklarını eklemeliyiz. Böylece montajdan sonra yüzeyler düzeline esas istenen gerçek çap farkı sağlanmış olsun.

Burada R_{tm} : milin yüzey pürüzlülük değeri, R_{td} : deliğin yüzey pürüzlülük değeri olur. 2 sayısı ise çapın her iki tarafından hesaplandığı için konulmuştur.



R_t Pürüzlülük değeri malzemenin yüzey işleme şekline bağlı olarak değişir. Çeşitli yüzey işleme yöntemlerinin sağladığı yüzey kaliteleri yaklaşık olarak mikron cinsinden (μ) aşağıda verilmiştir.

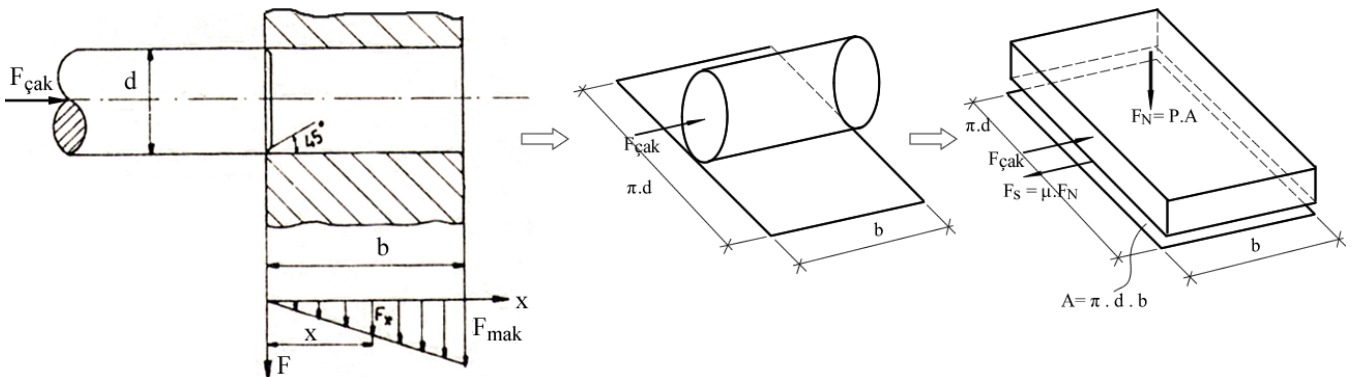
Kaba Tornalama	: 16 ÷ 40	Kaba taşlama	: 16 ÷ 80
Normal (ince) tornalama	: 6 ÷ 16	Normal taşlama	: 6 ÷ 16
Çok ince (hassas) tornalama	: 2,5 ÷ 6	Hassas taşlama	: 2,5 ÷ 6
		Çok hassas taşlama	: 1 ÷ 2,5
Bir defa raybalama	: 6 ÷ 10		
İki defa raybalama	: 2,5 ÷ 6		

Montaj ve Sökme

Düz pres bağlantıda mil delikten daha büyük çapta olduğu için, montajı yapabilmek için genellikle iki yol izlenir.

a) Pres (Çakma) İle Montaj (Soğuk fretaj / Boyuna fretaj): Pres yada çakma montajda mil yada göbek, malzemeye zarar vermeyecek şekilde vurularak, pres ile veya çekirme ile soğuk olarak oturtulur. Çakma esnasında defarמושyanlara (şekil değişimlerine) dikkat etmek gerekir. Bu deformasyonlar elastik sınırlar içinde kalmalıdır. Malzeme akmaya uğrayacak olursa (Plastik deformasyon gerçekleşirse) hem malzeme yüzeyi bozulmuş olur hemde istenen yüzey basıncı elde edilemez. Bu yöntemden iyi sonuç alabilmek için istenilen sıklığın ve mil çapının ($\varnothing < 50$ mm) çok büyük olmaması gerekir.

Milin montajı için uygulanması gereken çakma kuvvetini bulalım. Montaj esnasında mil, delik yüzeyinde ilerledikçe çakma kuvveti artacaktır. Dolayısıyla hesaplanması gereken çakma kuvveti en son noktaya ulaşması için gerekli kuvvettir. Hesabın nasıl bulunduğunu daha iyi anlamak için mili ve deliği aksel olarak yere serip, düz bir zemin üzerinde cismin hareketi olarak temsil edelim.



$$F_{\text{çak}} = F_s = \mu \cdot F_N = \mu \cdot P \cdot A \rightarrow F_{\text{çak}} = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot d \cdot b$$

Gerekli çakma (pres) kuvvetini azaltmak için yüzeyler yağlanabilir. Mil ve göbek aynı malzemeden yapılırsa pres geçmede bunlar birbirine kaynayabilir. Bunu önlemek için yüzeylerin yağlanması aynı zamanda faydalı olacaktır.

