

2009 Kasım

www.guven-kutay.ch

MUKAVEMET DEĞERLERİ

MALZEMENİN MUKAVEMET DEĞERLERİ

05-2

M. Güven KUTAY

İÇİNDEKİLER

2.	MALZEMENİN MUKAVEMET DEĞERLERİ	2.3
2.1.	Genel bilgiler.....	2.3
2.2.	Malzemenin mekanik özellikleri, çekme deneyi	2.6
2.2.1.	Hooke kanunu	2.9
2.2.2.	Malzemenin biçim değiştirmesi.....	2.10
2.2.2.1.	Boyuna uzama.....	2.10
2.2.2.2.	Enine büzülme	2.11
2.2.2.3.	Poisson (puason) sayısı " ν ".....	2.11
2.2.2.4.	Kopma uzaması ve kopma büzülmesi,.....	2.12
2.3.	Devamlı mukavemet.....	2.14
2.3.1.	Genel	2.14
2.3.2.	Gerilme durumları	2.15
2.3.2.1.	Statik gerilme veya sakin gerilme I. Durum	2.15
2.3.2.2.	Dinamik dalgalı gerilme, II. Durum.....	2.16
2.3.2.3.	Dinamik değişken gerilme, III. Durum	2.17
2.3.3.	Wöhler diyagramı.....	2.18
2.3.4.	SMITH'e göre devamlı mukavemet diyagramı.....	2.19
2.3.5.	Devamlı mukavemet diyagramının yaklaşık olarak yapılması	2.21
2.3.5.1.	DM-Diyagramının yaklaşık kaba konstruksiyonu	2.22
2.3.6.	Yeni bilinen bağıntılar ile Devamlı mukavemet değerlerinin bulunması	2.23
2.3.6.1.	DM-Diyagramının konstruksiyonu	2.23
2.3.7.	Devamlı mukavemet değeri okuma örnekleri.....	2.24
2.3.7.1.	Örnek 1	2.24
2.3.7.2.	Örnek 2	2.25
2.3.7.3.	Örnek 3	2.26
2.4.	Şekillenme mukavemeti	2.27
2.4.1.	Genel	2.27
2.4.2.	Yüzey pürüzlüğü etkisi, yüzey pürüzlüğü katsayısı b_1	2.27
2.4.3.	Büyüklik etkisi, büyüklik katsayısı b_2	2.30
2.4.4.	Çentik etkisi.....	2.32
2.4.4.1.	Çentik etkisinin sebebi	2.32
2.4.4.2.	Çentik katsayısı $\square_{\text{Çt}}$	2.34
2.4.5.	Birleşik zorlanmalarda çentik katsayısı $\square_{\text{Çt}}$	2.38
2.5.	Örnekler	2.38
2.5.1.	Örnek Ç1, Çekme mukavemeti	2.38
2.5.2.	Örnek Ç2, Çekme mukavemeti	2.38
2.5.3.	Örnek B1, Basma mukavemeti.....	2.38
2.5.4.	Örnek B2, Basma mukavemeti.....	2.38
2.5.5.	Örnek EG1, Eğilme mukavemeti.....	2.38
2.5.6.	Örnek EG2, Eğilme mukavemeti.....	2.38
2.5.7.	Örnek KE1, Kesme mukavemeti	2.38
2.5.8.	Örnek KE2, Kesme mukavemeti	2.38
2.5.9.	Örnek BR1, Brulma, Torsiyon mukavemeti.....	2.38
2.5.10.	Örnek BR2, Brulma, Torsiyon mukavemeti	2.38
2.5.11.	Örnek BZ1, Bileşik mukavemet	2.38
2.5.12.	Örnek BZ2, Bileşik mukavemet	2.38
3.	Konu İndeksi.....	3.38

2. MALZEMENİN MUKAVEMET DEğERLERİ

2.1. Genel bilgiler

Bir parçayı veya parçalar gurubunun konstruksiyonunu yaparken bu parçaya veya parçalar grupuna etki eden zorlamaları birinci kısımda gördük.

Parçanın görevini yapabilmesi için ve istenilen koşulları yerine getirebilmesi için bu koşullara uygun malzemenin seçilmesi gereklidir, yani malzemenin mukavemet değerlerini bilmek gereklidir.

Bu gün bütün ayrıntılı koşullara uygun malzeme grupunu seçme imkanı bulunmaktadır. Bu grupta işe en uygun malzemeyi seçme olasılığı vardır. Malzeme seçiminde ya konstrüktörün kendisinin malze hakkında ayrıntılı ve geniş deneyimi olması gereklidir veya malzeme hakkında geniş ve ayrıntılı bilgisi olan bir elemandan bilgi alması gereklidir.

Malzeme seçimindeki ana düşünce şudur:

Parçanın teknik ve ticari koşullarını, korkudan dolayı en iyi şekilde yerine getiren ve en pahalı malzeme yerine, koşulları yeterince yerine getiren malzeme seçilir.

Malzemenin parça için koşulan teknik ve ticari koşlları yeterince yerine getirebilmesi, diğer deyimiyle parça için ön görülen ömrü, parçanın tamamlayabilmesi için şu özellikler gözden geçirilmelidir.

1. Malzemenin özellikleri,
2. Parçanın biçimlendirilmesi,
3. Çevre etkileri.

◆ Malzemenin özellikleri

Malzemenin aşağıda sıralanan özellikleri bilinmelidir.

- mekanik özellikler,
- fiziksel özellikler,
- kimyasal özellikler.

- Mekanik özellikler

Malzemenin mekanik özellikleri denince problemin şekline göre şu özellikler anlaşılır: Malzemenin çekme mukavemeti (basma, eğilme ve kayma mukavemeti), elastiklik modülü, akma sınırı, aşınma mukavemeti, devamlı mukavemet değeri, sertlik, v.b.

- Fiziksel özellikler

Malzemenin fiziksel özellikleri denince şu özellikler anlaşılır: ısı genleşme katsayısı, ısı iletme özelliği, özgül ısı kapasitesi, v.b.

- Kimyasal özellikler

Malzemenin kimyasal özellikleri denince şu özellikler anlaşılır: malzemenin kimyasal bileşimi, korozyona karşı dayanıklılığı, yağlara ve asitlere karşı dayanıklılığı, v.b.

Genel olarak malzemenin kullanılacağı yer ve şekil önemlidir.

Örneğin: Açık havada korozyon tehlikesinin etkisinde olan parçaların malzemesi krom veya nikel alışımlı çelik olarak saptanır. Bazen pasa karşı dayanıklı malzeme veya çok özel hallerde yalnız yüksek nikel alışımlı çelikler kullanılır. Normal malzeme nikelaj, kromaj veya galvanizleme gibi kaplama ile korozyona karşı önlemler alınır. Kuvvet etkisinin az olduğu yerlerde aliminyum ve alışımları ile plastik malzeme de kullanılabilir. Bu durumda fiyat düşünülecek karşılaştırma değeridir.

Değişmeyen, sabit yük altında olan malzemenin mukavemet değerleri, parçanın kırılıp kopmadan yükü taşımasını sağlamalıdır. Malzemenin sünek olması, kopup kırılmadan önce belirli bir deformasyon göstererek, kopmanın yakın olduğunu bildirmesi gereklidir.

Bir çok halde parça dalgalı veya değişken zorlanmaların etkisindedir. Bu durumda devamlı veya zamana dayalı mukavemete göre parçanın boyutları seçilir. Parçanın ucuza gelmesi için çoğu zaman yüksek mukavemet değerleri ısıtma işlemi veya sertleştirme ile ulaşılır.

◆ Parçanın biçimlendirilmesi

Parçanın biçimlendirilmesi deyince şu özellikler akla gelir:

- Parçanın yüzey özellikleri,
- Parçadaki kertik veya çentikler,
- Parçanın üretim biçimleri.

- Parçanın yüzey özellikleri

Yüzey pürüzleri ne kadar az olursa parçanın malzemesinin mukavemet değeri o kadar yüksek olur. Bunun içinde ya malzemenin yüzeyi çok küçük pürüzlü olmalıdır veya kaplama yapılmalıdır. Konstruksiyon koşullarına göre mali yönde düşünülerek seçilir. Bazen dış etkilere karşı koyması için aşınmaya dayanıklı malzemede seçilir.

- Parçadaki kertik veya çentikler

Kertik veya çentiklerin etkisi malzemenin mukavemet değeri arttırılmakla azaltılmaz. Malzemenin mukavemet değeri arttıkça, kertiklere karşı duyarlılığıda artar. Bunun için mukavemet değeri yüksek malzeme seçmektense, kertiğin bilinçli boyutlandırılması daha akıllıca bir tutumdur.

- Parçanın üretim biçimleri

Burada teknolojik özellikler önemli rol oynar. Malzemenin talaşlı imalata uygunluğu, kaynak yapılmaya uygunluğu ile döküm ve dövme üretim yöntemine uygunluğu bilinmelidir. Az sayıda üretilecek parçalarda talaşlı imalat ve benzeri üretim yöntemleri geçerli olmasına karşın, fazla sayıda üretilecek parçalarda döküm ve dövme gibi üretim yöntemleri parçanın ucuz üretilmesine büyük etki ederler. Komplike parçaların üretiminde döküm yönteminin kullanılması büyük avantajdır.

◆ Çevre etkileri

Parçaya çevre etkisi denince şunlar akla gelir:

- Çevre ısısı,
- Malzemenin fiatı,
- Elde olan malzeme, yani depodaki malzeme,
- Malzemenin tekrar kullanılma özelliği.

- Çevre ısısı

Normal çevre ısısı denince, malzeme için - 40° ile + 250° C arası ısı anlaşılır. Bu ısı değerleri dışında malzemenin mukavemet değerleri oldukça büyük farklar gösterirler. Malzeme seçiminde ıyıyı unutmamak ve yüksek veya alçak ısı halinde özel malzeme seçmekte yarar vardır.

- Malzemenin fiatı

İmalat çelikleri diğer çeliklere göre daha ucuzdur. Özel profiller hem zor bulunur hemde pahalıdırlar. Döküm parçalarının biçimlendirilmesi ve sayısı fiata çok etki eder. Döküm ve döküm parçaları kitabında bu konuda geniş ve etraflı bilgi verilmiştir.

- Elde olan malzeme

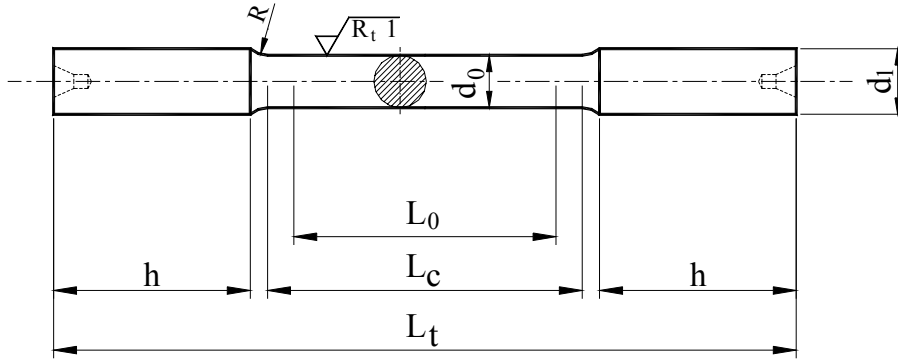
Ucuz ve elegant konstruksiyon yapmak için depodaki malzemenin dışında malzeme seçmek, ucuzluktan çok pahalılık doğurur. Muhakkak yeni malzeme gerekli ise bunu çok bulunan malzeme türünden seçmek akıllıca bir iştir. Örneğin: İmalat çeliği, döküm ise kır döküm gibi.

- Malzemenin tekrar kullanılma özelliği

Pahalı malzemelerde, malzemenin tekrar kullanılabilmesi dikkat edilecek önemli özelliklerinden biridir. Malzemenin artan parçalarının veya talaşının tekrar kullanılabilmesi mali açıdan, çevre korunması ve sağlığı açısından avantajdır.

2.2. Malzemenin mekanik özellikleri, çekme deneyi

Malzemenin mekanik özelliklerinin başında çekme mukavemeti gelir. Çekme mukavemeti için Dinamometre kullanılır. Dinamometre ile yapılan deneylerle **Gerilme-Uzama** diyagramı kurulur. Bu deneyi yapabilmek için dinamometre ile deney çubuklarına gerek vardır. Bu deney malzeme mukavemet değerinin bulunması için ilk yapılan deneydir ve bu gün hala



Şek. 2.1, Deney çubuğu

geçerliliğini korumaktadır. Deney çubukları Şek. 2.1 görüldüğü gibi istenilen malzeme için hazırlanır. Burada verilmiş olan deney çubuğu Alman standartı DIN 50125 e göre A tipi deney çubuğudur. Deney çubuğunun yüzey pürüzlülüğü $R_t = 1 \mu\text{m}$ hassaslığında taşlanmış ve cilalanmıştır. Bunun yanında genelde deney çapı ile deney kesitinin boyu oranı belirli bir büyüklüktedir.

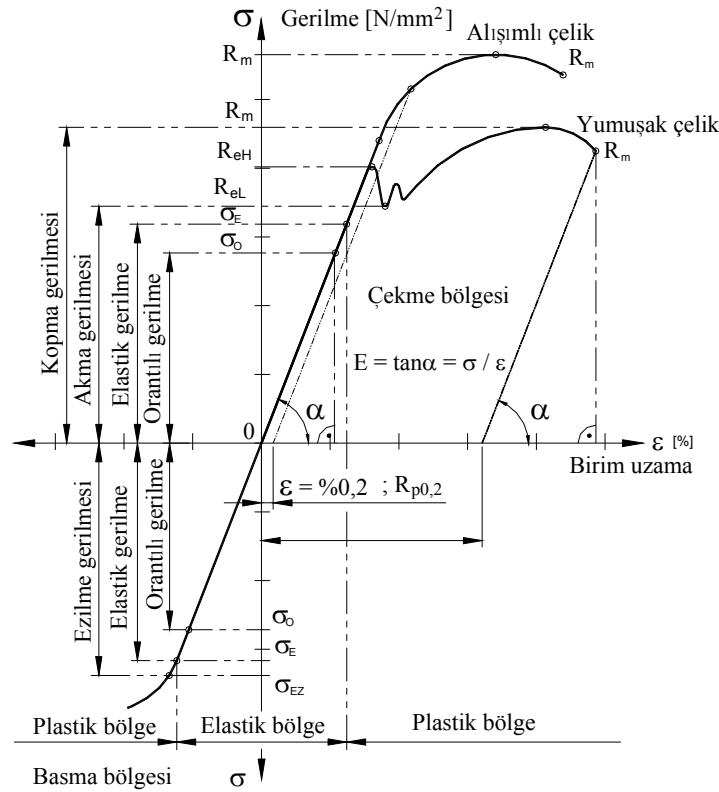
Burada ölçüler A tipi için şu büyüklüktedir:

$d_0 = 8 \text{ mm}$; $L_0 = 40 \text{ mm}$; $L_c = 48 \text{ mm}$; $L_t = 115 \text{ mm}$; $d_1 = 10 \text{ mm}$
 $h = 30 \text{ mm}$ ve oran $L_0 / d_0 = 5$ alınmıştır.

Deney çubuğu tipleri, A (yukarıda verildiği gibi), B (d_1 çapı metrik diş olarak hazırlanır) ve E (yassı lama deney çubuğu) olmak üzere üç çeşittir.

Gerilme-Uzama diyagramı

Gerilme kuvvet ile doğru orantılı olduğundan diyagramda genel tanımların yapılabilmesi için kuvvet yerine gerilme alınmıştır. Deney çubuğunda, diğer deyimle malzemede meydana gelen bütün değişikliklerin kendine özgü deyimini vardır. Bu deyimleri şu şekilde sıralayabiliriz:



Şek. 2.2, Gerilme-Uzama diyagramı

Kopma mukavemeti : Devamlı ve linear fazlaşan gerilme sonucu malzemenin koptuğu gerilme büyüklüğüne "**kopma mukavemeti**" adı verilir ve R_m ile gösterilir.

Akma mukavemeti : Kuvvetin sabit kalmasına rağmen kalıcı deformasyonun başladığı gerilmenin değerine "**akma mukavemeti**" adı verilir ve σ_{AK} veya τ_{AK} (*sigma veya tau indeks AK*) ile gösterilir.

% 0,2 Uzama mukavemeti : Kuvvetin sabit kalmasına rağmen kalıcı deformasyonun % 0,2 olduğu gerilmenin değerine "**%0,2 uzama mukavemeti**" adı verilir ve $R_{p0,2}$ ile gösterilir.

Orantılı mukavemet: Devamlı ve linear olarak fazlaşan gerilme ile uzamını birbirine oranının sabit kaldığı gerilme büyüklüğüne "**orantılı mukavemet**" adı verilir ve σ_o veya τ_o (*sigma veya tau indeks o*) ile gösterilir.

Elastiklik modülü : Elastiklik modülü, orantılı mukavemetde, gerilmenin uzamaya oranıdır.

Gerilme-Uzama Diyagramının Anlatımı

Bu diyagram dinamometre diğer ismiyle koparma makinasıyla gayet kolay elde edilir. Burada alınacak malzemenin çelik, yani izotrop malzeme olması gereklidir. Bu diyagramda Y ekseninde A₀ kesitindeki gerilme ve X ekseninde deney çubuğunun uzamasının deney boyuna oranını % olarak, diğer deyişle birim uzaması gösterilir. Diyagramdanda görüleceği gibi, burada iki bölge vardır. Bunlar "**çekme**" ve "**basma**" bölgesi diye adlandırılır.

Çekme Bölgesinin Anlatımı :

Deney çubuğunu hiç bir şekilde yüklemeden deney makinasına bağlayalım. Deney çubuğu bağlandıktan sonra yavaş yavaş yükselen gerilme (gerilme = kuvvet / kesit alanı) ile yükleyelim. Çubuktaki gerilme ve uzamalar izotrop malzeme olduğu için **Hooke (huk)** kanununda belirttiği gibi orantılı olarak artacaktır. Bu orantılı artmanın geçerli olduğu araya "**orantılı mukavemet**", bittiği yere de "**orantılı mukavemet sınırı**" denir. Orantılı mukavemet sınırından önce gerilmeyi azaltır ve sıfıra indirirsek tekrar diyagrama başladığımız koordinat sisteminin sıfır noktasına döneriz. Orantılı mukavemet sınırı içinde gerilmenin ve uzamaya oranı sabit olduğundan bu oran "**elastiklik modülü**" olarak adlandırılır ve mukavemet hesaplarında çok önemli yer alır. Orantılı mukavemet sınırını aşınca "**elastiklik sınırı**" na ulaşırız. Buraya kadar değişen gerilme değerlerine karşın malzemenin elastiklik özelliği değişmez. Bu sınırı belirlemek oldukça zor olduğundan günlük mukavemet hesaplarında bu değer pek kullanılmaz. Bu değerde aşıldığında "**akma sınırı**"na gelinir. Akma sınırına kadar Hooke kanunu geçerlidir, şöyleki:

$$\sigma = \frac{E}{\epsilon}$$

Gerilme, akma sınırınında ötesine yükseltirirse gerilme ile uzama arasındaki orantılı değişim devam etmez. Uzama gerilmeye kıyasla daha fazla değişim gösterir. Akma sınırından hemen sonra gerilme yani kuvvetin değişmemesine karşın diyagramda uzama yönünde düzensiz bir değişim, uzamada büyüme görülür. Birden bire deney çubuğunun bir yerinde büzülme görülür ve çubuk bu büzülen yerden kopar.

Bütün bu olaylar deneyin çekme kuvveti etkisi ile çekme tarafında oluşur.

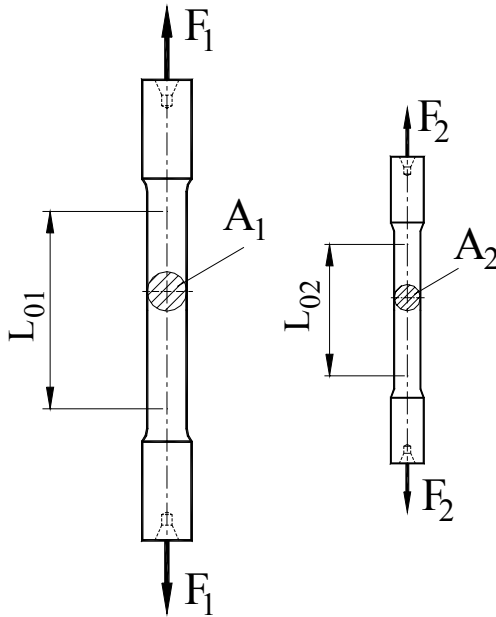
Malzeme orantılı mukavemeti sınırı içinde tam elastikliğini korur. Bu sınır içinde oluşan bütün deformasyonlar elastik deformasyondur ve kuvvet veya gerilme etkisi kalktığı anda deformasyonlarda yok olurlar. Orantılı mukavemet sınırından başlayarak malzeme yavaş yavaş elastikliğini yitirir ve kalıcı deformasyonlar belirir. Malzeme kalıcı deformasyon ile biçimlendirilecekse, bu durumda akma sınırının çok üstünde gerilmelerin etkisinde devamlı bir zaman bırakılmalıdır (örneğin; presleme, sıvama, eğme, uzatma gibi). Kısa zamanda etki eden büyük kuvvet veya gerilmeler malzemeye zarar vermeyeceği gibi, tam tersine soğuk haddemeleme işlemi paralelinde mukavemet değerinin yükselmesini sağlarlar.

Basma bölgesinin anlatımı :

Diyagramın çekme tarafında akma sınırına kadar olan kısmı ile basma tarafındaki "ezilme sınırı" na kadar olan kısmı izotrop malzemeler için simetrikdir. Bu simetri sıfır noktasına göredir. Basma tarafında da ezilme sınırına kadar Hooke kanunları geçerlidir. Ezilme sınırı, akma sınırı gibi tam belirlenmemiştir. Basma gerilmesi etkisinde olan izotrop malzeme, gerilmenin artması ile malzeme kesitinin tombullaşması ve bu tombullaşma sonucu yanlardan malzemenin boyuna çatlamasını doğurur. Bu basma gerilmesi etkisinde malzemenin kopmasına işarettir. Kır döküm, beton gibi gevrek malzemelerde gerilmenin ezilme sınırını geçmesi ile parçada dağılma oluşur. Gevrek malzemelerde ezilme sınırı akma sınırına kıyasla çok yüksektir. Kır dökümde bu oran 1:3 dür.

2.2.1. Hooke kanunu

Hooke 1635 ile 1703 seneleri arasında Londra'da yaşamış bir İngiliz bilimci ve mukavemet dalına önemli kanunu ile büyük kolaylık sağlamıştır. Hooke kanununu izotrop olan malzemelerde, orantılı mukavemet sınırı için, şu şekilde kurmuştur.



Şek. 2.3, Deney çubukları

Şek. 2.3 de görüldüğü gibi aynı izotrop malzemenin, örneğin; çelikten, iki adet birbirine eşit olmayan çeşitli ölçülerde deney çubuğu alalım. Bu çubukları dinamometrede birbirinden farklı iki kuvvet F_1 ve F_2 etkisinde bırakalım. Böylece deney çubukları birbirine eşit olmayan iki gerilme σ_1 ve σ_2 etkisinde kalacaktır.

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad \text{ve} \quad \sigma_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

Deney çubuklarını ölçecek olursak çeşitli çubuk uzamalarını ΔL_1 ve ΔL_2 yi buluruz. Bu uzamaların çıkış boylarına L_{01} ve L_{02} ye oranı bize çeşitli uzamalar verir. Bu uzamaların formülünü yazarsak ve bu değerlerle yukarıda hesapladığımız gerilmeleri bölersek, malzemenin ana özelliklerinden biri olan "elastiklik modülü" E yi buluruz. Bu değeri ilk

Thomas Young bulduğundan İngilizce literatürde buna "Young modülü" denilir.

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L_1}{L_{01}} ; \quad \epsilon_2 = \frac{\Delta L_2}{L_{02}} \quad \text{ve} \quad \sigma_1 = \frac{F_1}{A_1} ; \quad \sigma_2 = \frac{F_2}{A_2} = E = \text{sabit}$$

veya genelde gösterildiği gibi:

F. 1

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Bu Hooke kanunudur ve σ gerilmeyi, E elastiklik modülünü ve ε birim uzamasını gösterir.

Hooke kanunu

Izotrop malzemede orantı sınırına kadar gerilme ile uzamanın birbirine oranı sabittir. Bu sabit değer elastiklik modülü diye adlandırılır.

Elastiklik modülü E ile kayma modülü G arasında şu bağıntı vardır:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

2.2.2. Malzemenin biçim değiştirmesi

2.2.2.1. Boyuna uzama

Bir çubuk yük altında biçim değiştirir. Kuvvet çubuğu çekmeye zorluyorsa, çubuğun boyu uzayacaktır. Basıya çalışan çubukta çubuğun boyu kısalacaktır. Ekseninden kuvvet etkisinde olan bir çubuğun boyu uzayacaktır. Bu uzamayı ΔL olarak gösterirsek, bu çubuğun yeni boyu L_1 ile yüklenmeden önceki boyu L_0 in farkıdır, şöyleki:

$$\Delta L = L_1 - L_0$$

Çubuğun uzaması ΔL ile ilk ana boyu oranına "**birim uzama**" denir ve ε (*epsilon*) ile gösterilir.

Birim uzamanın birimi yoktur. Birim uzama ya bir sayı olarak veya yüzde (%) oran olarak kullanılır.

Birim uzama bir sayı olarak hesaplanmak istenirse:

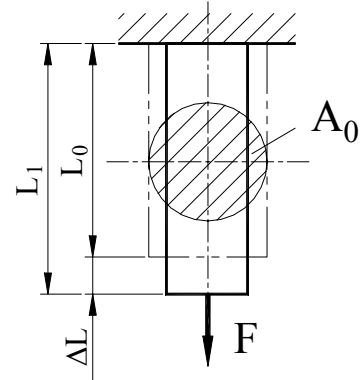
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0}$$

Birim uzama yüzde oran olarak hesaplanmak istenirse:

F. 2

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} \cdot 100$$

Parça çekmeye zorlanıyorsa, birim uzamanın (ε) işareti " + " pozitifdir, çünkü $L_1 > L_0$ dür. Eğer parça basıya zorlanıyorsa, birim uzamanın (ε) işareti " - " negatifdir, çünkü $L_1 < L_0$ dür.



Şek. 2.4, Boyuna uzama

2.2.2.2. Enine büzülme

Eksenel kuvvet etkisinde olan parçaların boylarının değişmesi yanında enleride değişir. Basma zorlanması etkisinde olan cisimler kalınlaşır, çekme zorlanması etkisinde olan cisimler incelir. Bu büzülmeyi Δd olarak gösterirsek, bu çubuğun yeni çapı d_1 ile yüklenmeden önceki çapı d_0 ın farkıdır, şöyleki:

$$\Delta d = d_0 - d_1$$

Çubuğun büzülmesi Δd ile, ilk ana boyu oranına "**enine uzama**" denir ve ϵ_{en} (*epsilon indeks en*) ile gösterilir.

Enine uzamanın birimi yoktur. Enine uzama ya bir sayı olarak veya yüzde (%) oran olarak kullanılır.

Enine uzama bir sayı olarak hesaplanmak istenirse:

$$\epsilon_{en} = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{(d_0 - d_1)}{d_0}$$

Enine uzama yüzde oran olarak hesaplanmak istenirse:

F. 3

$$\epsilon_{en} = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{(d_0 - d_1)}{d_0} \cdot 100$$

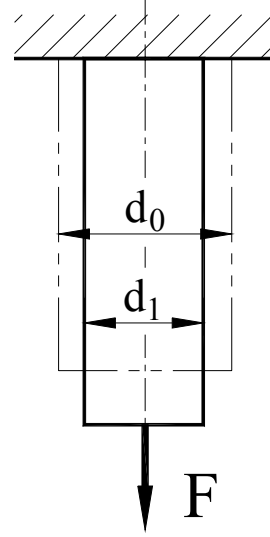
Parça çekmeye zorlanıyorsa, enine uzama ϵ_{en} nin işareti" + " pozitifdir, çünkü $d_1 < d_0$ dr. Eğer parça basıya zorlanıyorsa, enine uzama ϵ_{en} nin işareti" - " negatifdir, çünkü $d_1 > d_0$ dr.

2.2.2.3. Poisson (*puason*) sayısı " ν "

Poisson 1781 ile 1840 seneleri arasında Paris'te yaşamış bir Fransız bilginidir. Poisson boyuna uzama ile enine büzülme arasındaki oranın sabit olduğunu deneylerle kanıtlanmıştır. Bilgine saygı olarak bu sayı "**Poisson sayısı**" olarak adlandırılır veya "**esneklik katsayısı**" denir. Eski yunan alfabesinden ν (*n*) harfi ile gösterilir.

$$\nu = \frac{\epsilon_{en}}{\epsilon}$$

İzotrop, diğer deyimi ile bütün molkllerindeki mukavemet değerleri aynı olan (rneğin: Çelikler), malzemelerin deneyler sonucu Poisson sayılarının 0,24 ile 0,333 arasında olduğu bulunmuştur. Poisson sayısı çelikler için 0,3 olarak kabul edilir.



şek. 2.5, Enine büzülme

Bu tanımın yanında "**Poisson modülü**" diye Poisson sayısının ters kesir değerine ad verilmiştir, ve şöyle gösterilir:

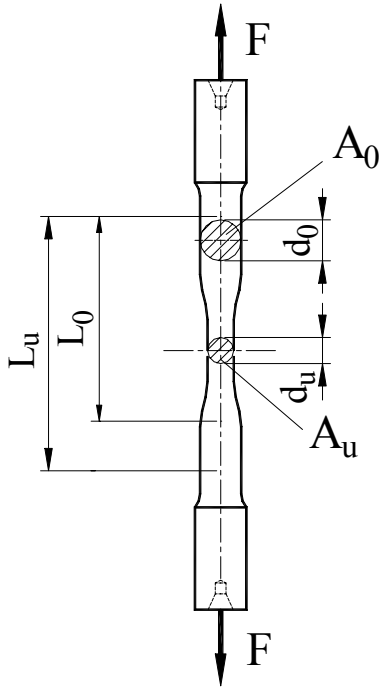
$$m = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{en}} = \frac{1}{\nu}$$

2.2.2.4. Kopma uzaması ve kopma büzülmesi,

Kopma uzaması "A"

Mukavemet hesaplarındaki karşılaştırma için gerekli olan malzeme değerleri yuvarlak veya dörtköşe kesitli deney çubukları ile deneyler sonucu elde edilir. Bu deney çubuklarında kesit büyüklüğü ile deney boyu arasında belirli bir orantı seçilir. Örneğin: $L_0 / d_0 = 5$ veya $L_0 / d_0 = 10$.

Bu orantı büyüklüğü malzemenin kopma uzaması değerinin tanımlanmasında kullanılır. Kopma uzaması "A" harfi ile gösterilir ve indaks olarakta boy ve en oranı kullanılır.



Tanımlar Şek. 2.6 deki deney çubuğunda gösterilmiştir. Deney çubuğunun koptuğu boy ile ilk boyunun farkının, ilk boyuna oranı, deney çubuğunun malzemesinin "**kopma uzaması oranı**" olarak adlandırılır ve "A" harfi ile gösterilir. Bu değer literatur ve teknik yazılarda yüzde (%) olarak verilir. Deney boyunun çubuk kesiti büyüklüğüne oranında indeks olarak verilir.

Örneğin: A_5 , eğer $L_0 / d_0 = 5$ ise
 A_{10} , eğer $L_0 / d_0 = 10$ ise
olarak gösterilir.

F. 4

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100$$

- L_0 mm Deney çubuğunun ilk boyu
- L_u mm Kopma uzaması boyu
- A_0 mm² Deney çubuğunun ilk kesit alanı
- A_u mm² Kopma anındaki kesit alanı

Şek. 2.6, deney çubuğu

Kopma büzülmesi "Z"

Deney çubuğunun ilk kesit alanı ile koptuğu kesit alanının arasındaki farkın, ilk kesit alanına oranı, deney çubuğunun malzemesinin "**kopma büzülmesi oranı**" olarak adlandırılır ve "Z" harfi ile gösterilir. Bu değer literatür ve teknik yazılarda yüzde (%) olarak verilir.

$$Z = \frac{A_0 - A_u}{A_0} \cdot 100 = \frac{d_0^2 - d_u^2}{d_0^2} \cdot 100$$

Kopma uzaması ve büzülme oranları, malzemenin esneklik zelleğini diğer deyimle ile sünekliliğini veya gevrekliğini gösterir. Bu zellik malzemenin biçimlendirilmesinde karar vermek için kullanılır. Şek. 2.6'da görüleceği gibi kopma büzülmesi kopan kesitin plastik deformasyonu için oldukça belirgin bir ölçektir.

Malzemenin esnekliği (*Snekliliği, Duktilesi*),

Gerçek kopma uzaması

$$\delta = \ln \left(\frac{L_u}{L_0} \right)$$

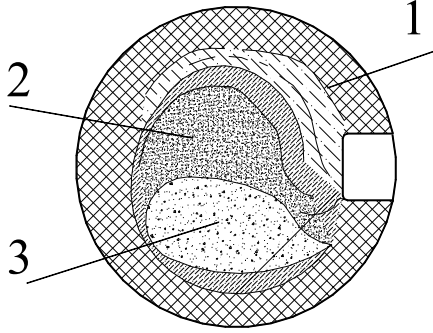
Gerçek kopma büzülmesi

$$D = \ln \left(\frac{1}{1 - Z} \right)$$

2.3. Devamlı mukavemet

2.3.1. Genel

Devamlı mukavemete aynı zamanda " **yorulma mukavemeti**" de denir. Bir sürü makina parçasının değişen zorlanmalar altında, belirli bir zamanın geçmesi ile, normal kopmaya benzemeyen bir şekilde koptuğu gözlenmiştir. Kopan makina parçalarının kopma nedeni tanımlanacak olunursa çoğunluğun "**devamlı zorlanma**" veya "**yorulma**" kopması olduğu saptanır. Böyle oluşan kopmalar, sünek malzemelerde bile hiç bir şekilde deformasyon belirtisi göstermezler.



Şek. 2.7, Yorulma kopması
1 = Mola çizgileri, 2 = Devamlı kopma yüzeyi,
3 = Zorla kopma alanı

Bu kopmalar gevrek malzemenin aşırı yüklenme ile kopması halindeki özelliğini gösterirler. Böyle kopmalar özellikle parçalardaki işlemler sonucu, parçaya yapılan konstruksiyon kертiklerinin bulunduğu yerde görülür. Örneğin: kamalar, yivler v.b. gibi. Buda bize malzeme mukavemetinin, sırf malzemenin özelliği ile değil, aynı zamanda malzemenin biçimlendirilmesi ile de bağıntılı olduğunu gösterir.

Yorulma kopma belirtileri parçanın ilk önce yüzeyinde hafif bir çatlakla başlar. Bu çatlak derinleşerek malzemenin içine doğru yayılır. Parçada kuvveti taşımayacak

kadar küçük kesit kalınca, parça bu kesitten normal statik yük altındaki zorla kopma gibi kopar. Kopmanın olduğu kesite bakacak olursak, midye kabuğu gibi kısım kısım değişik kademeli kopma alanları görürüz. Bu alanlar mola çizgileri ile belirli bir şekilde ayrılmışlardır. Buda kopmanın bir anda değil, kademeli olarak meydana geldiğinin belirtisidir. Bu şekil kopmanın en tehlikeli yanı, yapılan normal klasik mukavemet hesaplarına göre malzemenin dayanması gerekli iken kopmasıdır. Böylece dinamik zorlanmalarda mukavemet hesapları yapılırken, karşılaştırma değeri olarak malzemenin akma sınırı değilde, "**devamlı mukavemet**" diğer tanımı ile "**yorulma mukavemet**" değeri alınmalıdır.