Fsök Kuvveti: Burada sıkı geçmiş bir parçaları aksel olarak sökmeye çalışırsak Fçak kuvveti yön değiştirip bu sefer sökmek için gerekli kuvvet olacaktır. Buna da Fsök kuvveti dersek $F_{\text{çak}}=F_{\text{sök}}$ olacaktır. Eğer mili yerinden sökmek için bir aksel kuvvet var ise bu durumda milin sökülmemesi için belli bir Bağlantı emniyet katsayısı (k) almak gerekir. Bunu da bağlantının titreşim durumuna göre almak gerekir. Fazla titreşimli bağlantılarda pres geçmeler çabuk sökülür. k katsayısı için şu değerleri kullanabiliriz. F_{mak} kuvveti mili yerinden sökmeye çalışan en büyük kuvvet alınmalı.

$k=1,25$ (titreşimsiz yada az titreşimli bağlantılarda)

$$F_{\text{sök}} = F_{\text{çak}} = k \cdot F_{\text{mak}}$$

$k=1,5$ (orta titreşimli bağlantılarda)

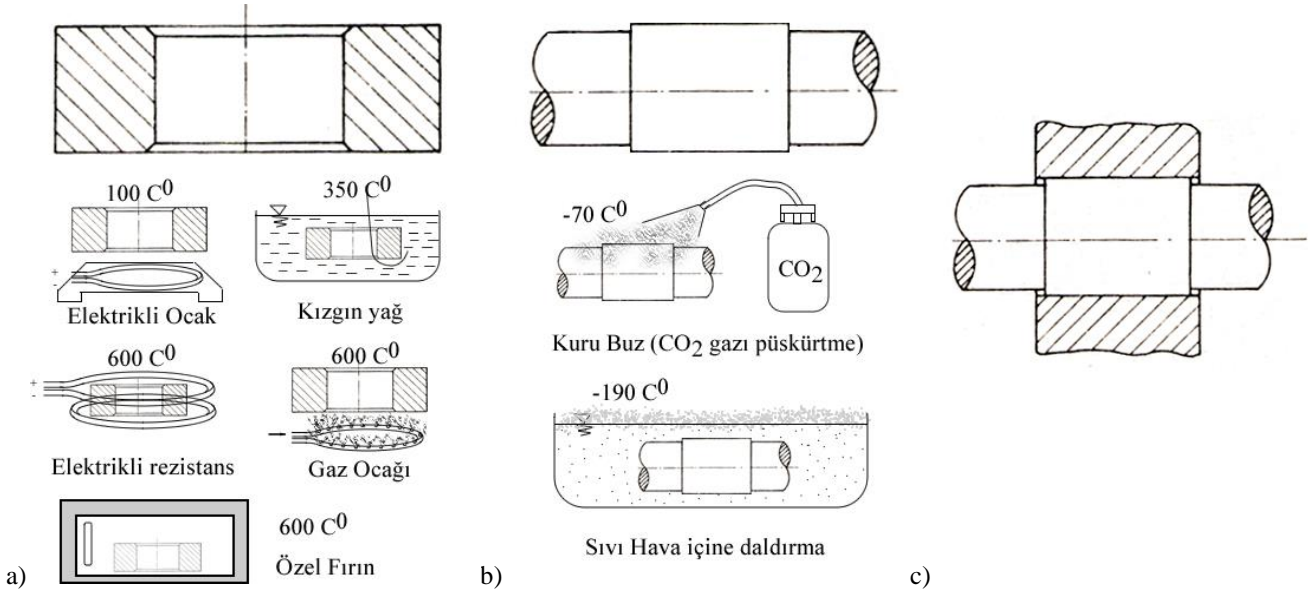
$$F_{\text{sök}} = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot d \cdot b$$

$k=2,0$ (titreşimli ve darbeli bağlantılarda)

Gerçekte soğuk olarak mili yerine çakarken, yerinden sökerken gerekli kuvvet tam eşit olmayacaktır. Çünkü çakarken yüzey prüzleri belli bir oranda düzleşecek ve sökerken daha düşük bir kuvvet gerektirecektir. Eşit olma durumu ancak Sıcak Fretaj (bir sonraki başlık) ile yapılırsa, yani delik ısıtılır ve hiç çakma kuvveti uygulamadan montaj yapılırsa o zaman $F_{\text{sök}}$ çakma kuvvetindeki formüle eşit olur. Çünkü yüzeyler hiç ezilmeden birbirine oturacaktır. Ve sökmek için çakmada olduğu gibi yüzey prüzleri sıyrılarak çıkmak zorunda kalacaktır.

b) Isıtma İle Montaj (Sıcak fretaj / Enine fretaj):

Eksenel çakma kuvveti uygulanmadan montajı gerçekleştirmek için ya kasnak ısıtılır yada mil soğutulur. Isınan kasnak genişir ve montaj gerçekleşir. Daha sonra soğuyan kasnak eski boyutlarını almaya çalışırken mili sıkıştırır. Oluşan deformasyon ölçüsünde oturma yüzeylerinde basınç kuvvetleri oluşur.



Şekil. Isıtma ile pres geçme montajı. a) Göbek malzemesini ısıtma yöntemleri, b) Mil malzemesini soğutma yöntemleri, c) Çentik etkisini azaltmak için göbek genişliği fatura genişliğini biraz aşmalıdır.