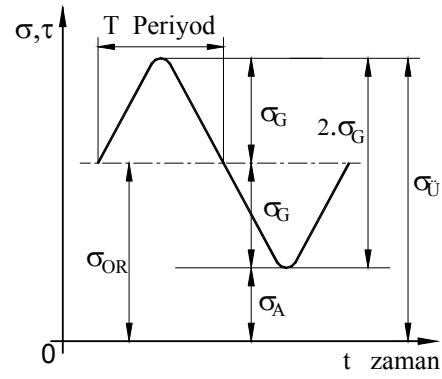
Devamlı mukavemetin tanımı:

Belirli ve sakin ortalama yükle yüklenmiş bir deney parçasını sonsuz sayıda dinamik ve tam değişken kuvvetle zorlamamıza rağmen, deney parçası kopmadan ve bozulmadan bu yüklenmeye dayanıyorsa buna malzemenin "**devamlı mukavemeti**" denir.

Malzemenin devamlı mukavemet değerinin bulunması uzun ve yorucu deneylere bağlıdır. Bir sürü bilgin bu yolda büyük çalışmalar yapmıştır. Bunların arasında en tanınmış ve bu konuda en çok katkısı olan 1819 ile 1914 yılları arası yaşamış bilgin **August Wöhler** dir (*Agust Vöğler*). Wöhler'in yapmış olduğu deneyler sonucu hazırladığı diyagramlar kendi adı ile anıldığı gibi, başkalarının yaptığı deney sonucu hazırladıkları bu çeşit diyagramlarda Wöhler diyagramı diye adlandırılır. Böylece malzemenin devamlı mukavemetini gösteren diyagrama Wöhler-Diyagramları denir. Wöhler devamlı mukavemet problemini çözmeyi şu şekilde tanımlamıştır: Verilen veya düşünülen herhangi bir ortalama gerilmeye, genlik gerilmeleri yüklenirse, malzemenin üst sınır ve alt sınır gerilme değerlerini bulmak olanaklıdır. Bu tanımları bir diyagramda gösterecek olursak Şek. 2.8 deki diyagramı tanım olarak ele almamız gerekir. Burada:

- σ_U üst sınır gerilmesi veya üst sınır mukavemeti
- σ_A alt sınır gerilmesi veya alt sınır mukavemeti
- σ_{OR} ortalama gerilme veya ortalama mukavemet
- σ_G genlik gerilmesi veya genlik mukavemeti
- $2\sigma_G$ genlik gerilmeler toplamı
- T periyod, tam devre

değerlerini gösterirler.



Şek. 2.8, Gerilmeler tanımı diyagramı

Wöhler diyagramını yapmadan önce, kuvvet yüklenme hallerinden doğan gerilme durumlarını görelim. Gerilmeler kuvvete göre adlandırıldıklarından buradada **Prof. Bach**'in üç grubu görülür.

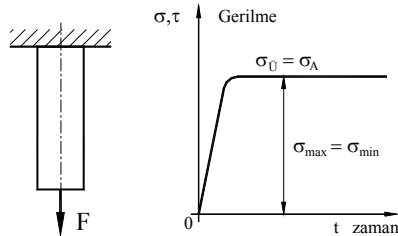
2.3.2. Gerilme durumları

2.3.2.1. Statik gerilme veya sakin gerilme I. Durum

Burada kuvvetin yönü ve büyüklüğü işletmenin çalışma zamanı boyunca sabit kalır (Şek. 2.9). Kuvvetin iki özelliğide değişmeden kaldığından bu gerilmeye değişmeyen

gerilme, yani "**statik gerilme**" veya "**sakin gerilme**" denir.

Bu durum bütün zorlanma çeşitlerinde etki gösterebilir.



Şek. 2.9, Sakin yüklenme için Gerilme-zaman diyagramı

- σ_U üst sınır gerilmesi
- σ_A alt sınır gerilmesi
- σ_{OR} ortalama gerilme
- σ_G genlik gerilmesi

Burada üst sınır, alt sınır ve ortalama gerilmeler hepsi birbirine eşittir.

$$\sigma_{\text{Ü}} = \sigma_{\text{A}} = \sigma_{\text{M}}$$

Genlik gerilmesi sıfırdır.

$$\sigma_{\text{G}} = 0$$

Sınır gerilmeler oranı κ ile gösterilirse:

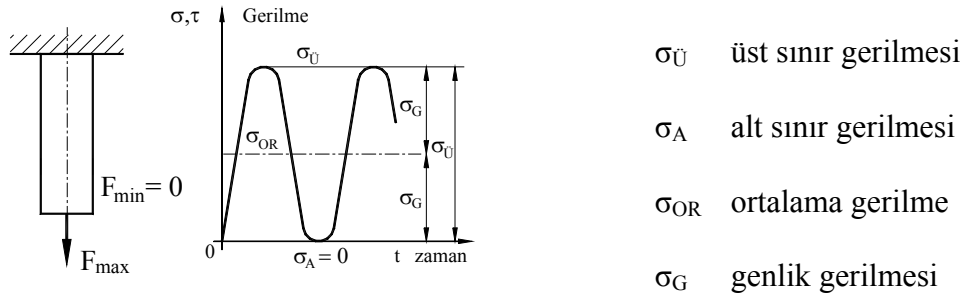
$$\underline{\underline{\sigma_{\text{A}} / \sigma_{\text{Ü}} = + 1}}$$

2.3.2.2. Dinamik dalgalı gerilme, II. Durum

Bu durumda kuvvetin yönü işletmenin çalışma zamanı boyunca sabit kalır, fakat kuvvetin büyüklüğü değişir (Şek. 2.10).

Kuvvetin iki özelliğinden biri değişkendir ve bundan dolayı değişen, yani dinamik bir durum vardır. Bu gerilme durumuna "**dinamik dalgalı gerilme**" veya kısaca "**dalgalı gerilme**" denir. Gerilmelerden biri az, fazla veya sıfır olur (bu kuvvetin yönüne bağlıdır). Fakat karşıt işareti alamaz.

Burada üst gerilme $\sigma_{\text{Ü}}$ ile alt gerilme σ_{A} birbirlerine eşit değildir, fakat aynı yöndedir. Eğer kuvvet yönünü artı olarak kabul edersek, durum şu şekilde belirlenir:



Şek. 2.10, Dinamik dalgalı yüklenme için gerilme-zaman diyagramı

Gerilmenin biri sıfır olduğunda bu özel haldir ve bu hale "tam dalgalı dinamik gerilme" veya kısaca "tam dalgalı gerilme" denir.

$$\sigma_{\text{A}} = 0, \sigma_{\text{Ü}} > 0$$

tam dalgalı çekme gerilmesidir.

$\sigma_{\text{Ü}} > \sigma_{\text{A}} > 0$	genel, dalgalı çekme gerilmesi.
$\sigma_{\text{Ü}} = 0; \sigma_{\text{A}} < 0$	tam dalgalı basma gerilmesi.
$\sigma_{\text{Ü}} < \sigma_{\text{A}} < 0$	genel, dalgalı basma gerilmesi.

Ortalama gerilme (σ_{OR}) üst gerilme ile alt gerilmenin tam ortasında olan gerilmedir.

Bu bağlantıyı formülle gösterirsek:

$$\sigma_{OR} = (\sigma_{\ddot{U}} + \sigma_A) / 2$$

Gerilmeler aynı yönde olduklarından işaretleride aynıdır.

Sınır gerilmeler oranını hesaplayacak olursak:

$$\kappa = \sigma_A / \sigma_{\ddot{U}}$$

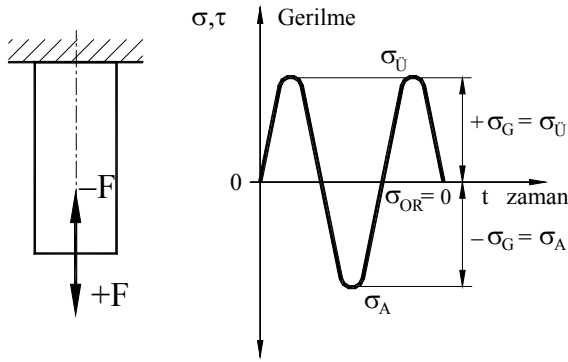
burada σ_A ve $\sigma_{\ddot{U}}$ hep aynı işareti taşıyacaklarından aralarındaki orana göre sonuç olarak $+1 > \kappa \geq 0$ bağlantısı bulunur.

$\kappa = 0$ özel durumdur. Bu zel durumda σ_A sıfırdır. Bu gerilmeye " **tam dalgalı gerilme** " denir.

2.3.2.3. Dinamik değişken gerilme, III. Durum

Bu durumda kuvvetin yönü ve kuvvetin büyüklüğü işletmenin çalışma zamanı boyunca periyodik olarak değişir (şek. 2.11).

Bu durumda kuvvetin iki özelliğide değişkendir ve bundan dolayı değişen, yani dinamik bir durum vardır. Bu gerilme durumuna "**dinamik değişken gerilme**" veya kısaca "**değişken gerilme**" denir. Gerilmelerden biri diğerine mutlak değer olarak az, fazla veya eşit olur. Kuvvetler daima karşıt işaretlidirler. Burada genelde üst gerilme $\sigma_{\ddot{U}}$ ile alt gerilme σ_A birbirlerine eşit değildir.



$\sigma_{\ddot{U}}$ st sınır gerilmesi

σ_A alt sınır gerilmesi

σ_{OR} ortalama gerilme

σ_G genlik gerilmesi

$$\sigma_{OR} = 0$$

$$\sigma_{\ddot{U}} = -\sigma_A = \sigma_G$$

$$\kappa = -\sigma_A / \sigma_{\ddot{U}} = -1$$

şek. 2.11, Dinamik değişken gerilme-zaman diyagramı

Gerilmelerin mutlak değer olarak birbirine eşit olması özel durumdur ve bu durum-daki gerilmeye "**dinamik tam değişken gerilme**", kısaca "**tam değişken gerilme**" denir.

Ortalama gerilme σ_{OR} st gerilme ile alt gerilmenin tam ortasında olan bir gerilmedir.

Burada $\sigma_{\ddot{U}} > \sigma_{OR} > \sigma_A$ bağlantısı geçerlidir.

$$\sigma_{OR} = (\sigma_{\ddot{U}} + \sigma_A) / 2$$

Burada zel durum $\sigma_{\ddot{U}} = -\sigma_A$ uygulanırsa, $\sigma_{OR} = 0$ bulunur.

Eğer $\sigma_{OR} > 0$ ve $\sigma_U > 0$, $\sigma_A < 0$ ise bu değişken gerilme, burada değişen çekme gerilmesidir. Fakat $\sigma_{OR} < 0$ ve $\sigma_U > 0$, $\sigma_A < 0$ ise bu değişken gerilme, burada değişen basma gerilmesidir.

Eğer $|\sigma_U| > |\sigma_A|$ ise ortalama gerilme σ_{OR} üst gerilme σ_U ' nün işaretini alır. Bunun tersi olarak eğer $|\sigma_U| < |\sigma_A|$ ise ortalama gerilme σ_{OR} alt gerilme σ_A ' nın işaretini alır.

Sınır gerilmeler oranını hesaplayacak olursak.

$$\kappa = \sigma_A / \sigma_U$$

burada σ_A ve σ_U hep değişik işaret taşıdıklarından sonuç olarak $-1 \leq \kappa < 0$ bulunur.

Eğer $\sigma_A = -\sigma_U$ ise özel durum olup $\kappa = -1$ olur. Buradaki gerilmeye "**tam değişken gerilme**" denir.

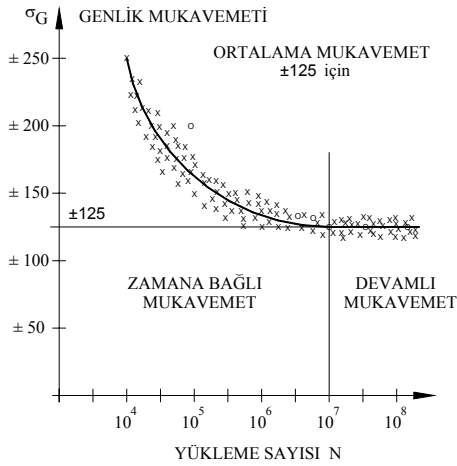
Bu durumlarla yapılan deneyler sonucu malzemenin mukavemet değerleri bulunduğundan, malzemenin mukavemet değerleride tıpkı gerilmeler gibi adlandırılırlar.

Örneğin: Tam dalgalı gerilme \equiv tam dalgalı mukavemet değeri

2.3.3. Wöhler diyagramı

Wöhler deneyi ile Wöhler diyagramı yapabilmek için, Şek. 2.6 de görüldüğü gibi bir malzemeden yapılmış deney çubukları alınır. Çubuğun yüzeyinin pürüzlüğü $R_t = 1 \mu\text{m}$ duyarlığında taşlanmış ve cilalanmıştır.

Şek. 2.12 de görüldüğü gibi deneyler sonucu bir diyagram yapılır. Bu diyagramda Y-ekseni gerilme titreşimini, X ekseninde yüklenme sayısını gösterir.



x deney çubuğu kırılmış
o deney çubuğu kırılmamış

Şek. 2.12, Wöhler-diyagramı

Deney çubuğu değişmez bir ortalama gerilme σ_M ile yüklendikten sonra, değişken yüklenme ile belirli bir genlik gerilmesiyle yüklenir. Bu arada deney çubuğunu kopartan **yüklenme sayısı** N bir sayıcı ile saptanır. Deneyden deneye genlik gerilme değeri küçültülür, böylece çubuğu kopartan yüklenme sayısı büyür. Bu işleme 10^7 yüklenme sayısına kadar devam edilir. Böylece elde edilen malzemenin mukavemet değerine "**devamlı mukavemet değeri**" denilir ve σ_D veya τ_D ile gösterilir. Burada elde edilen değerlerden gerilmeler sınırı Y eksenine, yüklemeler sayısı X eksenine konulursa Wöhler diyagramı elde edilir.

Şek. 2.12 deki Wöhler diyagramından malzemenin devamlı mukavemetinin $\sigma_D = 150 \pm 125 \text{ N/mm}^2$ olduğunu görülür. Şöyle ki: Deneyi yapılan malzeme ortalama gerilme $\sigma_{OR} = 150 \text{ N/mm}^2$ ve genlik gerilmesi $\sigma_G = 125 \text{ N/mm}^2$ altında malzeme, 10^7 sayıda yüklemeyi kopmadan ve deforme olmadan taşıyabilecektir. Malzemenin **üst sınır mukavemeti** $\sigma_U = \sigma_{OR} + \sigma_G = 150 + 125 = 275 \text{ N/mm}^2$ ve malzemenin **alt sınır mukavemeti** $\sigma_A = \sigma_{OR} - \sigma_G = 150 - 125 = 25 \text{ N/mm}^2$ dir.

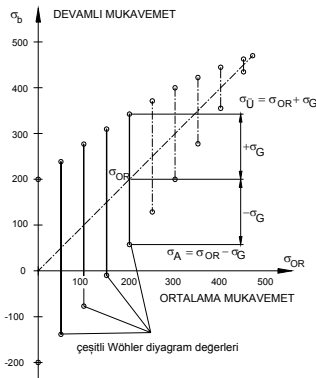
Eğer yükleme sayısını logaritmik olarak X eksenine yerleştirirsek, Wöhler eğrisinin bir doğruya yaklaşık karakter taşıdığını görürüz. Deneyler sonucu malzemenin belirli bir genlik gerilmesi altında sonsuz sayıda yüklemeye kopmadan ve deforme olmadan dayandığı görülmüştür. Burada Wöhler eğrisi X eksenine paralel bir doğru olur. Bu değer deneyde çıkış değeri olarak alınan ortalama gerilme için malzemenin devamlı mukavemet değeridir. Wöhler eğrisi diğer değimiyle Wöhler diyagramı, belirli bir yükleme durumunda malzemenin maksimum mukavemet değerini, hangi yükleme sayısı altında kopmadan ve deforme olmadan taşıyabileceğini gösterir.

Bu yükleme sayısının sınır değerleri, yapılan deneyler sonucu belirli grup malzemeler için belirlenmiştir. Şöyle ki:

Yumuşak çelikler için	$N_S = 3.10^6$	yükleme sayısı
Alışımli çelikler için	$N_S = 1.10^7$	yükleme sayısı
Cu ve Bakırlı alışımlar için	$N_S = 5.10^7$	yükleme sayısı
Hafif malzemeler için	$N_S = (3-10).10^7$	yükleme sayısı

Eğer bir parça kullanıldığı yerde 1000 den az sayıda yüklenecekse, bu parça statik yani sakin kuvvet etkisinde kabul edilir. Bu durumda boyutlandırma devamlı mukavemet değerleri ile yapılmaz. Çünkü devamlı mukavemet değeri ile gereğinden daha emniyetli üretileceğinden, yazık olur.

2.3.4. SMITH'e göre devamlı mukavemet diyagramı

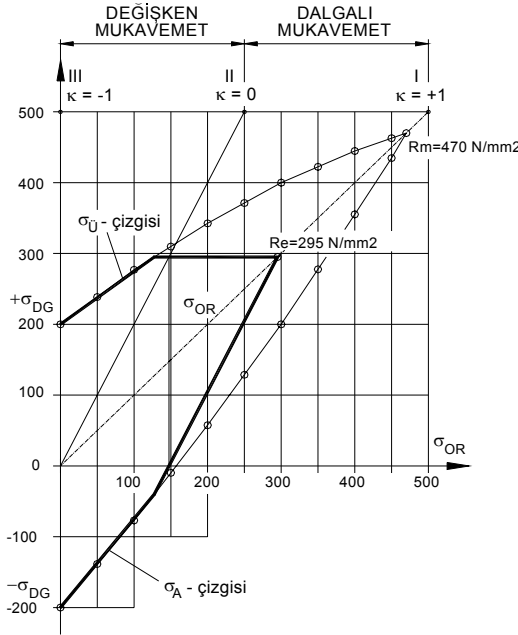


Şek. 2.13, Wöhler-diyagramlarının Smith'e göre toparlanması

Wöhler diyagramının bütün yükleme ve zorlama durumları için ayrı ayrı yapılması ve bu diyagramları her malzeme için ayrıca yapıp saklamak, arşivlemek oldukça çok zaman, yer ve para ister. Bütün çeşitli Wöhler diyagramlarının sonuçları bir diyagramda toplamak uzun zaman bir sürü kişinin çalışma hedefi olmuştur. Bir kaç sistem devamlı mukavemet değerleri için bulunmuştur. Bunlardan **Smith** in (*simit*) yaptığı diyagram en çok kullanılanıdır. Smith devamlı mukavemet diyagramı için bir koordinat sistemi ve bu sistemde sıfır noktasından geçen 45° lik bir doğru almıştır.

Sistemin X eksenini ve 45° lik doğru ortalama mukavemet değeri için kullanılır. Wöhler diyagramının yapıldığı ortalama mukavemet değeri 45° lik doğruya işaretlenir. Örneğin: daha görüldüğü gibi $\sigma_{OR} = 50 \text{ N/mm}^2$ ile yapılmış Wöhler diyagramı alınır. Bu diyagramdaki devamlı mukavemet değerini veren genlik mukavemet değerleri Y eksenine paralel bir eksene ölçekli olarak taşınır. Daha sonra $\sigma_{OR} = 100 \text{ N/mm}^2$ ile yapılmış Wöhler diyagramı alınır. Bu diyagramdaki devamlı mukavemet değerini veren genlik mukavemet değerleri de Y eksenine paralel bir doğruya ölçekli olarak taşınır. Bu şekilde çeşitli Wöhler diyagramları ele alınarak, değerler tanımlandığı gibi ortalama mukavemet ve genlik mukavemet değerleri ile diyagrama taşınırlar.

Genlik mukavemetlerinin değerleri birbirileri ile birleştirilerek σ_U ve σ_A mukavemet sınır çizgileri oluşturulur. Böylece çeşitli Wöhler diyagramı değerleri bir diyagrama taşınmış ve toplanmışlardır. Şek. 2.13 da sembolik olarak Smith diyagramının nasıl kurulduğu gösterilmiştir. Şek. 2.14 de Smith diyagramı son durumu ile oluşturulmuştur. Wöhler diyagramları ile taşınan değerler devamlı mukavemette tamamen kullanılmazlar. Maksimum olarak akma mukavemet değeri taşınır ve bu mekik kesiti şeklinde olan devamlı mukavemet alanını keser. Bu kesit noktası ile Y eksenindeki, yani tam dalgalı mukavemet değeri, bir doğru ile birleştirilir. Böylece pratikte geçerli olan üst mukavemet sınır çizgisi doğar. Bu kesit noktasının Y eksenine paralel doğru üzerindeki σ_{OR} çizgisine göre simetriği alt mukavemet sınır çizgisinin katlanma noktasını verir. Sonra mukavemet sınır çizgisinde tamamlanır.



Şek. 2.14, Smith'e göre devamlı mukavemet diyagramı

Y eksenini sınır mukavemet oranı κ nın -1 olduğu ve 45° -lik doğru ile akma mukavemetinin kesiştiği noktada sınır mukavemet oranı κ nın $+1$ olduğu yerlerdir. Bu ara ikiye bölündüğünde orta nokta da sınır mukavemet oranı κ nın 0 olduğu yeri gösterir. Ölçekli olarak yapılan çizim de κ nın bulunan değerleri koordinat ekseninin sıfır noktası ile birleştirilirse **benzerlik çizgileri** ortaya çıkar.

Sınır gerilmeler oranı $\kappa = \sigma_A / \sigma_U$

Değişken bölge $-1 \leq \kappa < 0$

Dalgalı bölge $0 \leq \kappa < +1$

Tam değişken mukavemet	σ_{DG} (veya τ_{DG}) $\implies \kappa = -1$	
Tam dalgalı mukavemet	σ_{DL} (veya τ_{DL}) $\implies \kappa = 0$	
Sakin veya statik mukavemet	σ_{AK} (veya τ_{AK}) $\implies \kappa = +1$	Akma sınırı
Devamlı mukavemet	$\sigma_D = \sigma_{OR} \pm \sigma_G$ veya $\tau_D = \tau_{OR} \pm \tau_G$	

Örnek: Dalgalı mukavemet bölgesinden.

Genlik gerilmesi $\sigma_G = \pm 130 \text{ N/mm}^2$ ve ortalama gerilme $\sigma_{OR} = +175 \text{ N/mm}^2$ ise:

Devamlı mukavemet $\sigma_D = +175 \pm 130 \text{ N/mm}^2$

Üst mukavemet sınırı $\sigma_U = 305 \text{ N/mm}^2$

Alt mukavemet sınırı $\sigma_A = 45 \text{ N/mm}^2$

2.3.5. Devamlı mukavemet diyagramının yaklaşık olarak yapılması

Çeşitli literatürde bir sürü malzeme için devamlı mukavemet diyagramı bulmak olanaklıdır. Bu kitabın ekindeki tabelalarda çeşitli malzeme için devamlı mukavemet diyagramları verilmiştir. Bütün bunlara rağmen her istenilen malzemenin devamlı mukavemet diyagramını bulmak olanaksızdır. Bunun için bu diyagramları yaklaşık olarak yapmak hiç yoktan daha iyidir. Genelde bundan 100 sene kadar önce **Prof. Bach**'ın koyduğu orantı hemen hemen geçerliliğini korumaktadır. Şöyle ki, eğer bir malzemenin statik mukavemet değeri yüzde yüz olarak kabul edilirse:

Statik mukavemet değeri	% 100	σ_{KO}
Tam dalgalı mukavemet değeri	% 66,6	$\sigma_{DL} = 0,666 \sigma_{KO}$
Tam değişken mukavemet değeri	% 33,3	$\sigma_{DG} = 0,333 \sigma_{KO}$

büyükliğünde alınır.

Burada statik mukavemet değeri olarak σ_{KO} ve σ_{AK} veya $\sigma_{AK0,2}$ büyüklükleri, tam değişken mukavemet değeri içinde σ_{DG} büyüklüğü akla gelir. Eğer bu değerler biliniyorsa diyagramın doğruluk derecesi daha yüksektir. Fakat normal olarak bir malzeme hakkında ya malzemeyi satandan veya standartlardan (DIN, TSE v.b.) statik mukavemet değerleri tam olarak alınır.

Burada şunu tekrar açık olarak belirtelim:

Eğer yapılan yanlış hesap sonucu, tehlikeli ve sorumluluğu büyük hasara neden olacaksa, hesap mukayese değeri olan malzemenin mukavemet değeri kesinlikle özel deneyler sonucu kesin ve bilinçli belirlenmelidir. Burada gösterilen yol ile elde edilen değerler üzerinde büyük tartışmalar yapılabilir. Bundan dolayı, burada anlatılan yaklaşık devamlı mukavemet değeri, teknik garanti olarak kabul edilmemelidir.

En çok kullanılan malzemeler için, kaba olarak bugünkü bilgilere göre, malzemenin statik değerleri ile dinamik değerleri arasındaki bağıntı

Tabela 2.1 den alınır.

Tabela 2.1, Malzeme faktörleri

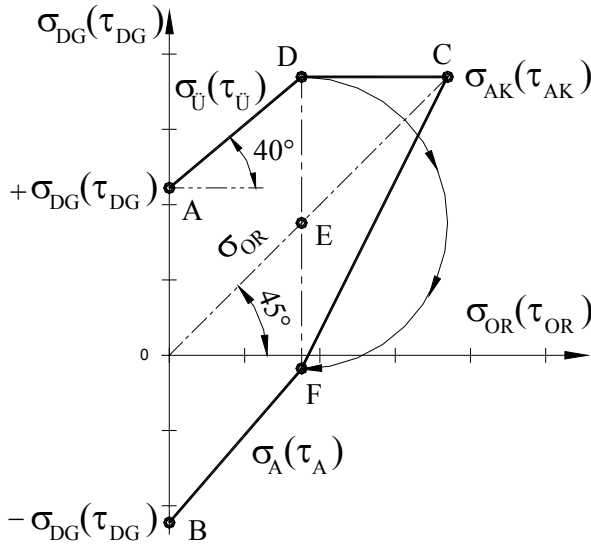
Malzeme	K ₁			K ₂		
	$\sigma_{DG}/R_m (\tau_{DG}/R_m)$			$\sigma_{AK}/R_{p0,2} (\tau_{AK}/R_{p0,2})$		
	Çek/Bas	Eğilme	Torsiyon	Çek/Bas	Eğilme	Torsiyon
İmalat çeliği	0,44	0,50	0,30	1,0	1,40	0,58
İslah çeliği	0,40	0,48			1,25	0,65
Semantasyon çeliği	0,45	0,50			1,25	0,58
Çelik döküm ÇD	0,35	0,40	0,23	1,0	1,30	0,58
Demir döküm GGG	0,30	0,50	0,28	1,0	1,30	0,80
Hafif metal	0,30	0,40	0,25	•	•	•

2.3.5.1. DM-Diyagramının yaklaşık kaba konstruksiyonu

Devamlı mukavemet diyagramının yaklaşık konstruksiyonunu yapabilmek için aşağıda verilen çizim yolunu takip etmek yeterlidir.

şöyle ki:

1. Devamlı mukavemet değeri σ_D ve ortalama mukavemet değeri σ_M için aynı ölçekte olmak üzere bir koordinat sistemi çizilir. Y-ekseni devamlı mukavemet σ_D ve X-ekseni ortalama mukavemet σ_M için kabul edilir. Sıfır noktasından 45° lik bir doğru çizilir ve bu doğru ortalama mukavemet doğrusu veya çizgisi olarak adlandırılır.



şek. 2.15, Devamlı mukavemet diyagramı konstruksiyonu

2. $+\sigma_{DG}$ değeri A noktası olarak Y-eksenine taşınır. Bunun simetriğine $-\sigma_{DG}$ değeri B noktası olarak taşınır.

3. A noktasından X-ekseni ile 40° lik açı yapan üst mukavemet sınır çizgisi çizilir. Bu 40° lik açı $\pm 5^\circ$ lik bir tolerans sapması yapabilir. Bu açı yumuşak çeliklerde (sünek malzemede) 35° ye doğru, sert çeliklerde (gevrek malzeme) 45° ye doğru düzeltilir.

4. X-eksenine paralel olarak σ_{AK} veya $\sigma_{AK0,2}$ (σ_{EGAK} veya τ_{TAK}) değerindeki doğru çizilir. Bu doğrunun 40° lik doğru ile kesişme noktası D ve ortalama mukavemet doğrusu ile kesişme noktası C noktası olarak adlandırılır.

5. D noktasından Y-eksenine çizilen paralelin 45° lik ortalama mukavemet doğrusu ile kesişme noktası E noktası olarak adlandırılır.
6. Pergelimizi E noktasına koyup ED yarı çapı kadar açıp bir yay çizersek D noktasından geçen ve Y-eksenine paralel olan doğru üzerinde F noktasını buluruz. Bu nokta D noktasının simetriğidir.
7. Bu bulunan F noktası bir taraftan B noktası, diğer taraftan C noktası ile birleştirilerek devamlı mukavemet alt sınır değeri çizgisi bulunur.

Aynı şekilde eğilme ve torsiyon içinde devamlı mukavemet diyagramları konstruksiyonu yapılır.

2.3.6. Yeni bilinen bağıntılar ile Devamlı mukavemet değerlerinin bulunması

F. 2.5

$$\sigma_{DG}(\tau_{DG}) \approx K_1 \cdot R_m$$

F. 2.6

$$\sigma_{AK}(\tau_{AK}) \approx K_2 \cdot R_e(R_{p0,2})$$

F. 2.7

$$\sigma_O(\tau_O) = \sigma_D(\tau_D) = \frac{\sigma_{DG}(\tau_{DG})}{1 - \frac{(1+\kappa) \cdot (1-K_1)}{2-K_1}} \leq \sigma_{AK}(\tau_{AK})$$

Örnek: Eğer imalat çeliği St 37-2, M-Nr.:1.0037, için $R_m = 360 \text{ N/mm}^2$ biliniyorsa,

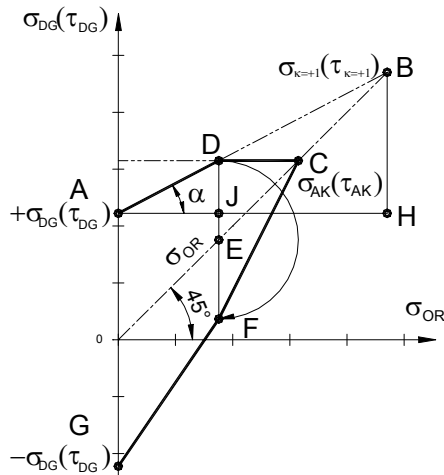
Devamlı çekme mukavemet değerleri şu şekilde hesaplanır:

imalat çeliği için Tabela 2.1 den $K_1 = 0,44$ ve $K_2 = 1,00$ bulunur.

Malzemenin değişken mukavemeti $\sigma_{DG} = K_1 \cdot R_m = 0,44 \cdot 360 = 158,4$ $\sigma_{DG} = 160 \text{ N/mm}^2$

Malzemenin akma mukavemeti $\sigma_{AK} = K_2 \cdot R_e = 1,0 \cdot 235 = 235$ $\sigma_{AK} = 235 \text{ N/mm}^2$

2.3.6.1. DM-Diyagramının konstruksiyonu



Şek. 2.16, DM-diyagramı konstruksiyonu

1. Koordinat sistemi σ_D ve σ_{OR} için aynı ölçekte çizilir.

2. $+\sigma_{DG}$ Y-ekseninde A noktası olarak ve $-\sigma_{DG}$ X-eksenine göre simetriği G noktası olarak işaretlenir.

$$X_A = 0 \quad Y_A = +\sigma_{DG} \quad ; \quad X_G = 0 \quad Y_G = -\sigma_{DG}$$

3. B noktası Devamlı mukavemet formülü-lü F. 2.6 ile $\kappa = +1$ için hesaplanıp işa-retlenir.

$$X_B = Y_B = R_m \cdot (2 - K_1)$$

4. C noktası σ_{AK} - veya τ_{AK} ile belirlenir. Buradan X eksenine $R_{p0,2}$ - (σ_{AK} - veya τ_{AK} -) paralel çizilir ve σ_{OR} -doğrusunun kesit noktası C olarak belirlenir.

$$X_C = Y_C = \sigma_{AK} = K_2 \cdot R_e$$

5. ($\sigma_{AK} = +1$ ve σ_F) doğrularının kesiştiği D noktasından X eksenine çizilen dikin σ_{OR} -doğrusunu kestiği nokta E noktasıdır.

$$X_D = \frac{(\sigma_{AK} - \sigma_{DG}) \cdot (2 - K_1)}{2 \cdot (1 - K_1)} \quad Y_D = \sigma_{AK} = K_2 \cdot R_e$$

6. D noktasının E ye göre simetrisi F noktasını verir.

$$X_F = \frac{(\sigma_{AK} - \sigma_{DG}) \cdot (2 - K_1)}{2 \cdot (1 - K_1)} \quad Y_F = \sigma_{AK} - 2 \cdot (\sigma_{AK} - X_F)$$

7. F noktasından G ye ve C ye çizilen doğrular σ_A verir.

Aynı şekilde eğilme ve torsiyon içinde devamlı mukavemet diyagramları konstruksiyonu yapılır.

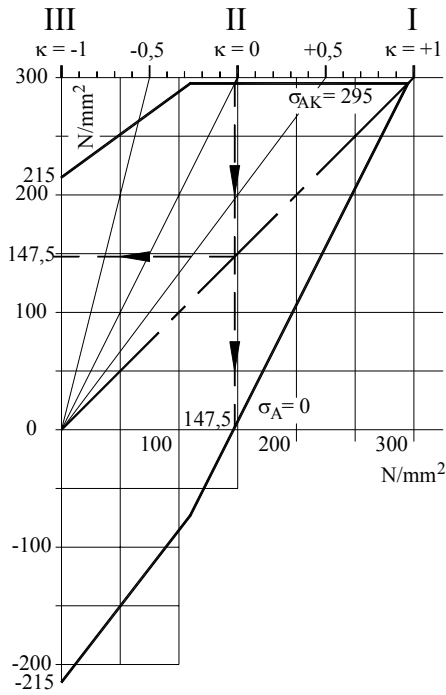
2.3.7. Devamlı mukavemet değeri okuma örnekleri

2.3.7.1. Örnek 1

St 50-2 çeliğinde tam dalgalı yüklenmede istenilen şu değerleri bulunuz:

- 1.1. Tam dalgalı çekme mukavemet değeri,
- 1.2. Genlik mukavemet değeri,
- 1.3. Devamlı çekme mukavemet değeri.

Çözüm: St 50-2 için yapılmış olan devamlı çekme mukavemet diyagramı alınır. Böyle bir diyagram yoksa bunun kontruksiyonu yapılmalıdır.



Şek. 2.17, St 50 için devamlı çekme mukavemet diyagramı

Burada aranılan tam dalgalı mukavemet değeri olduğuna göre $\sigma_A = 0$ ve $\sigma_U > 0$ dır. Sınır değerler oranını bulacak olursak:

$$\kappa = \sigma_A / \sigma_U = 0 / \sigma_U = 0 \quad \underline{\underline{\kappa = 0}}$$

Çalışmalarımıza başlamadan önce bir anlaşma yapalım. Burada muhakkakki altın ile değil demir ile çalıştığımızı bildiğimize göre kuyumculuk yapmıyoruz demektir.

Bunun içinde:

mukavemet değerlerinin son sayısını yani birler hanesini ya sıfıra yada 5 e yuvarlayalım.

1.1. Tam dalgalı çekme mukavemet değeri

Diyagramda $\kappa = 0$ benzerlik doğrusu bulunur. Bu doğrunun mukavemet üst sınır çizgisi ile kesişme notasının Y eksenindeki değeri, aranılan tam dalgalı çekme mukavemeti değeridir.

$$\underline{\underline{\sigma_{CDL} = \sigma_{AK} = 295 \text{ N/mm}^2}}$$

1.2. Genlik mukavemet değeri

Burada genlik mukavemet değeri ile ortalama mukavemet değeri aynıdır.

Çünkü: $\sigma_A = 0$ dır. Ortalama mukavemet değerini okuyacak olursak:

$\sigma_{OR} = 147,5 \text{ N/mm}^2$ okunur. Buda $\sigma_G = 145 \text{ N/mm}^2$ dir.