Kasnağın ısıtılmasında çarpılma olmaması için ısıtmanın her tarafta eşit olmasına dikkat edilmelidir. Homojen olmayan ısıtmalarda termik gerilmeler ortaya çıkabilir. Sıcaklığın kontrol altında tutulması gerekir. Kontrolsüz ısıtma sonucu belli sıcaklıklar aşılsa malzeme iç yapısı bozulabilir (örneğin 600 C° üzerine çıkılmamalıdır). Kontrollü ısıtma için malzeme sıcaklığını uzaktan ölçen termometreler yada sıcaklığa bağlı olarak renk değiştiren tebeşirler kullanılabilir.

Kasnağı ısıtmak yerine mili soğutarak da montaj gerçekleştirilebilir. Bunun için CO₂ tüpleri (kuru buz)(-70 C°) yada sıvı hava (-190 C°) gibi akışkanlar kullanılabilir. Çok daha fazla boşluklar elde etmek için göbek ısıtılıp mil soğutulabilir.

Montajda çentik etkisinin önüne geçmek için kasnak uçları milin fatura kısmını biraz aşmalıdır.

Sıcak fretajda, büyük sıklık değerlerine ulaşılır. Göbeğin ısıtılması ve milin soğutulması yolu ile sıklık için gerekli çap farkı sağlandıktan sonra ayrıca rahat bir geçme için ilave bir montaj boşluğu sağlanmalıdır.

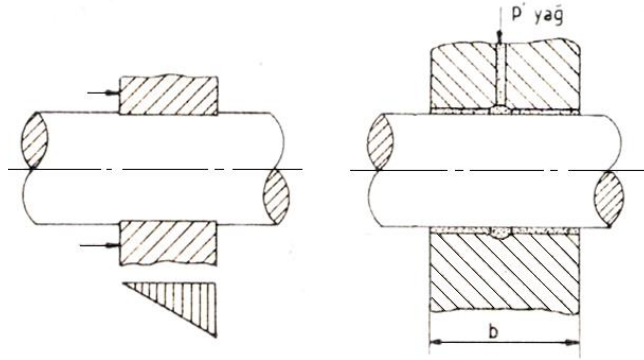
Göbeğin ısıtılması yada milin soğutulması esnasında oluşan çaptaki değişimler aşağıdaki formülle bulunabilir.

$$\Delta d = d \cdot \lambda \cdot \Delta t$$

Burada d milin ilk çapı, λ malzemenin ısı genleşme katsayısı, Δt ise oluşan sıcaklık farkıdır.

Sökme İşlemi: Düz millerde sökme işlemi oldukça zordur. Mil göbek içinde daha küçük çaplı dış kısımlarda daha büyük çaplı olduğundan, her yandan oturmuş durumdadır. Sökmek için oldukça büyük kuvvetlere ihtiyaç vardır. Ayrıca yüzeylerin ezilip bozulmasına neden olacağından tekrar kullanımı birkaç seferden sonra ortadan kalkar.

Kasnak yada mil üzerine delikler ve kanallar açılırsa, bu deliklere dışarıdan basınçlı yağ basılırsa, temas yüzeyi arasında bir yağ filmi oluşturulabilir. Yağ filminin olduğu yüzeyde sürtünme katsayısı oldukça düşeceğinden çözme işlemi kolaylaşır.



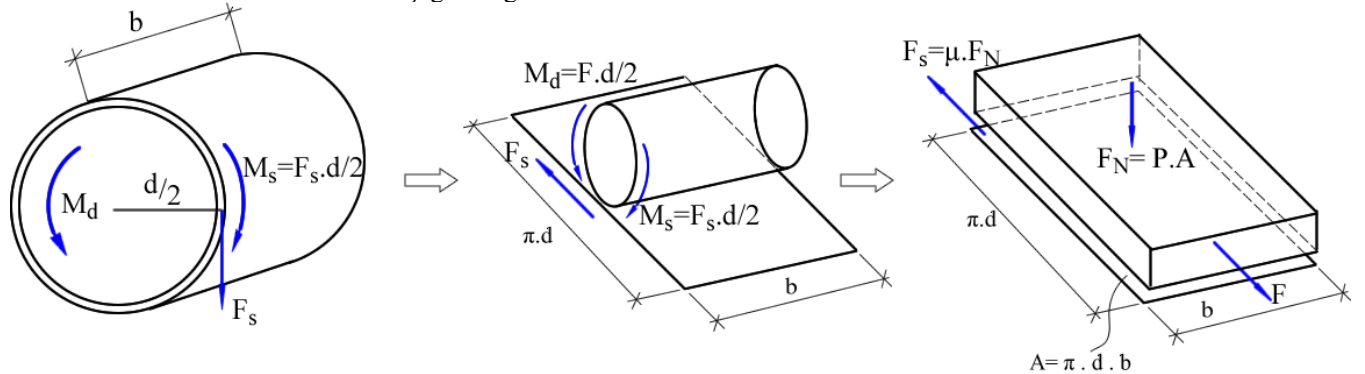
Boyuna Pres Geçmede Boyutlandırma

Sürtünme Momenti (M_s)

Motordan (milden) gelen döndürme momenti, kasnağa iletilebilmesi için Sürtünme momentinin döndürme momentinden daha büyük olması gerekir ($M_s > M_d$). Belli bir emniyet katsayısı bırakarak sürtünme momenti daha büyük alınmalıdır ($M_s = k \cdot M_d$). Burada k katsayısı bağlantının hareketi iletmedeki emniyet katsayısıdır. Bu değer aşağıdaki şekilde çalışmanın titreşim durumuna göre alınabilir.

- 1) $k=1,25$ (Titreşimsiz yada az titreşimli bağlantılar)
- 2) $k=1,5$ (Orta titreşimli bağlantılar)
- 3) $k=2,0$ (Titreşimli ve darbeli bağlantılar)

Sürtünme momentini veren formülü aşağıdaki gibi bulabiliriz.



$$M_s = F_s \cdot \frac{d}{2} = (\mu \cdot F_N) \cdot \frac{d}{2} = \mu \cdot (P \cdot A) \cdot \frac{d}{2} = \mu \cdot P \cdot (\pi \cdot d \cdot b) \cdot \frac{d}{2} \rightarrow M_s = \frac{1}{2} \pi \cdot \mu \cdot P \cdot b \cdot d^2$$

Bu formülden anladığımız hareketi iletilemek için en az minimum sürtünme momenti olmalıdır. Bunu sağlamak içinde en az minimum seviyede yüzey basıncı olmalıdır. Bu basınç değerini yukarıdaki formülden çekersek şu şekilde olacaktır.

$$P_{min} = \frac{2 \cdot M_s}{\pi \cdot \mu \cdot b \cdot d^2}$$

Çap Farkı (Δ)

Pres geçmelerin boyutlandırılmasında önemli olan, moment ve hareket iletimi için gerekli olan sürtünme momenti ve dolayısıyla onu sağlayacak basıncı oluşturma için gerekli olan Çap Farkının (Δ) bulunmasıdır.

Mili genel olarak düşünüp, içi boş boru olarak düşünürsek dış ve iç yarıçapları (r_d , r_i) olacaktır. Aynı şekilde göbeğin dış ve iç yarıçaplarını da (R_d , R_i) ile gösterebiliriz. Yarıçaplar arası oranı C katsayısı ile gösterebiliriz. Çap oranı de diyebiliriz. Oran olduğu için sonuç değişmeyecektir.

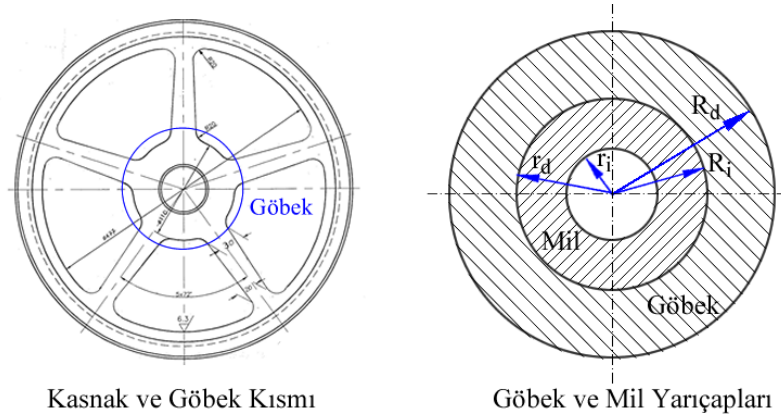
Mil için $C_1 = \frac{r_i}{r_d}$ (Eğer milin içi dolu ise $r_i = 0$ olur. Buna göre $C_1 = 0$ katsayısı da sıfır çıkar)

Göbek için $C_2 = \frac{R_i}{R_d}$

Çap farkını (Δ) veren formül aşağıdaki şekildedir. Burada P yüzeyler arasındaki basınç, d milin ve göbeğin anma çapı, E_1 milin, E_2 göbeğin elastisite modülü; ν_1 milin, ν_2 göbeğin poisson oranıdır.

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = P \cdot d \left[\frac{1}{E_1} \left(\frac{1 + C_1^2}{1 - C_1^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{1 + C_2^2}{1 - C_2^2} + \nu_2 \right) \right]$$

Bu formül bize, hareketin iletilmesi için gerekli yüzey basıncı (P), bağlantının anma çapı (d), mil ve göbeğin malzeme özellikleri (E, ν) biliniyorsa mil ve göbek arasındaki çap farkının ne kadar olması gerektiğini verecektir. Bu değer teorik bir değerdir. Gerçekte malzeme yüzeylerindeki prizler sıkı geçmede % 60 dolayında ezildiği için oluşan ekstra boşluklarda bu değere eklenmelidir. Çap farkı ne kadar büyük olursa (mil daha büyük, delik daha küçük olmak üzere) malzemeler de oluşan elastik deformasyonlarda o kadar büyük olur ve yüzey basınçlarında aynı oranda fazla demektir.