1.3. Devamlı çekme mukavemet değeri

Devamlı çekme mukavemeti: $\sigma_D = \sigma_{OR} \pm \sigma_G = 145 \pm 145 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{CD} = 290 \text{ N/mm}^2$

Üst mukavemet sınırı: $\sigma_U = \sigma_{OR} + \sigma_G = 145 + 145 = 290$ $\sigma_U = 290 \text{ N/mm}^2$

Alt mukavemet sınırı: $\sigma_A = \sigma_{OR} - \sigma_G = 145 - 145 = 0$ $\sigma_A = 0 \text{ N/mm}^2$

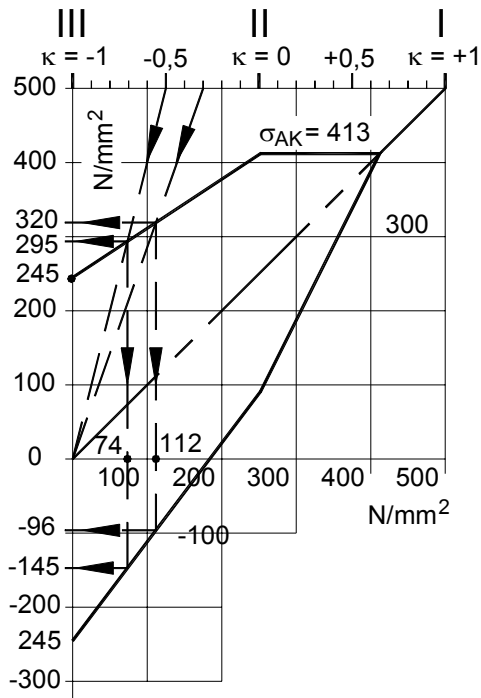
Veya analitik olarak F. 2.5 - F. 2.7 ile ve Tabela 2.1 deki değerlerle hesaplanır.

2.3.7.2. Örnek 2

St 50-2 çeliğinde aşağıda verilen isteklere göre değişken mukavemet değerleri ne kadardır?

- 2.1. $\sigma_{\bar{U}} = -\sigma_A$ ise,
- 2.2. $\sigma_{\bar{U}} = -2\sigma_A$ ise,
- 2.3. $-\sigma_A = +0,3 \sigma_{\bar{U}}$ ise.

Çözüm: St 50-2 için yapılmış olan devamlı eğilme mukavemet diyagramı alınır. Böyle bir diyagram yoksa bunun yaklaşık olarak konstruksiyonu yapılmalıdır.



Şek. 2.18, St 50 için devamlı eğilme mukavemet diyagramı

mukavemet üst sınır çizgisi ile kesiştiği noktanın devamlı mukavemet değeri okunur.
 $\sigma_{\bar{U}} = 295 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_A = -145 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_{OR} = 75 \text{ N/mm}^2$ $\sigma_G = \pm 220 \text{ N/mm}^2$

$$\underline{\underline{\sigma_{EGD} = 295 \text{ N/mm}^2}}$$

2.3. mukavemet değeri $-\sigma_A = +0,3 \sigma_{\bar{U}}$

Sınır değerler oranını: $\kappa = \sigma_A / \sigma_{\bar{U}}$, $-\sigma_A = +0,3\sigma_{\bar{U}}$ bağıntısını yerleştirirsek:

$$\kappa = -0,3 \sigma_{\bar{U}} / \sigma_{\bar{U}} = -0,3.$$

Benzerlik çizgisi $\kappa = -0,3$ benzerlik çizgisi konstruksiyonu yapılır ve mukavemet üst sınır çizgisi ile kesiştiği noktanın devamlı mukavemet değeri okunur.

$$\sigma_{\bar{U}} = 320 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_A = -96 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{OR} = 110 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_G = \pm 210 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\underline{\sigma_{EGD} = 320 \text{ N/mm}^2}}$$

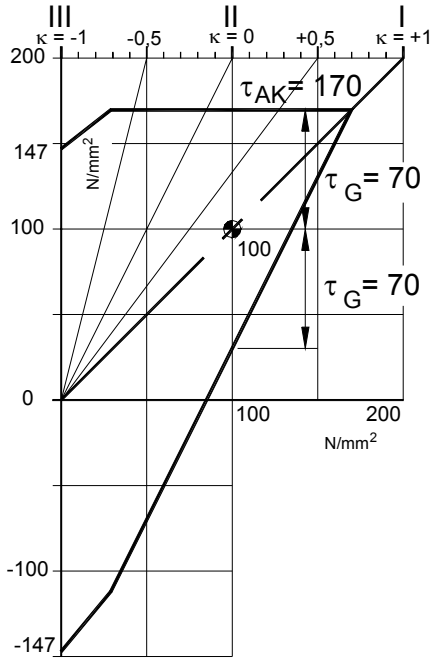
Veya analitik olarak F. 2.5 - F. 2.7 ile ve Tabela 2.1 deki değerlerle hesaplanır.

2.3.7.3. Örnek 3

St 50-2 çeliğinde eğer zorlanma ortalama torsiyon mukavemeti $\tau_{OR} = 100 \text{ N/mm}^2$ nin etrafında oynuyorsa:

- 3.1. Torsiyon genlik mukavemeti,
- 3.2. Devamlı torsiyon mukavemeti,
- 3.3. Üst ve alt sınır mukavemet değerleri ne kadardır ?

Çözüm: St 50 için yapılmış olan devamlı torsiyon mukavemet diyagramı alınır. Böyle bir diyagram yoksa bunun yaklaşık olarak kontruksiyonu yapılmalıdır.



Şek. 2.19, St 50 için devamlı torsiyon mukavemet diyagramı

3.1. Torsiyon genlik mukavemeti

45° lik ortalama mukavemet doğrusunda verilen $\tau_M = 100 \text{ N/mm}^2$ değeri işaretlenir. Bu noktadan Y-eksenine bir paralel çizilir. Bu paralelin mukavemet üst sınır ve alt sınır çizgilerini kestiği noktaların değerleri okunup, bu değerler 100 den çıkarılır. Böylece:

$$\tau_G = \pm 70 \text{ N/mm}^2$$

3.2. Devamlı torsiyon mukavemeti

Bir önce okunan değerlerin büyüğü devamlı mukavemet değeridir. Veya:

$\tau_D = \tau_{OR} \pm \tau_G$ olarak hesaplanır.

$$\tau_{OR} = 100 \text{ N/mm}^2, \quad \tau_G = \pm 70 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{TD} = 100 \pm 70 \text{ N/mm}^2$$

Devamlı torsiyon mukavemet değeri

$$\tau_{TD} = 170 \text{ N/mm}^2$$

3.3. Üst ve alt sınır mukavemet değerleri

Devamlı torsiyon mukavemet değeri $\tau_{TD} = 100 \pm 70 \text{ N/mm}^2$ olduğuna göre

Torsiyon üst sınır mukavemeti

$$\tau_{\bar{u}} = 170 \text{ N/mm}^2$$

Torsiyon alt sınır mukavemeti

$$\tau_{\bar{a}} = 30 \text{ N/mm}^2$$

Veya analitik olarak F. 2.5 - F. 2.7 ile ve Tabela 2.1 deki değerlerle hesaplanır.

2.4. Şekillenme mukavemeti

2.4.1. Genel

Malzemenin devamlı mukavemet değeri, yüzeyi cilalanmış ve 10 mm çapında deney çubuklarıyla bulunmuş değerlerdir. Pratikte kullanılan parçalar hiç bir zaman bu deney çubukları gibi değildir. Örneğin: kullanılan parçaların yüzeyleri hep cilalanmış değildir. Çeşitli yüzey pürüzlüğü kalitesi vardır. Üretilen parçalar hep 10 mm çapında değillerdir. Parçaların büyüklüğü sabit kesit göstermeyip kimi yerde daralır, kimi yerde genişlerler. Demek ki deney çubukları ile elde edilen devamlı mukavemet değerleri konstruksiyonu yapılan bir parçanın hesaplarında mukayese değeri olarak kullanılamaz. Bu değerin bazı faktörlerle pratikte kullanılacak büyüklüğe getirilmesi gereklidir. Böylece malzemenin şekillenmiş durumundaki mukavemet değeri doğar. Bu mukavemet değerine malzemenin "**şekillenme mukavemeti**" diyelim. Bunu mukavemet değerleri için genelde σ_{SK} veya τ_{SK} sembolleri ile gösterelim. Böylece:

σ_{SK}, τ_{SK}	N/mm ²	Malzemenin şekline göre mukavemeti
σ_D, τ_D	N/mm ²	Malzemenin devamlı mukavemeti, zorlama biçimi ve yükleme durumuna göre
b_1	1	yüzey pürüzlüğü etkisi, yüzey pürüzlüğü katsayısı
b_2	1	büyükük etkisi, büyükük katsayısı
$\beta_{Çt}$	1	çentik etkisi, çentik katsayısı

tanımları ortaya çıkar. Bu tanımları bir formülle gösterlim:

$$F. 2.8 \quad \sigma_{SK} = \frac{\sigma_D \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} \quad \tau_{SK} = \frac{\tau_D \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}}$$

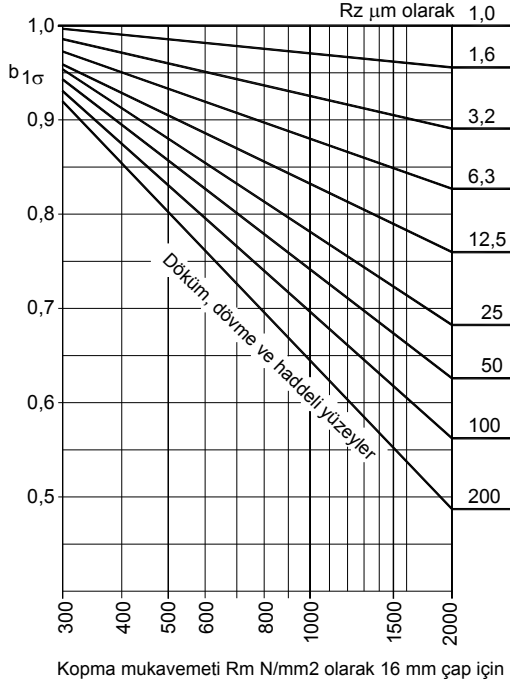
Buradaki değerleri yani katsayıları sırası ile inceleyecek olursak:

2.4.2. Yüzey pürüzlüğü etkisi, yüzey pürüzlüğü katsayısı b_1

Malzemenin devamlı mukavemet değeri polisajlı, cilalanmış yüzeyli deney çubuklarıyla belirlenmiştir. Yani, tamamen ideal cam gibi düzgün, pürüzsüz yüzeyle yapılan deneyler sonucu elde edilmiştir. Yüzey pürüzlüğü talaşlı imalat, hadde sakatlamaları, tufallar, dökümdeki hava ve malzeme birikintileri sonucu, korozyon ve bunlara benzer etkenler ile meydana gelir. Bunlar malzemenin mukavemet değerini düşürürler.

Gevrek malzemelerde yüzey pürüzlüğü katsayısı yalnız yüzey pürüzlüğü kalitesi ile değil aynı zamanda malzemenin kopma mukavemet değeriyle de orantılıdır.

Yüzey pürüzlüğünün çentik etkisi ile beraber değil, ayrı değerlendirilip kullanılması gerektir. Bunu hiç bir zaman birbirine karıştırmamak gereklidir.

Şek. 2.20, Yüzey pürüzlüğü katsayısı b_1 diyagramı

Bu etkenlerin bir arada, yüzey pürüzlüğü katsayısı olarak kullanılması için bir diyagram yapılmıştır. Bu diyagramdaki çeşitli eğriler, malzeme yüzeyinin pürüzlülük kalitesini, X-eksenide malzemenin kopma mukavemet değerinin faktöre etkisini gösterir. Şek. 2.20 de görüldüğü gibi, bir parçanın yüzey pürüzlüğü kalitesi R_a veya R_z olarak ya verilir yada konstrüktör parçanın fonksiyonuna göre kaliteyi kendi seçer.

Parçanın malzemesi ya verilmiştir veya konstrüktör tarafından seçilecektir. Parçanın şekillenme mukavemet değerini hesaplamak için gerekli olan yüzey pürüzlüğü katsayısı b_1 i bulmak, eğer gerekli diyagram varsa çok kolaydır.

Parçanın yüzey pürüzlüğü kalitesi ve malzemesi bilindikten sonra ya analitik olarak formülle hesaplanır veya Şek. 2.20

Normal gerilmeler için

F. 2.9

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \lg R_z \cdot \left(\lg \frac{R_m}{20} - 1 \right)$$

Çapraz gerilmelet için:

F. 2.10

$$b_{1\tau} = 0,575 \cdot b_{1\sigma} + 0,425$$

Şöyle ki: Parçanın yüzey pürüzlüğü kalitesine uyan eğri seçilir. Örneğin, yüzey pürüzlüğü ya R_a ya R_z veya DIN ISO 1302 ye göre pürüzlük derecesi N.. olarak verilmiştir. Parçanın boyutu ne olursa olsun malzemenin $d \leq 16$ mm için geçerli olan kopma mukavemeti X-ekseninde işaretlenir. Y-eksenine çekilen paralelin eğriyi kestiği noktaya ait olan b_1 değeri Y-ekseninden okunur. Parça üretilirken çeşitli yollar ve makinalarla işlenir. İşlemenin kalitesi yüzey pürüzlüğüdür. Cilalanmış bir parça ile kaba torna edilmiş parçanın yüzey pürüzlüğünde oldukça büyük fark vardır. Genelde yüzey pürüzlüğü (Toleranslar kitabına bakınız) ISO Tolerans sistemine göre üretilen parçanın işlenme resminde verilmiştir. Konstrüksiyonda, konstrüktör bunu seçmek sorumluluğundadır. Genel olarak yüzey pürüzlüğünü şu şekilde (inceden kabaya doğru) sıralayabiliriz:

Tabela 2.2, Yüzey pürüzlüğü kalitesi ve pürüzlük derecesi bağıntısı

Yüzeyin tanımı ve üretim biçimi	İşleme işareti	Pürüzlük derecesi	R _a µm	R _z µm
Çok hassas yüzeyler - Hassas taşlama, polisaj, cilalama, v.b.	▽▽▽▽	N1	0,016-0,025	0,63- 0,8
		N2	0,025-0,050	0,80- 1,6
		N3	0,050-0,100	1,60- 2,5
Hassas yüzeyler - Tesviye, torna, freze, taşlama, v.b.	▽▽▽	N4	0,1 - 0,2	2,50- 4,0
		N5	0,2 - 0,4	4,00- 6,3
		N6	0,4 - 0,8	6,30-12,5
İnce işlenmiş yüzeyler - Tesviye, torna, freze, v.b.	▽▽	N7	0,8 - 1,6	12,5- 25
		N8	1,6 - 3,2	25 - 40
		N9	3,2 - 6,3	40 - 63
Kaba işlenmiş yüzeyler - Torna, matkap, freze, v.b.	▽	N10	6,3 - 12,5	63 - 100
		N11	12,5 - 25,0	100 - 160
		N12	25,0 - 50,0	160 - 400

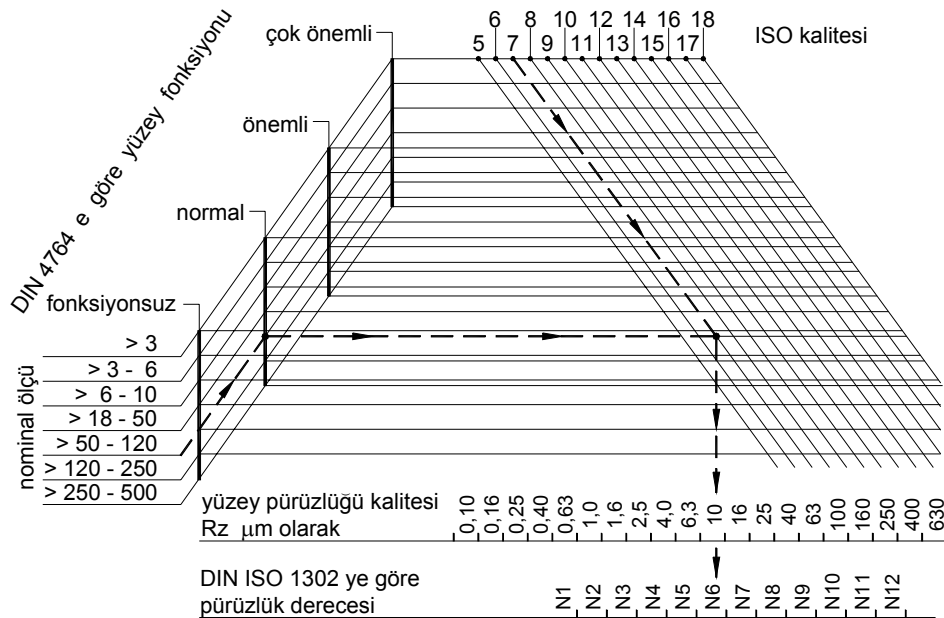
Burada değerler soldan sağa doğrudur. Fakat sağdan sola doğru eşit alınamazlar.

Örneğin: N7 ≡ R_a = 0,8-1,6 µm ≡ R_z = 12,5-25 µm dir.

Fakat R_z = 12,5-25 µm değeri R_a = 0,8-1,6 µm değerine eşit değildir.

Konstrüktörün yüzey fonksiyonlarına göre pürüzlük derecesini seçebilmesi için çeşitli sistem ve düşünce yolları vardır. Burada Alman literatürünün geçerli olduğu teknik alanda en fazla kullanılan diyagramı öneririz.

Rochusch'un (*Rohuş*) nominal ölçü, yüzey fonksiyonu ve ISO kalitesine göre yüzey pürüzlüğü kalitesi önerisi.



Şek. 2.21, Rochusch'a göre yüzey pürüzlüğü kalitesi seçme diyagramı

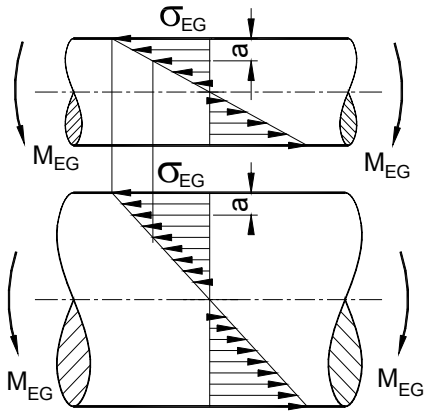
Rochusch diyagramından yüzey pürüzlüğü kalitesi okuma örneği:

Sıkı geçmede kullanılacak çapı **70 s7** ölçüsündeki, yüzey fonksiyonu DIN 4764 e göre **normal** olan bir milin, yüzey pürüzlük kalitesi ne olmalıdır ?