Göbeğin Çatlaması

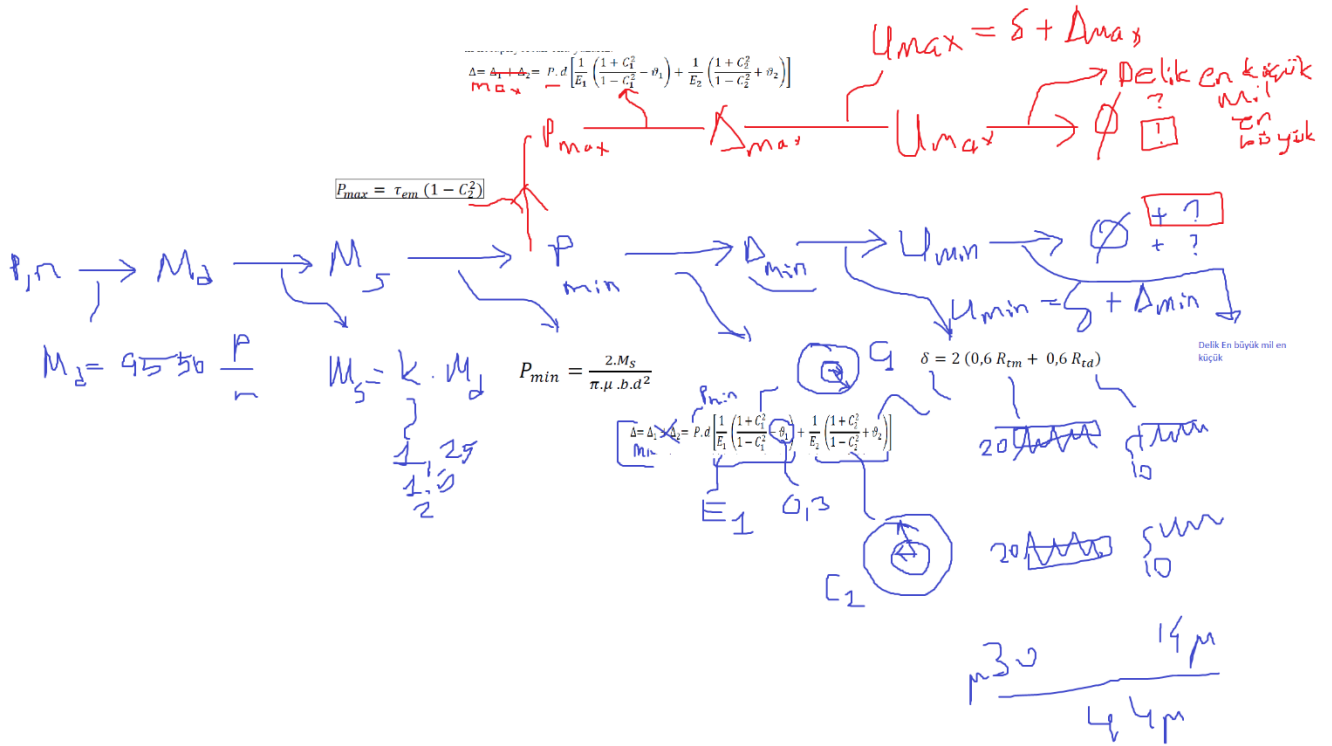
Çap oranı fazla miktarda artırılırsa yüzeyler arasındaki basınç artacaktır. Buda malzemelerin akma sınırını geçip plastik olarak bozulmasına yol açacaktır. Bu durumda malzemenin içinde oluşan kayma gerilmesinin emniyet sınırlarını geçmemesi gerekir. Buna göre maksimum olabilecek yüzey basıncı ve oluşan maksimum kayma gerilmesi arasındaki aşağıdaki gibi bir formül hesaplamalar sonucu bulunabilir. Formül göbek için yazılmıştır. Göbekler daha çabuk çatlayıp kırıldığı için mile göre daha kritik olur.

$$\tau_{mak} = \frac{P_{mak}}{1 - C_2^2} \leq \tau_{em} = \frac{\sigma_{em}}{2}$$

Buradan göbeği çatlatacak en büyük basıncı şu şekilde yazabiliriz.

$$P_{max} = \tau_{em} (1 - C_2^2)$$

Özetlersek



- Hesaplamaların mantık sırası: $P_{\text{motorgucu}} \rightarrow M_d \rightarrow M_s \rightarrow P \rightarrow \Delta \rightarrow \varnothing_{\text{toleranslar}}$
- Hareketi iletebilmek için yüzeyler arasında en az min seviyede sürtünme momenti olmalıdır. Bunu sağlayacak en düşük yüzey basıncı ise P_{min} olur. P_{min} ise $P_{\text{min}} = \frac{2 \cdot M_s}{\pi \cdot \mu \cdot b \cdot d^2}$ olacaktır..
- Eğer çap farkını aşırı artırırsak göbeği çatlatacaktır. Buda yüzeyde oluşak en büyük basıncı verir. Bunun değeri ise $P_{\text{max}} = \tau_{em} (1 - C_2^2)$ olacaktır.
- Minimum basıncı verecek çap farkı ile maksimum basıncı verecek çap farkı aşağıdaki formülden bulunabilir. Bu formülde P yerine hangisini hesaplıyorsak onu yazacağız.

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = P \cdot d \left[\frac{1}{E_1} \left(\frac{1 + C_1^2}{1 - C_1^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{1 + C_2^2}{1 - C_2^2} + \nu_2 \right) \right]$$
- Çap farkını bulduktan sonra Delik ölçüsünü sabitleyip ona bağlı olarak bu çap farklarını verecek milin ölçüsü bulunur.

Örnek (Boyuna Pres Geçme)

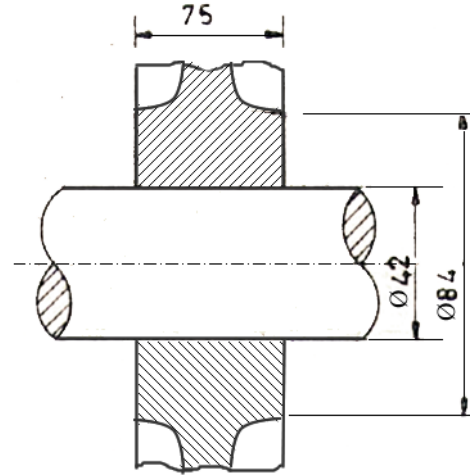
Şekildeki gibi sıkı geçme bağlantısı ile mil ve kasnak birbirine monte edilecektir. Mile bağlı motorun gücü 22 kW ve devri 900 d/d dir. Bağlantıda az düzeyde titreşim vardır. Buna göre aşağıdaki hesaplamaları yapınız.

- Malzemelerin emniyet sınırları aşılmadan bağlantıya verilecek minimum ve maksimum sıkılık değerleri ne olmalıdır? Buna bağlı olarak göbek $H7_0^{+25}$ toleransı ile işlenirse mil hangi tolerans aralığında işlenmelidir.
- Sıkı geçme için gerekli çap farkı sağlandıktan sonra, montajı yapabilmek için 60μ boşluk istenmektedir. Bu boşluğu sağlayabilmek için göbek ne kadar ısıtılmalıdır?

Gerekli diğer verilenler

Mil için : Malzeme: Fe50
 Elastisite modülü: $E_1=20,6 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{em} = 240 \text{ N/mm}^2$
 Poisson oranı: $\nu_1 = 0,3$
 Hassas tornalama ile işlenecek

Göbek için Malzeme: Dökme demir DD26
 Elastisite modülü: $E_2=9,8 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{em} = 130 \text{ N/mm}^2$
 Poisson oranı: $\nu_2 = 0,25$
 Isıl genişleme katsayısı: $\lambda=1,0 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$
 Normal tornalama ile işlenecek



İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı: $\mu=0,12$

Çözüm

a) Toleranslar için çözümü adım adım uygulayalım.

1) Motorun mile uyguladığı momenti bulalım.

$$M_d = 9550 \frac{P}{n} = 9550 \frac{22}{900} = 234 \text{ Nm}$$

2) Önce minimum çap farkını (Δ_{min}) bulalım.

Milden gelen M_d momentini sürtünme yoluyla belli bir emniyetle iletebilmesi için gerekli olan sürtünme momentini bulalım. Bağlantıda çok az titreşim olduğu için k (hareketi iletmadaki emniyet katsayısını 1,25 alalım).

$$M_s = k \cdot M_d = 1,25 \cdot 234 = 292,5 \text{ Nm} = 292500 \text{ Nmm}$$

Bu miktardaki sürtünme momentinin hareketi iletebilmesi için olması gereken yüzey basıncı minimum yüzey basıncı olur ve şu şekilde bulabiliriz.

$$M_s = \frac{1}{2} \pi \cdot \mu \cdot P \cdot b \cdot d^2 \rightarrow P_{min} = \frac{2 \cdot M_s}{\pi \cdot \mu \cdot b \cdot d^2} = \frac{2 \cdot 292500}{\pi \cdot 0,12 \cdot 75 \cdot 42^2} = 11,73 \text{ N/mm}^2$$

Bu yüzey basıncını sağlayacak çap farkı olması gereken minimum çap farkı olur. Bunu bulalım.

$$\Delta_{min} = P_{min} \cdot d \left[\frac{1}{E_1} \left(\frac{1 + C_1^2}{1 - C_1^2} - \nu_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{1 + C_2^2}{1 - C_2^2} + \nu_2 \right) \right]$$

Burada mil ve göbek için çap oranlarını hesaplarsak;

$$\text{Mil için } C_1 = \frac{r_l}{r_d} = \frac{0}{42} = 0$$

$$\text{Göbek için } C_2 = \frac{R_l}{R_d} = \frac{42}{84} = 0,5$$

Değerleri yerine yazarsak;

$$\Delta_{min} = 11,73 \cdot 42 \left[\frac{1}{20,6 \cdot 10^4} \left(\frac{1 + 0}{1 - 0} - 0,3 \right) + \frac{1}{9,8 \cdot 10^4} \left(\frac{1 + 0,5^2}{1 - 0,5^2} + 0,25 \right) \right]$$

$$\Delta_{min} = 0,0113 \text{ mm} = 11,3 \mu \cong 12 \mu \text{ (mikron)}$$

3) Maksimum çap farkını (Δ_{maks}) bulalım.