Hesaplanan ortalama yüzey pürüzlüğü derinliği R_z 'yi bulmak için nominal ölçü bölümde 50-120 mm çizgisi bulunur. Nominal ölçü çizgisinin yüzey fonksiyon derecesi doğrusunun kestiği noktada yüzey fonksiyon derecesi doğrusu takip edilir. Bunun ISO-kalite çizgisini kestiği noktadan yüzey fonksiyon derecesi doğrusuna bir dik çizilerek bu çizginin ya hesaplanan ortalama yüzey pürüzlüğü derinliği R_z deki değeri **10 μm** , veya işleme işaretindeki karşıtı parçanın yüzey pürüzlüğü kalitesi **N6** olarak seçilir.

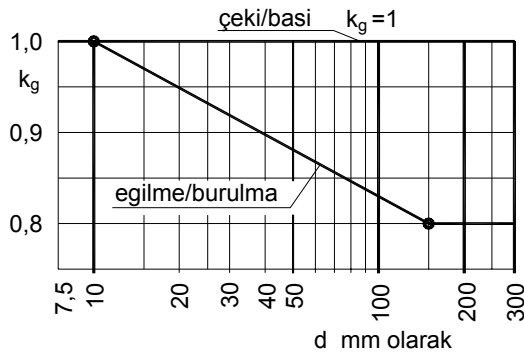
Dikkat: Burada N değerinden R_z değerini bulmak yalnız bir düşüncedir.

2.4.3. Büyüklük etkisi, büyüklük katsayısı b_2



Şek. 2.22, Milde eğilme gerilmesi dağılımı

dağılımının şematik gösterilmesi Şek. 2.22 de görülmektedir.



Şek. 2.23, Geometri katsayısı

Malzemenin devamlı mukavemet değeri, kullanılan parçanın ölçüsü büyüdükçe küçülür. Malzemenin devamlı mukavemet değeri 10 mm çapındaki deney çubukları ile bulunduğundan, büyüyen ölçünün devamlı mukavemet değerine etkisi şekillenme mukavemet değerinde belirlenmelidir. Buda "**büyüklük katsayısı**" olarak gösterilir.

Büyüklük katsayısının sembolü b_2 dir. Bu katsayı eğilme ve torsiyon zorlamalarında kullanılır. Çekme ve basma zorlamalarında kuvvetin bütün zorlanan kesitte eşit dağıldığı kabul edilir. Bunun içinde büyüklük katsayısı çekme veya basma zorlanmalarında $b_2 = 1$ olarak alınır. Eğilme gerilmesinde gerilme

Büyüklük katsayısı b_2

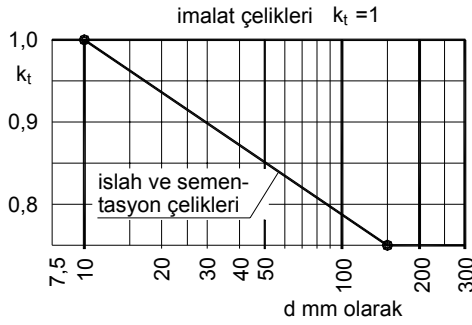
$$F. 2.11 \quad b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

b_2 1 Büyüklük katsayısı

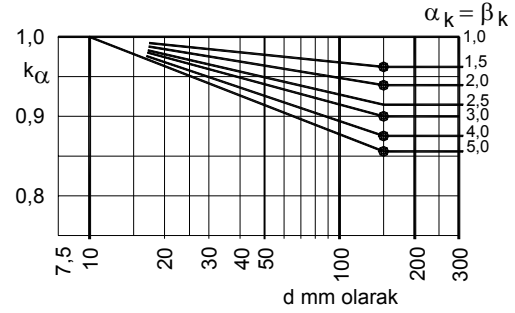
k_g 1 geometri katsayısı

k_t 1 teknoloji katsayısı

k_α 1 form katsayısı



Şek. 2.24, Teknoloji katsayısı



Şek. 2.25, Form katsayısı

Büyüklik katsayısı b_2 Şek. 2.23 , Şek. 2.24 ve Şek. 2.25 deki diyagramlardan belirlenebileceği gibi analitik olarak şu formüllerle hesaplanabilir:

$$F. 2.12 \quad k_g \approx 1 - 0,2 \cdot \frac{\lg(d/7,5)}{\lg 20} \quad \text{geometri katsayısı}$$

$$F. 2.13 \quad k_t \approx 1 - 0,25 \cdot \frac{\lg(d/7,5)}{\lg 20} \quad \text{teknoloji katsayısı}$$

$$F. 2.14 \quad k_\alpha \approx 1 - 0,2 \cdot \lg \alpha_k \cdot \frac{\lg(d/7,5)}{\lg 20} \quad \text{form katsayısı}$$

büyüklik katsayısının bulunması için bir diyagram verilmiştir. Bu diyagramda işi basite indirmek için malzemenin büyüklüğü çap olarak verilmiştir. Eğer parça yuvarlak değilse, ölçülerin çapa eşdeğer büyüklüğü şu şekilde bulunur:

Şekil kare ise kenar $a \approx d$ alınır.

Şekil dikdörtgen ise eğilme düzlemindeki yükseklik yani kenar $h \approx d$ alınır.

Çekme ve basma zorlamalarında kesitte gerilme değişmesi olmayacağından bu tür zorlanmalarda geometri katsayısı $k_g = 1$ olarak alınır.

Okuma örneği: Eğilmeye zorlanan 60 mm çapındaki islah çeliğinden bir milde eğer $\alpha_{Ct} = 1,5$ ise, büyüklik katsayısı b_2 nekadardır?

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

- 60 mm çapındaki bir milde eğilme zorlanması altında geometri katsayısı $k_g \approx 0,87$
- 60 mm çapındaki bir milde eğilme zorlanması altında teknoloji katsayısı $k_t \approx 0,84$
- 60 mm çapındaki bir milde eğilme zorlanması altında form katsayısı $k_\alpha \approx 0,975$

$$b_2 \approx 0,87 \cdot 0,84 \cdot 0,975 \approx 0,71...$$

2.4.4. Çentik etkisi

Bir makina parçasında, kuvvetin akış etkisinde olan parça boyunda kesit alanı değişikliği olursa, buralarda gerilme yükselmesi görülür. Bu gerilme yükselmesinin sebebi de çentikler olarak adlandırılır. Çentik etkisini hesap yoluyla bulmak çok zordur. Bütün bunlara rağmen çentik etkisinin hesaplarda belirtilmesi gereklidir. Çentik etkisini belirten faktöre "çentik katsayısı" denir ve β ile sembolise edilir. Çentik etkisi şu şekilde tanımlanır:

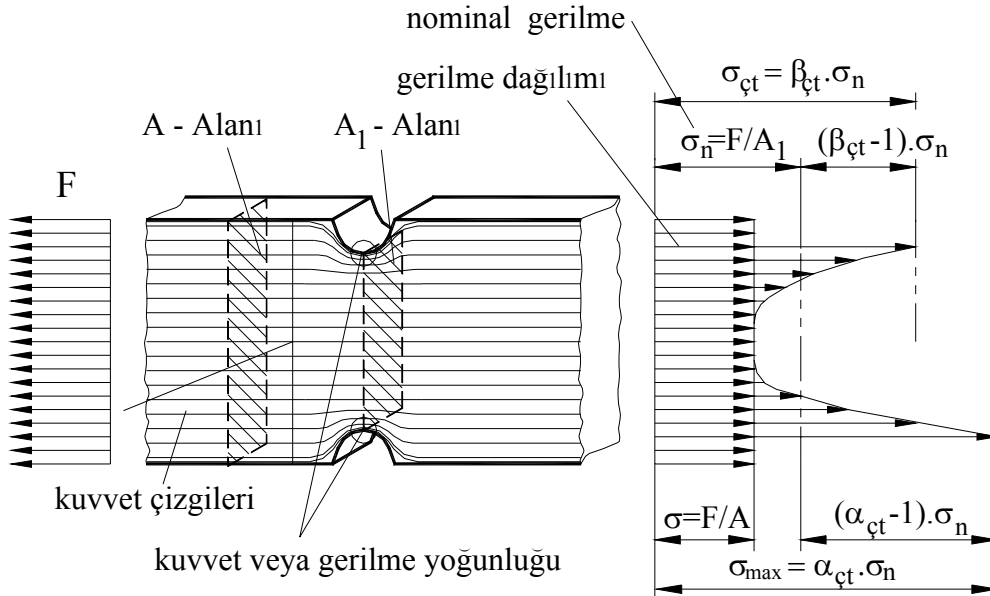
Parçanın bir kesitindeki, kesit alanının birdenbire değişmesi sonucu gerilmenin artmasına çentik etkisi denir.

Çentik etkilerinin tipik çentik örneklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

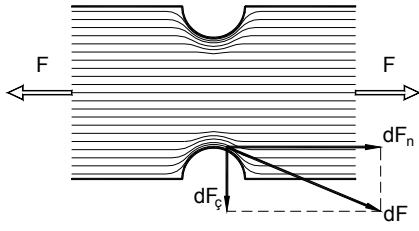
- Dış çentikler: Her türlü kavisle bağlanmış ökçeler, faturalar, segman yuvaları, kuvvet akış yoluna dik delikler, her büyüklükteki yivler, oluklar, v.b.
- İç çentikler: Malzemenin içindeki boşluklar, curuf bağlantıları, malzeme molüküllerinin düzenli dağılmaması, haddeden doğan katmer ve çatlaklar, tufallı malzeme, v.b.

2.4.4.1. Çentik etkisinin sebebi

Bir makina parçasındaki kuvvet ve gerilmeleri şematik olarak gösterelim (Şek. 2.26). Kuvvet akımı, kesiti sabit olan parçada yönü değişmeden, parça kesitine aynı büyüklükte dağıldığı görülür.



Şek. 2.26, Parçada kuvvet ve gerilmelerin dağılımı



Şek. 2.27, Çentik bölgesindeki kuvvet

Eğer parçada kesit alanı değişikliği olursa, ki buna çentik denilir, burada kuvveti taşıyan kesitte kuvvet akım yönü değişikliği görülür. Parçanın kenarlarında kesitin diğer yerlerine göre kuvvet yoğunluğu olur. Bunun sonucuda birim alana düşen kuvvet artar. Gerilme birim alana düşen kuvvet olduğuna göre burada gerilme yükselmesi olur. Böylece çentiğin olduğu yerdeki gerilme maksimum gerilmedir.

Çentik bölgesindeki gerilme kuvvet akışına teğet olan doğrultudadır (Şek. 2.27). Burada kuvvet dF iki doğrultudaki bileşenlerine ayrılınca şu durum ortaya çıkar: Bunlardan biri boyuna bileşeni, normal kuvvet dF_n , öbüründe enine bileşeni, çapraz kuvvet $dF_ç$ dir. Bununla çentik bölgesindeki gerilmelerin tek eksenli olmayıp, çok eksenli gerilmeler olduğu görülür.

Pratikte bütün konstruksiyonu yapılan parçaların çentik etkisinden doğan gerilmeleri hesaplamak için şekil sayısının bulunması olanaksızdır. Hesapların yapılmasında nominal gerilme, yani kuvvetin en küçük alana bölünmesiyle elde edilen gerilme, çentik şekil sayısı $\alpha_{çt}$ ile büyütülür. Çentik şekil sayısı $\alpha_{çt}$ katalog halinde hazırlanmıştır. Böylece asıl maksimum gerilme, normal gerilme ile çentik şekil sayısının çarpımı olarak bulunur.

$$\sigma_{\max} = \alpha_{çt} \cdot \sigma_n$$

Böylece çentik sonucu oluşan gerilmenin, normal kesitteki gerilmeye oranında "**çentik şekil sayısı**" diye tarif edilir ve $\alpha_{çt}$ ile gösterilir. Bu sayı her zaman birden büyüktür.

F. 2.15

$$\alpha_{çt} = \frac{\sigma_{\max}(\tau_{\max})}{\sigma_n(\tau_n)} > 1$$

$\alpha_{çt}$	1	Çentik şekil sayısı
$\sigma_{\max}, \tau_{\max}$	N/mm ²	maksimum gerilme
σ_n, τ_n	N/mm ²	normal gerilme, $\sigma_n = F / A_1$

Gerilmeler elastik bölgede olduğu sürece çentik şekil sayısı $\alpha_{çt}$ yalnız parçanın şekli ile bağıntılıdır. Çeşitli yüklenme durumlarında parçanın şekli aynı olmasına rağmen aynı parça için çeşitli çentik şekil sayısı bulunur. Çentik şekil sayısı pratikte, hesap yapıp yeniden bulunması yerine, çentik şekil sayısı için hazırlanmış kataloglardan alınır ve hesaplarda kullanılır.

Çentik bölgesindeki gerilmeler çoğu zaman oldukça yüksektirler. Bu yüksek gerilme sünek malzemede bölgesel plastik deformasyonlar doğurur. Bundan dolayı hesap sonucu elde edilen maksimum gerilmeler ile pratikteki gerilmeler aynı büyüklükte değildir. Maksimum gerilmenin etkisindeki en dış malzeme lifi plastik deformasyon sonucu akar ve yanındaki lifide yükü taşımaya zorlar. Böylece kesit yükü bütün liflere dağıtana kadar plastik deformasyon göstererek değişir. Buna kesitteki dayanışma denir.

Böylece şu sonuç söylenebilir:

Sünek malzemede statik yani sakin yüklemelerde hesaplar çentik şekil sayısı $\alpha_{Çt}$ göz önüne alınmadan yapılabilir.

Sakin yüklemelerde bölgesel plastik deformasyon sonucu çentik etkisi kopma doğuracak sonuçlar vermez. Fakat zaman zaman değişen dinamik yüklenmelerde küçük fakat kalıcı aşınmalar oluşur. Örneğin; dalgalı ve değişken yüklenmelerde. Bu küçük fakat kalıcı aşınmalar her yükleme periyodunda birikerek çoğalırlar. Böylece yorulma kopmasına sebep olurlar.

Bu nedenden ötürü tekrar eden yüklenmelerde, yani dinamik yüklenmelerde "**çentik katsayısı**" deyimini doğar ve $\beta_{Çt}$ ile gösterilir.

2.4.4.2. Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$ genel olarak, malzemenin deney çubuğu ile bulunan devamlı mukavemet değerinin çentikli durumuyla bulunan devamlı mukavemet değerine oranıdır ve birden büyüktür.

$$\beta_{Çt} = \frac{\sigma_D}{\sigma_{DÇt}} > 1$$

Fakat çentik katsayısı daima çentik şekil sayısı $\alpha_{Çt}$ den küçüktür.

$$1 \leq \beta_{Çt} \leq \alpha_{Çt}$$

Çentik katsayısını etkileyen bir çok faktör vardır. Bunları sıralayacak olursak:

- Çentik şekil sayısı,
- Zorlama şekli,
- Malzemenin özellikleri,

En güvenilir şekilde çentik katsayısı deneyler sonucu bulunur. Hesap yoluyla çentik katsayısını bulan bir teori olmayıp bir sürü hipotez vardır. Bütün hesap hipotezlerinde çentik şekil sayısı aynen kabul edilmiş olup, çentik katsayısının hesabı biraz değişiktir. Bunlardan bir kaçını sırayla görelim:

Thum'a göre çentik katsayısı hesabı

Thum (*tuğm*), dinamik yüklenmelerde çentik katsayısı $\beta_{Çt}$ ile çentik şekil sayısı $\alpha_{Çt}$ arasındaki matematiksel orantıyı malzeme özelliği "**çentik duyarlılık sayısı**" olarak tanımlar. Şöyle ki:

$$\eta_{Çt} = \frac{\beta_{Çt} - 1}{\alpha_{Çt} - 1}$$

Burada $\beta_{\zeta t}$ çentik katsayısını, $\alpha_{\zeta t}$ çentik şekil sayısını ve $\eta_{\zeta t}$ çentik duyarlılık sayısını gösterir. Eğer $\eta_{\zeta t} = 0$ ise $\beta_{\zeta t} = +1$, eğer $\eta_{\zeta t} = +1$ ise $\beta_{\zeta t} = \alpha_{\zeta t}$ olur.

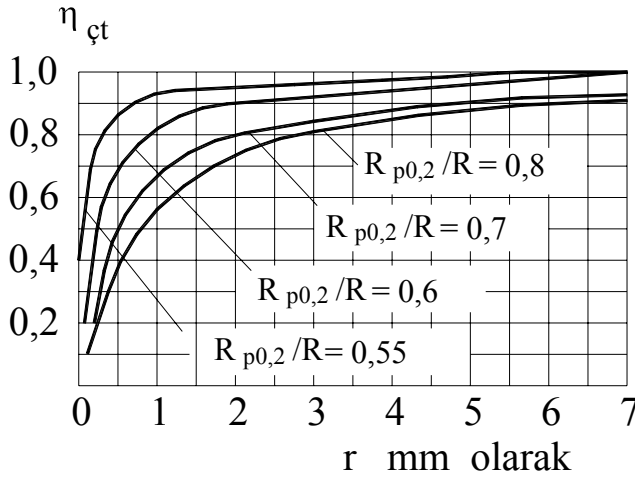
Böylece $1 \leq \beta_{\zeta t} \leq \alpha_{\zeta t}$ bağıntısı buradada görülür.