Bunun için öncelikle göbeği çatlatacak çap farkını bulmalıyız. Oluşan basınç göbek malzemesinde kayma gerilmesine sebep olur. Bunu veren formül ise aşağıdaki şekildedir.

$$\tau_{mak} = \frac{P_{mak}}{1 - C_2^2} \leq \tau_{em} = \frac{\sigma_{em}}{2} \rightarrow P_{max} = \tau_{em} (1 - C_2^2) \rightarrow P_{max} = \frac{\sigma_{em}}{2} (1 - C_2^2)$$

$$P_{max} = \frac{\sigma_{em}}{2} (1 - C_2^2) = \frac{130}{2} (1 - 0,5^2)$$

$$P_{max} = 48,75 \text{ N/mm}^2$$

Yüzey basıncı bu değere çıktığı zaman göbek çatlayacaktır. Bunu sağlayacak olan çap farkıda olması gereken en büyük çap farkı olacaktır. Buna da maksimum çap farkı (Δ_{mak}) diyoruz. Aynı formülleri kullanarak buluruz.

$$\Delta_{mak} = P_{mak} \cdot d \left[\frac{1}{E_1} \left(\frac{1 + C_1^2}{1 - C_1^2} - \vartheta_1 \right) + \frac{1}{E_2} \left(\frac{1 + C_2^2}{1 - C_2^2} + \vartheta_2 \right) \right]$$

$$\Delta_{mak} = 48,75 \cdot 42 \left[\frac{1}{20,6 \cdot 10^4} \left(\frac{1 + 0}{1 - 0} - 0,3 \right) + \frac{1}{9,8 \cdot 10^4} \left(\frac{1 + 0,5^2}{1 - 0,5^2} + 0,25 \right) \right]$$

$$\Delta_{mak} = 0,0470 \text{ mm} = 47 \mu \text{ (mikron)}$$

- 4) Yüzeylerin ezilmesi nedeniyle fazladan vermemiz gereken çap farkı (δ_{ez}) da bulalım.

Bunun için yüzeylerin hangi yöntemle işlendiğini ve bunun sağladığı yüzey pürüzlülük değerini bilmeliyiz. Yüzey pürüzlerinin %60 ezildiği varsayılmıştır. Bu kadar oluşan boşluğun çap farklarına eklenmesi gerekir.

Mil: Hassas tornalama ile işlendi ($R_t=2,5 \div 6$), Ortalaması: 4,25 çıkar, üste yuvarlarsak 5 alalım. Yani mil yüzeylerindeki ortalama pürüzlülük değeri (tepelerle çukurlar arasındaki mesafe) 5 μ demektir.

Delik: Normal tornalanmış. ($R_t=6 \div 16$), Ortalaması: 11 çıkar. Delik pürüzlerini ortalama 11 μ aldık.

Toplam pürüz 11+5= 16 μ olursa ve bunun %60 ezilirse 9,6 mikronluk daha boşluk oluşur. Bunu 10 alıp çap farkının üzerine eklemeliyiz. Böylece ezilmeden dolayı eklememiz gereken çap farkı $\delta_{ez}=10 \mu$ olur. Yeni oluşan çap farklarını U ile gösterirsek U_{min} ve U_{max} değerleri şu şekilde çıkacaktır. **(DİKKAT: Ezilme toleransı 2 kat olarak alınmalı. Değerleri ona göre güncelleyin!)**

$$U_{min} = \Delta_{min} + \delta_{ez} = 12 + 10 = 22 \mu \text{ olur.}$$

$$U_{max} = \Delta_{mak} + \delta_{ez} = 47 + 10 = 57 \mu \text{ olur.}$$

- 5) Bu çap farklarına göre üretilcek mil ve göbek boyut toleransları ne olacak, onu bulalım.

Delik $H6_0^{+16}$ toleransı ile işlenmişti. Delik sabit kabul edilip mil çaplarını belirleyelim. En büyük çap farkını veren durum, deliğin en küçük, milin en büyük olduğu durumdur. En küçük çap farkını veren durum ise tam tersidir. Yani deliğin en büyük milin en küçük olduğu durumdur. Buna göre delik ve milin üretilcek çap aralıklarını

$$\begin{aligned} \text{Delik: } \varnothing 42 H7_0^{+25} & \quad 42,000 + 0,025 = 42,025 \\ & \quad 42,000 + 0,000 = 42,000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mil:} & \quad D_{mil} = 42,000 + 0,057 = 42,057 \\ & \quad d_{mil} = 42,025 + 0,022 = 42,047 \end{aligned}$$

Mil için en yakın tolerans $\varnothing 42 s6_{+43}^{+59}$ olarak gözüküyor fakat bu değer tam olarak sağlamaz. Bu aralığı verecek başka harf ve büyüklük değerine bakılmalıdır. Standart harf yazılmadan direk olarak $\varnothing 42_{+44}^{+57}$ şeklinde toleranslar yazılabilir.

- b) Montajı kolay gerçekleştirebilmek için 60 μ daha fazladan boşluk istenmektedir. Bu boşluğu sağlamak için göbeği ne kadar ısıtmamız gerekiyor, bu soruluyor.

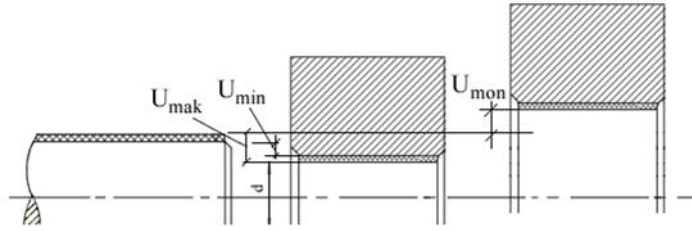
Burada göbek genişlerken önce milin çap değerlerini yakalaması ve bundan başka ayrıca fazladan 60 μ daha boşluğa sahip olması gerekiyor.

Dolayısı ile göbeğin en küçük çapın üzerine fazladan genişlemesi gereken boşluk ($U_{mak} + U_{mon}$) olacaktır. Bunun sayısal değeri;

$$\Delta d = U_{mak} + U_{mon} = 57 + 60 = 117 \mu$$

Göbek çapı en küçük çapta iken bu kadar genişlemeyi sağlayacak ısıtma ne olmalıdır?. Çaptaki genişleme miktarı, sıcaklık farkına, başlangıç çapına ve malzemenin ısıl genişleme katsayısına (λ) bağlıdır. Buna göre formülümüz;

$$\Delta d = d \cdot \lambda \cdot \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta d}{d \cdot \lambda} = \frac{0,117}{42 \cdot 10^{-5}} = 278 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Ekler

Tablo 8. Birim Delik sistemine göre (deliği referans alma) H7 için verilen mil tolerans değerleri (Tablo örnek olarak konulmuştur. Standartlarda daha fazla tablolar vardır, Tüm harflerin karşılığı olan değerler mevcuttur).

Nominal ölçü mm olarak	H7	Boşluklu geçme			Ara geçme			Sıkı geçme			
		f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6
≤ 3	+10	-6	-2	0	±3	+6	+8	+10	+12	+16	+20
	0	-12	-8	-6		0	+2	+4	+6	+10	+14
> 3 - 6	+12	-10	-4	0	±4	+9	+12	+16	+20	+23	+27
	0	-18	-12	-8		+1	+4	+8	+12	+15	+19
> 6 - 10	+15	-13	-5	0	±4,5	+10	+15	+19	+24	+28	+32
	0	-22	-14	-9		+1	+6	+10	+15	+19	+23
> 10 - 18	+18	-16	-6	0	±5,5	+12	+18	+23	+29	+34	+39
	0	-27	-17	-11		+1	+7	+12	+18	+23	+28
> 18 - 30	+21	-20	-7	0	±6,5	+15	+21	+28	+35	+41	+48
	0	-33	-20	-13		+2	+8	+15	+22	+28	+35
> 30 - 50	+25	-25	-9	0	±8	+18	+25	+33	+42	+50	+59
	0	-41	-25	-16		+2	+9	+17	+26	+34	+43
> 50 - 65	+30	-30	-10	0	±9,5	+21	+30	+39	+51	+60	+72
		-49	-29	-19		+2	+11	+20	+32	+41	+53
> 65 - 80	0	-49	-29	-19	±9,5	+21	+30	+39	+51	+62	+78
		-49	-29	-19		+2	+11	+20	+32	+43	+59
> 80-100	+35	-36	-12	0	±11	+25	+35	+45	+59	+73	+93
		-58	-34	-22		+3	+13	+23	+37	+51	+71
> 100-120	0	-58	-34	-22	±11	+25	+35	+45	+59	+76	+101
		-58	-34	-22		+3	+13	+23	+37	+54	+79
> 120-140	+40	-43	-14	0	±12,5	+28	+40	+52	+68	+88	+117
		-68	-39	-25		+3	+15	+27	+43	+63	+92
> 140-160	0	-68	-39	-25	±12,5	+28	+40	+52	+68	+90	+125
		-68	-39	-25		+3	+15	+27	+43	+65	+100
> 160-180	+46	-50	-15	0	±14,5	+33	+46	+60	+79	+93	+133
		-79	-44	-29		+4	+17	+31	+50	+68	+108
> 180-200	0	-79	-44	-29	±14,5	+33	+46	+60	+79	+106	+151
		-79	-44	-29		+4	+17	+31	+50	+77	+122
> 200-225	+52	-56	-17	0	±16	+36	+52	+66	+88	+109	+159
		-88	-49	-32		+4	+20	+34	+56	+80	+130
> 225-250	0	-88	-49	-32	±16	+36	+52	+66	+88	+113	+169
		-88	-49	-32		+4	+20	+34	+56	+84	+140
> 250-280	+57	-56	-17	0	±16	+36	+52	+66	+88	+126	+190
		-88	-49	-32		+4	+20	+34	+56	+94	+158
> 280-315	0	-88	-49	-32	±16	+36	+52	+66	+88	+130	+202
		-88	-49	-32		+4	+20	+34	+56	+98	+170
> 315-355	+63	-62	-18	0	±18	+40	+57	+73	+98	+144	+226
		-98	-54	-36		+4	+21	+37	+62	+108	+190
> 355-400	0	-98	-54	-36	±18	+40	+57	+73	+98	+150	+244
		-98	-54	-36		+4	+21	+37	+62	+114	+208
> 400-450	+63	-68	-20	0	±20	+45	+63	+80	+108	+166	+272
		-108	-60	-40		+5	+23	+40	+68	+126	+232
> 450-500	0	-108	-60	-40	±20	+45	+63	+80	+108	+172	+292
		-108	-60	-40		+5	+23	+40	+68	+132	+252