Thum'a göre çentik katsayısı $\beta_{\zeta t}$ şu şekilde hesaplanır.

$$F. 2.16 \quad \beta_{\zeta t} = 1 + \eta_{\zeta t} (\alpha_{\zeta t} - 1)$$

$\beta_{\zeta t}$	1	çentik katsayısı
$\eta_{\zeta t}$	1	çentik duyarlılık sayısı
$\alpha_{\zeta t}$	1	çentik çekil sayısı

Çentik duyarlılık için önerilen değerler aşağıdaki tabeleden alınabilir veya hesaplanır. Çentik duyarlılık sayısını bulmak için malzemenin ve çentik yarıçapının bilinmesi yeterlidir. Örneğin:



Şek. 2.28, Çentik duyarlılık sayısı diyagramı

St 50-2 (DIN W.Nr.: 1.0050) için çentik duyarlılık sayısını bulmak için St 50 ye ait olan 16 mm den küçük boyutunun kopma mukavemet değeri $R_m = 490 \text{ N/mm}^2$ ve $R_e = 295 \text{ N/mm}^2$ bulunur. Çentik yarıçapı $R = 3 \text{ mm}$ olsun. R sayısı değeri X ekseninde işaretlenip $R_e/R_m = 0,6$ eğrisi ile kesiştiği noktada Y eksenindeki değer çentik duyarlılık sayısı $\eta_{\zeta t} \approx 0,92$ okunur.

H. Neuber'e (Noyber) göre çentik duyarlılık sayısı:

$$F. 2.17 \quad \eta_{\zeta t} = \frac{1}{1 + \frac{8}{r} \cdot \left(1 - \frac{R_e}{R_m}\right)^3}$$

$\eta_{\zeta t}$	1	çentik duyarlılık sayısı
r	1	çentik yarı çapı (mm değeri sayı olarak)
R_e	N/mm^2	Akma mukavemeti
R_m	N/mm^2	kopma mukavemeti

Örnek:

Eğilme zorlaması altında çalışan St 50 dan yapılmış ökçeli milde (Şek. 2.29) çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$ Thum'a göre ne kadardır ?

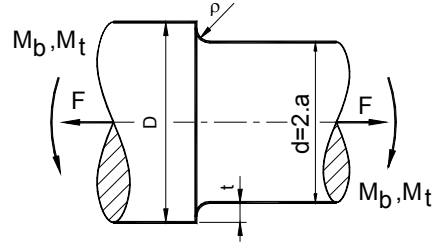
Ölçüler şöyledir: $D = 60 \text{ mm}$,
 $d = 50 \text{ mm}$,
 $\rho = 1 \text{ mm}$

Bu konstruksiyonda çentik şekil sayısı ekteki tabeledan $\alpha_{\text{Çt}} = 2,5$ olarak okunur.

Çentik duyarlılık sayısında Şek. 2.28 deki diyagramdan $\eta_{\text{Çt}} \approx 0,64$ okunur.

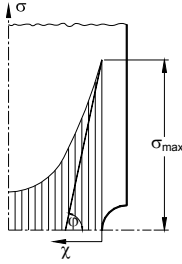
Böylece: $\beta_{\text{Çt}} = 1 + \eta_{\text{Çt}} (\alpha_{\text{Çt}} - 1)$
 $\beta_{\text{Çt}} = 1 + 0,64 (2,5 - 1) = 1,975$

Çentik katsayısı Thum'a göre **$\beta_{\text{Çt}} = 2$** bulunur.



Şek. 2.29, Ökçeli mil

Siebel'e göre çentik katsayısı hesabı



Şek. 2.30, Çekme ile zorlanan çubukta gerilme eğimi

Siebel (Zibel), dinamik yüklenmelerde çentik şekil sayısı $\alpha_{\text{Çt}}$ ile çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$ arasındaki matematiksel orantıyı parçanın malzemesinin özelliklerine, boyutlarına, vade zorlanma şekliyle, çentik bölgesindeki gerilmenin eğimine (Şek. 2.30) bağımlı "**destek katsayısı**" olarak tanımlar. Şöyle ki:

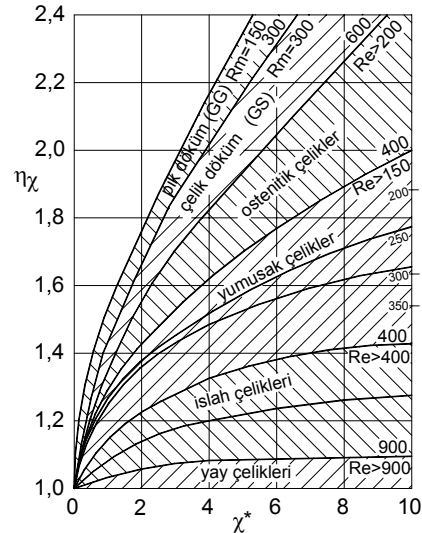
$$\eta_{\chi} = \frac{\alpha_{\text{Çt}}}{\beta_{\text{Çt}}}$$

Burada belirtilen destek katsayısının pratikteki kullanılan değeri Şek. 2.31 ve Şek. 2.32 de verilen diyagramlardan belirlenir. Böylece çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$ şu şekilde hesaplanır:

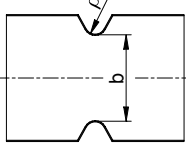
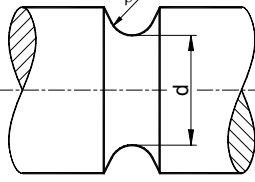
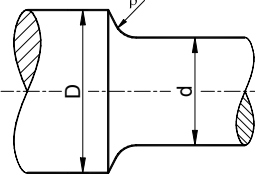
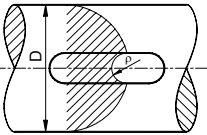
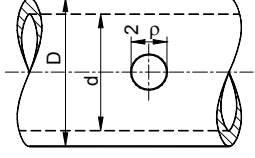
F. 2.18

$$\beta_{\text{Çt}} = \frac{\alpha_{\text{Çt}}}{\eta_{\chi}}$$

$\alpha_{\text{Çt}}$	1	çentik şekil sayısı
$\beta_{\text{Çt}}$	1	çentik katsayısı
η_{χ}	1	destek katsayısı



Şek. 2.31, Destek katsayısı η_{χ} diyagramı

çentik şekli	zorlama	χ_0^*	χ^*
	çekme basma	0	$\frac{2}{\rho}$
	eğilme	$\frac{2}{b}$	$\frac{2}{b} + \frac{2}{\rho}$
	çekme basma	0	$\frac{2}{\rho}$
	eğilme	$\frac{2}{d}$	$\frac{2}{d} + \frac{2}{\rho}$
	torsiyon	$\frac{2}{d}$	$\frac{2}{d} + \frac{1}{\rho}$
	çekme basma	0	$\frac{2}{\rho}$
	eğilme	$\frac{4}{D+d}$	$\frac{4}{D+d} + \frac{2}{\rho}$
	torsiyon	$\frac{4}{D+d}$	$\frac{4}{D+d} + \frac{1}{\rho}$
	torsiyon	$\frac{2}{D}$	$\frac{2}{D} + \frac{1}{\rho}$
	eğilme	$\frac{2}{D}$	$\frac{2}{D} + \frac{4}{\rho}$
	torsiyon	$\frac{2}{D}$	$\frac{2}{D} + \frac{3}{\rho}$

Şek. 2.32, Eğim sayısı χ diyagramı

Örnek: Eğilme zorlaması altında çalışan St 50-2 dan yapılmış ökçeli milde çentik katsayısı β_{Ct} Siebel'e göre ne kadardır ?

Ölçüler şöyledir: $D = 60 \text{ mm}$, $d = 50 \text{ mm}$, $\rho = 1 \text{ mm}$

Bu konstruksiyonda çentik şekil sayısı $\alpha_{Ct} = 2,5$ dur.

Şek. 2.32 den eğim sayısı χ^* $\chi^* = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{\rho}$ $\chi^* = \frac{4}{60+50} + \frac{2}{1}$ $\chi^* = 2,038..$

St 50 yumuşak çelik olup $R_e = 295 \text{ N/mm}^2$ dir. Eğim sayısı $\chi^* = 2,036$ için Şek. 2.31den destek sayısı $\eta_\chi = 1,38$ okunur. Böylece:

$$\beta_{Ct} = \alpha_{Ct} / \eta_\chi = 2,5 / 1,38 \approx 1,81159..$$

Çentik katsayısı Siebel'e göre $\beta_{Ct} = 1,85$ bulunur.

Petersen'e göre çentik katsayısı hesabı

Petersen (*Petersen*), daha çok gerilme eğimini vurgulamıştır. Eğim sayısı χ (*hi*) şekli, boyutları zorlamaları ve çentik yarıçapını gösteren faktördür. Bunun yanında eşdeğer yarıçap ρ^* ve malzemenin özellikleriyle molükül düzenide göz önüne alınmıştır.

Böylece çentik katsayısı Petersen'e göre şu şekilde gösterilir:

$$F. 2.19 \quad \beta_{Ct} = \frac{1 + \sqrt{\rho^* \cdot \chi_0^*}}{1 + \sqrt{\rho^* \cdot \chi^*}} \cdot \alpha_{Ct}$$

β_{Ct}	1	çentik katsayısı
ρ^*	1	çentik şeklinin eşdeğer yarıçapı
χ_0^*	mm ⁻¹	çentikli cilalanmış deney çubuğundaki gerilme eğimi
χ^*	mm ⁻¹	çentik dibindeki gerilme eğimi
α_{Ct}	1	çentik şekil sayısı

Çentik şeklinin eşdeğer yarıçapı ρ^* yaklaşık olarak malzemenin sertliğinden hesaplanır.

$$F. 2.20 \quad \rho^* = \left(\frac{H_0}{H} \right)^2$$

ρ^*	1	çentik şeklinin eşdeğer yarıçapı
H_0	1	karşılaştırma sertliği $H_0 = 40 \text{ HV } 10$
H	1	malzemenin kendi sertliği Vickers veya Brinell olarak

Gerilme eğimi χ^* ve χ_0^* Şek. 2.32 deki formüllerle hesaplanır.

Örnek: Eğilme zorlaması altında çalışan St 50-2 dan yapılmış ökçeli milde çentik katsayısı β_{Ct} Petersen'e göre ne kadardır ?

Ölçüler şöyledir: $D = 60 \text{ mm}$, $d = 50 \text{ mm}$, $\rho = 1 \text{ mm}$

Sertlik $H = 160 \text{ HB} \approx 170 \text{ HV}$

Bu konstruksiyonda çentik şekil sayısı $\alpha_{Ct} = 2,5$ dur ve Şek. 2.32 den:

$$\chi_0^* = \frac{4}{D+d} = \frac{4}{60+50} = 0,036... \quad \chi^* = \frac{4}{D+d} + \frac{2}{\rho} = \frac{4}{60+50} + \frac{2}{1} = 2,036$$

Çentik şeklinin eşdeğer yarıçapı $\rho^* = (40/170)^2 = 0,055...$

$$\beta_{Ct} = \frac{1 + \sqrt{\rho^* \cdot \chi_0^*}}{1 + \sqrt{\rho^* \cdot \chi^*}} \cdot \alpha_{Ct} = \frac{1 + \sqrt{0,055 \cdot 0,036}}{1 + \sqrt{0,055 \cdot 2,036}} \cdot 2,5 = 1,95727...$$

Çentik katsayısı Petersen'e göre $\beta_{Ct} = 2$ bulunur.

Thum, Siebel, Petersen, Neuber, BollenrathTroost ve Rühl 'e göre yapılan çentik katsayısı hesapları ortalama değerlerde pratikte rahat ve korkusuzca kullanılabilinen değerleri verirler.

Şahsen önerebileceğim bir hipotez yoktur. Normal literatürde hesaplar Thum'a göre yapılmasına rağmen, konstrüktör yaptığı konstruksiyona göre elde ettiği bilgi ve koşullar çerçevesinde kendisini güvenli hissedeceği bir hesap hipotezi seçmelidir.

Bu arada sıkı geçme ile birleştirilen mil ve göbeklerde çentik etkisinin olduğunu söylemekte fayda görürüm. Bu konstruksiyonların hesaplarında da mukavemet değerleri duruma göre düzeltilmelidir. Böyle geçmelerde kullanılan şekil sayısı ekteki tabelalarda verilmiştir.

2.4.5. Birleşik zorlanmalarda çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$

Birleşik zorlanmalarda çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$ en iyi şekilde deneylerle saptanır. Fakat pratikte bu çok zor gerçekleşen bir olaydır.

$$\sigma_{\text{Çtkar}} = \sqrt{\sigma_{\text{Çt}}^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_{\text{Çt}})^2}$$

Burada:

$$\sigma_{\text{Çt}} = \beta_{\text{Çt}} \cdot \sigma \quad \text{ve} \quad \tau_{\text{Çt}} = \beta_{\text{Çt}} \cdot \tau$$

Böylece:

$$\sigma_{\text{Çtkar}} = \sqrt{(\beta_{\text{Çt}} \cdot \sigma)^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \beta_{\text{Çt}} \cdot \tau)^2}$$

Birleşik zorlanmalarda yapılan hesaplarda pratikte çoğu zaman asal gerilmelerin çentik katsayısı kullanılarak yapılırsa güvenilir bir hesap yolu tutulmuş olur.

Eğer ikinci ana gerilmelere ilişkin çentik katsayısı, asal gerilmeler çentik katsayısı ile eşit tutulursa, burada yapılan yanlış daha da güven verir. Bunun için bu kusur sayılmaz. Burada bilinerek yapılan yanlış sonucu şu hesap formülleri bulunur:

$$\beta_{\text{Çtmax}} = \beta_{\text{Çteğ}} = \beta_{\text{Çtt}}$$

$$\sigma_{\text{Çtkar}} = \beta_{\text{Çt}} \cdot \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau)^2}$$

Gerilme hesabında doğru orantılı olan çentik katsayısı, malzemenin şekillendirme mukavemet değerini ters orantılı olarak etkiler. Şöyle ki: Gerilme hesabında pay olan çentik katsayısı, malzemenin mukavemet değerinde paydaya gelir.

2.5. Örnekler

- rnek 1, çekme mukavemeti
- rnek 2, çekme mukavemeti
- rnek B1, Basma mukavemeti
- rnek B2, Basma mukavemeti
- rnek EG1, Eğilme mukavemeti
- rnek EG2, Eğilme mukavemeti
- rnek KE1, Kesme mukavemeti
- rnek KE2, Kesme mukavemeti
- rnek BR1, Torsiyon mukavemeti
- rnek BR2, Torsiyon mukavemeti
- rnek BZ1, Bileşik mukavemet,
Biçim değiştirme enerjisi hipotezine göre
- rnek BZ2, Bileşik mukavemet,
Biçim değiştirme enerjisi hipotezine göre

2.5.1. Örnek Ç1, Çekme mukavemeti

Ana cevap

$$\sigma_{\text{ÇSK}} = \frac{\sigma_{\text{ÇD}} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\text{Çt}}}$$

Hesap kesiti, dolu mil, yani yuvarlak

$$d_1 = 15 \text{ mm}$$

Malzeme değerleri :St60-2, 1.0060,
Tabelasından Kopma mukavemeti

$$R_m = 570 \text{ N/mm}^2$$

Akma mukavemet sınırı

$$R_e = 335 \text{ N/mm}^2$$

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, çeki zorlaması

$$K_1 = 0,44$$

$$K_2 = 1,0$$

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, Haddelenmiş

$$R_z = 0,200 \text{ mm}$$

Sınır değerler oranı, Statik yükleme, $F_{\text{max}} = F_{\text{min}}$

$$\kappa_{\text{ç}} = 1,0$$

Devamlı çekme mukavemeti $\sigma_{\text{ÇD}}$:
tam değişken mukavemeti $\sigma_{\text{ÇDE}} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$
akma mukavemeti $\sigma_{\text{ÇAK}} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{\text{ÇDE}} = 250.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ÇAK}} = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ÇD}} = \frac{\sigma_{\text{ÇDE}}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{\text{ç}}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{\text{ÇAK}}$$

$$\sigma_{\text{ÇDHe}} = \frac{\sigma_{\text{ÇDE}}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{\text{ç}}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}}$$

$$\sigma_{\text{ÇDHe}} = 889 \text{ N/mm}^2$$

Burada $\sigma_{\text{ÇDHe}} \leq \sigma_{\text{ÇAK}}$ olması gerektiğinden $\sigma_{\text{ÇD}} = \sigma_{\text{ÇAK}}$

$$\sigma_{\text{ÇD}} = 335 \text{ N/mm}^2$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$b_{1\sigma} = 0,77$$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$: Kesit değişikliği olmadığından

$$\beta_{Çt} = 1$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,95$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Çt} = 1 \quad k_\alpha = 1$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,95 \cdot 1 \cdot 1$$

$$b_2 = 0,95$$

Şekillenme çekme mukavemeti $\sigma_{ÇSK}$:

$$\sigma_{ÇSK} = \frac{\sigma_{ÇD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}}$$

$$246 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme çekme mukavemeti

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

2.5.2. Örnek Ç2, Çekme mukavemeti

Ana cevap

$$\sigma_{\text{ÇSK}} = \frac{\sigma_{\text{ÇD}} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\text{Çt}}}$$

Hesap kesiti, dolu mil, yani yuvarlak

$$d_1 = 45 \text{ mm}$$

Ökçe çapı

$$D_1 = 55 \text{ mm}$$

Yarıçap, çentik yarı çapı

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

Malzeme değerleri : St50-2, 1.0050,

$$R_m = 470 \text{ N/mm}^2$$

Kopma mukavemeti

$$R_e = 295 \text{ N/mm}^2$$

Akma mukavemet sınırı

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, çeki zorlaması

$$K_1 = 0,44$$

$$K_2 = 1,0$$

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

$$R_z = 0,010 \text{ mm}$$

Sınır değerler oran mukavemeti, tam dalgal mukavemeti yükleme,

$$\kappa_{\text{ç}} = 0$$

Devamlı çekme mukavemeti $\sigma_{\text{ÇD}}$:tam değişken mukavemeti $\sigma_{\text{ÇDE}} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$

$$\sigma_{\text{ÇDE}} = 206.8 \text{ N/mm}^2$$

akma mukavemeti $\sigma_{\text{ÇAK}} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{\text{ÇAK}} = 295 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ÇDhe}} = \frac{\sigma_{\text{ÇDE}}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{\text{ç}}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{\text{ÇAK}}$$

$$\sigma_{\text{ÇDhe}} = 323 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{ÇD}} = 295 \text{ N/mm}^2$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$b_{1\sigma} = 0,92$$

Çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$ Thum a göre:

$$\beta_{\text{Çt}} = 1 + \eta_{\text{Çt}} (\alpha_{\text{Çt}} - 1)$$

Çentik duyarlılık sayısı $\eta_{Çt} = 1 / \left[1 + \frac{8}{r} \cdot \left(1 - \frac{R_e}{R_m} \right)^3 \right]$

$$\eta_{Çt} = 0,92$$

Form sayısı ya formülle hesaplanır yada Tabeladan alınır

$$\alpha_{Çt} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{\left(\frac{t}{\rho} \right)^k} + B \cdot \left[\frac{1 + \frac{a}{\rho}}{\frac{a}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{a}{\rho}}} \right]^L + C \cdot \frac{\frac{a}{\rho}}{\left(\frac{a}{\rho} + \frac{t}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{t}{\rho} \right)^m} \right)}}$$

$$\frac{R}{d_1} = 0,1$$

$$\frac{D_1}{d_1} = 1,22$$

$$\alpha_{Çt} = 1,65$$

$$\beta_{Çt} = 1 + \eta_{Çt} (\alpha_{Çt} - 1) = 1 + 0,92 (1,65 - 1)$$

$$\beta_{Çt} = 1,6$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,88$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_\alpha = 0,98$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,88 \cdot 1 \cdot 0,98$$

$$b_2 = 0,86$$

Şekillenme çekme mukavemeti $\sigma_{ÇSK}$:

$$\sigma_{ÇSK} = \frac{\sigma_{ÇD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{295 \cdot 0,92 \cdot 0,86}{1,6} =$$

$$\sigma_{ÇSK} = 145,8 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme çekme mukavemeti

$$\underline{\underline{\sigma_{ÇSK} = 145 \text{ N/mm}^2}}$$

2.5.3. Örnek B1, Basma mukavemeti

Ana cevap

Hesap kesiti, kaval mil, yani içi boş yuvarlak

Malzeme değerleri :St37-2, 1.0037,

Kopma mukavemeti

Akma mukavemet sınırı

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, çeki zorlaması

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

Sınır değerler oranı, Statik yükleme,

Devamlı basma mukavemeti σ_{BD} :tam değişken mukavemeti $\sigma_{BDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$ akma mukavemeti $\sigma_{BAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{BDhe} = \frac{\sigma_{BDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_\zeta) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{BAK}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

$$D_1 = 25 \text{ mm}$$

$$d_1 = 20 \text{ mm}$$

$$R_m = 340 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$K_1 = 0,44$$

$$K_2 = 1,0$$

$$R_z = 0,010 \text{ mm}$$

$$\kappa_D = 1$$

$$\sigma_{BDE} = 149,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{BAK} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{BDhe} = 530 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\sigma_{BD} = 235 \text{ N/mm}^2}$$

$$b_{1\sigma} = 0,95$$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$:

Kesit değişikliği olmadığından

$$\beta_{Çt} = 1$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,93$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Çt} = 1$$

$$k_\alpha = 1$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,88 \cdot 1 \cdot 0,98$$

$$b_2 = 0,93$$

Şekillenme basma mukavemeti σ_{BSK} :

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{235 \cdot 0,95 \cdot 0,93}{1,0} =$$

$$208 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme basma mukavemeti

$$\underline{\underline{\sigma_{BSK} = 210 \text{ N/mm}^2}}$$

2.5.4. Örnek B2, Basma mukavemeti

Ana cevap

Hesap kesiti, kaval mil, yani içi boş yuvarlak

Malzeme değerleri :St52-2, 1.0570, Kopma mukavemeti

Akma mukavemet sınırı

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, çeki zorlaması

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

Sınır değerler oranı, tam dalgalı yükleme, $F_{min} = 0$ Devamlı basma mukavemeti σ_{BD} :tam değişken mukavemeti $\sigma_{BDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$ akma mukavemeti $\sigma_{BAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{BDhe} = \frac{\sigma_{BDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_\zeta) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{BAK}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

$$D_1 = 60 \text{ mm}$$

$$d_1 = 48 \text{ mm}$$

$$R_m = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$K_1 = 0,44$$

$$K_2 = 1,0$$

$$R_z = 0,100 \text{ mm}$$

$$\kappa_D = 0$$

$$\sigma_{BDE} = 215,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{BAK} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{BDhe} = 323 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\sigma_{BD} = 325 \text{ N/mm}^2}$$

$$b_{1\sigma} = 0,83$$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$:

Kesit değişikliği olmadığından

$$\beta_{Çt} = 1$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,88$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Çt} = 1$$

$$k_\alpha = 1$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,88 \cdot 1 \cdot 1$$

$$b_2 = 0,88$$

Şekillenme basma mukavemeti σ_{BSK} :

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{323 \cdot 0,83 \cdot 0,88}{1,0} =$$

$$244 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme basma mukavemeti

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

2.5.5. Örnek EG1, Eğilme mukavemeti

Ana cevap

$$\sigma_{EGSK} = \frac{\sigma_{EGD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}}$$

Hesap kesiti, dolu yuvarlak mil

$$d_1 = 16 \text{ mm}$$

Malzeme değerleri :St70-2, 1.0070, Kopma mukavemeti

$$R_m = 670 \text{ N/mm}^2$$

Akma mukavemet sınırı

$$R_e = 365 \text{ N/mm}^2$$

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, eğilme zorlaması

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2 = 1,4$$

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

$$R_z = 0,100 \text{ mm}$$

Sınır değerler oranı, tam dalgalı yükleme, $F_{min} = 0$

$$\kappa_{EG} = 0$$

Devamlı eğilme mukavemeti σ_{EGD} :

tam değişken mukavemeti $\sigma_{EGDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$

$$\sigma_{EGDE} = 335 \text{ N/mm}^2$$

akma mukavemeti $\sigma_{EGAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{EGAK} = 511 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGDhe} = \frac{\sigma_{EGDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{EG}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{EGAK}$$

$$\sigma_{EGDhe} = 502,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\sigma_{EGD} = 502,5 \text{ N/mm}^2}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$b_{1\sigma} = 0,77$$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$:

Kesit değişikliği olmadığından

$$\beta_{Çt} = 1$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,95$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Çt} = 1$$

$$k_\alpha = 1$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,88 \cdot 1 \cdot 1$$

$$b_2 = 0,95$$

Şekillenme eğilme mukavemeti σ_{EGSK} :

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{502,5 \cdot 0,77 \cdot 0,95}{1,0} =$$

$$367 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme eğilme mukavemeti

$$\underline{\underline{\sigma_{EGSK} = 365 \text{ N/mm}^2}}$$

2.5.6. Örnek EG2, Eğilme mukavemeti

Ana cevap

Hesap kesiti, dolu yuvarlak mil

Malzeme değerleri :St70-3, 1.0070, Kopma mukavemeti
Akma mukavemet sınırı

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, eğilme zorlaması

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

Sınır değerler oranı, tam değişken yükleme,

Devamlı eğilme mukavemeti σ_{EGD} :

tam değişken mukavemeti $\sigma_{EGDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$

akma mukavemeti $\sigma_{EGAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{EGDhe} = \frac{\sigma_{EGDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{EG}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{EGAK}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

Çentik katsayısı $\beta_{\zeta t}$ Thum a göre:

$$\sigma_{EGSK} = \frac{\sigma_{EGD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

$$d_1 = 80 \text{ mm}$$

$$D_1 = 90 \text{ mm}$$

$$R_1 = 5 \text{ mm}$$

$$R_m = 690 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 365 \text{ N/mm}^2$$

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2 = 1,4$$

$$R_z = 0,010 \text{ mm}$$

$$\kappa_{EG} = -1$$

$$\sigma_{EGDE} = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGAK} = 511 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGD} = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\sigma_{EGD} = 335 \text{ N/mm}^2}$$

$$b_{1\sigma} = 0,88$$

$$\beta_{\zeta t} = 1 + \eta_{\zeta t} (\alpha_{\zeta t} - 1)$$

$$\text{Çentik duyarlılık sayısı } \eta_{Çt} = 1 / \left[1 + \frac{8}{r} \cdot \left(1 - \frac{R_e}{R_m} \right)^3 \right]$$

Form sayısı ya formülle hesaplanır yada Tabeladan alınır

$$\alpha_{Çt} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{\left(\frac{t}{\rho} \right)^k} + B \cdot \left[\frac{1 + \frac{a}{\rho}}{\frac{a}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{a}{\rho}}} \right]^L + C \cdot \frac{\frac{a}{\rho}}{\left(\frac{a}{\rho} + \frac{t}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{t}{\rho} \right)^m} \right)}}$$

$$\beta_{Çt} = 1 + \eta_{Çt} (\alpha_{Çt} - 1) = 1 + 0,92 (1,65 - 1)$$

Büyükölük katsayısı

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,84 \cdot 1 \cdot 0,97$$

Şekillenme eğilme mukavemeti σ_{EGSK} :

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,82}{1,54} =$$

Şekillenme eğilme mukavemeti

$$\eta_{Çt} = 0,87$$

$$R_1/d_1 = 0,063$$

$$D_1 / d_1 = 1,25$$

$$\alpha_{Çt} = 1,62$$

$$\beta_{Çt} = 1,54$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

$$k_g = 0,84$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

$$\beta_{Çt} = 1,54$$

$$k_\alpha = 0,97$$

$$b_2 = 0,82$$

$$157 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGSK} = 155 \text{ N/mm}^2$$

2.5.7. Örnek KE1, KESME MUKAVEMETİ

Ana cevap

$$\tau_{KESK} = \frac{\tau_{KED} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

Hesap kesiti, köşebent

$$A_L = 308 \text{ mm}^2$$

Malzeme değerleri :St37, 1.0037, Kopma mukavemeti

$$R_m = 340 \text{ N/mm}^2$$

Akma mukavemet sınırı

$$R_e = 235 \text{ N/mm}^2$$

KESME MUKAVEMETİ,

yumuşak malzemeler için $\tau_{KE} = R_m$

$$\tau_{KE} = R_m = 340 \text{ N/mm}^2$$

kır döküm için $\tau_{KE} = 0,8 \cdot R_m$

Emniyetli kesme mukavemeti:

statik $\tau_{KEEM_I} = R_e / 1,5$ tam dalgalı $\tau_{KEEM_II} = R_e / 2,2$ tam değişken $\tau_{KEEM_III} = R_e / 3,0$

$$\tau_{KEEM_I} = 157 \text{ N/mm}^2$$

2.5.8. Örnek KE2, KESME mukavemeti

Ana cevap

Hesap kesiti, Rondella

$$A_{ke} = \pi \cdot (D_1 + d_1) \cdot s_1$$

Malzeme değerleri :St50-2, 1.0050, Kopma mukavemeti

Akma mukavemet sınırı

KESME mukavemeti,

yumuşak malzemeler için $\tau_{KE} = R_m$ kır döküm için $\tau_{KE} = 0,8 \cdot R_m$

Emniyetli kesme mukavemeti:

statik $\tau_{KEEM_I} = Re / 1,5$ tam dalgalı $\tau_{KEEM_II} = Re / 2,2$ tam değişken $\tau_{KEEM_III} = Re / 3,0$

$$\tau_{KESK} = \frac{\tau_{KED} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

$$d_1 = 13 \text{ mm}$$

$$D_1 = 24 \text{ mm}$$

$$s_1 = 2,5 \text{ mm}$$

$$A_{ke} = 291 \text{ mm}^2$$

$$R_m = 470 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 295 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{KE} = R_m = 470 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{KEEM_I} = 195 \text{ N/mm}^2$$

2.5.9. Örnek BR1, Brulma, Torsiyon mukavemeti

Ana cevap

$$\tau_{tSK} = \frac{\tau_{tGD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

Hesap kesiti, dolu yuvarlak mil

$$d_1 = 20 \text{ mm}$$

Malzeme değerleri :St70-2, 1.0070,
Kopma mukavemeti
Akma mukavemet sınırı

$$R_m = 670 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 365 \text{ N/mm}^2$$

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, torsiyon zorlaması

$$K_1 = 0,3$$

$$K_2 = 0,58$$

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

$$R_z = 0,010 \text{ mm}$$

Sınır değerler oranı, tam dalgalı yükleme, $F_{\min} = 0$

$$\kappa_t = 0$$

Devamlı eğilme mukavemeti

 τ_{tD} :

tam değişken mukavemeti

$$\tau_{tDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$$

akma mukavemeti

$$\tau_{tAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$$

$$\tau_{tDE} = 201 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{tAK} = 212 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{tDhe} = \frac{\tau_{tDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_t) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \tau_{tAK}$$

$$\tau_{tDhe} = 342 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\tau_{tD} = 212 \text{ N/mm}^2}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\tau}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$b_{1\sigma} = 0,88$$

$$b_{1\tau} = 0,575 \cdot b_{1\sigma} + 0,425$$

$$b_{1\tau} = 0,93$$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$:

Kesit değişikliği olmadığından

$$\beta_{Çt} = 1$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,93$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Çt} = 1$$

$$k_\alpha = 1$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,87 \cdot 1 \cdot 0,98$$

$$b_2 = 0,93$$

Şekillenme torsiyon mukavemeti τ_{tSK} :

$$\tau_{tSK} = \frac{\tau_{tD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{212 \cdot 0,93 \cdot 0,93}{1,0} =$$

$$185 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme torsiyon mukavemeti

$$\underline{\underline{\tau_{tSK} = 185 \text{ N/mm}^2}}$$

2.5.10. Örnek BR2, Brulma, Torsiyon mukavemeti

Ana cevap

$$\tau_{tSK} = \frac{\tau_{tGD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

Hesap kesiti, dolu yuvarlak mil

$$d_1 = 44,5 \text{ mm}$$

Malzeme değerleri :St60-2, 1.0060, Kopma mukavemeti

$$R_m = 570 \text{ N/mm}^2$$

Akma mukavemet sınırı

$$R_e = 335 \text{ N/mm}^2$$

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, torsiyon zorlaması

$$K_1 = 0,3$$

$$K_2 = 0,58$$

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

$$R_z = 0,025 \text{ mm}$$

Sınır değerler oranı, tam değişken yükleme,

$$\kappa_t = -1$$

Devamlı eğilme mukavemeti

 τ_{tD} :

tam değişken mukavemeti

$$\tau_{tDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$$

$$\tau_{tDE} = 171 \text{ N/mm}^2$$

akma mukavemeti

$$\tau_{tAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$$

$$\tau_{tAK} = 194,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{tDhe} = \frac{\tau_{tDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_t) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \tau_{tAK}$$

$$\tau_{tD} = 171 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\tau_{tD} = 170 \text{ N/mm}^2}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\tau}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$b_{1\sigma} = 0,86$$

$$b_{1\tau} = 0,575 \cdot b_{1\sigma} + 0,425$$

$$b_{1\tau} = 0,92$$

Çentik katsayısı β_{Ct} : Normal kama
DIN 6885 T1, N1 Torsiyon

$$\beta_{Ct} = 1,58$$

Büyüklik katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,88$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Ct} = 1,58$$

$$k_\alpha = 0,98$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,87 \cdot 1 \cdot 0,98$$

$$b_2 = 0,86$$

Şekillenme torsiyon mukavemeti τ_{tSK} :

$$\tau_{tSK} = \frac{\tau_{tD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Ct}} = \frac{171 \cdot 0,92 \cdot 0,86}{1,58} =$$

$$85,6 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme torsiyon mukavemeti

$$\underline{\underline{\tau_{tSK} = 85 \text{ N/mm}^2}}$$

2.5.11. Örnek BZ1, Bileşik mukavemet

Ana cevap. Bileşik mukavemet olarak Biçim değiştirme enerjisi hipotezine göre eğilme mukavemeti karşılaştırma değeri olarak alınır

Hesap kesiti, dolu yuvarlak mil

Malzeme değerleri :St70-2, 1.0070,
Kopma mukavemeti
Akma mukavemet sınırı

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, eğilme zorlaması

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

Sınır değerler oranı, tam değişken yükleme,

Devamlı eğilme mukavemeti σ_{EGD} :

tam değişken mukavemeti $\sigma_{EGDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$

akma mukavemeti $\sigma_{EGAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{EGDhe} = \frac{\sigma_{EGDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{EG}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{EGAK}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

$$\sigma_{EGSK} = \frac{\sigma_{EGD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}}$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}$$

$$R_m = 670 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 365 \text{ N/mm}^2$$

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2 = 1,4$$

$$R_z = 0,010 \text{ mm}$$

$$\kappa_{EG} = -1$$

$$\sigma_{EGDE} = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGAK} = 511 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGDhe} = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\sigma_{EGD} = 335 \text{ N/mm}^2}$$

$$b_{1\sigma} = 0,88$$

Çentik katsayısı $\beta_{Çt}$: Normal kama

$$\beta_{Çt} = 1,98$$

Büyükük katsayısı

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$k_g = 0,86$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$\beta_{Çt} = 1,98$$

$$k_\alpha = 0,96$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,88 \cdot 1 \cdot 1$$

$$b_2 = 0,83$$

Şekillenme eğilme mukavemeti σ_{EGSK} :

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{335 \cdot 0,88 \cdot 0,83}{1,98} =$$

$$123,6 \text{ N/mm}^2$$

Şekillenme eğilme mukavemeti

$$\underline{\underline{\sigma_{EGSK} = 125 \text{ N/mm}^2}}$$

2.5.12. Örnek BZ2, Bileşik mukavemet

Ana cevap. Bileşik mukavemet olarak Biçim değiştirme enerjisi hipotezine göre eğilme mukavemeti karşılaştırma değeri olarak alınır

Hesap kesiti, dolu yuvarlak ökçeli mil

Malzeme değerleri :St60-2, 1.0060,
Kopma mukavemeti
Akma mukavemet sınırı

Malzeme faktörleri, İmalat çeliği, eğilme zorlaması

Yüzey pürüzlüğü kalitesi, işlenmiş yüzey

Sınır değerler oranı, tam değişken yükleme,

Devamlı eğilme mukavemeti σ_{EGD} :
tam değişken mukavemeti $\sigma_{EGDE} = R_m \cdot K_1 \Rightarrow$
akma mukavemeti $\sigma_{EGAK} = R_e \cdot K_2 \Rightarrow$

$$\sigma_{EGDhe} = \frac{\sigma_{EGDE}}{1 - \frac{(1 + \kappa_{EG}) \cdot (1 - K_1)}{2 - K_1}} \leq \sigma_{EGAK}$$

Yüzey pürüzlüğü faktörü $b_{1\sigma}$:

$$b_{1\sigma} = 1 - 0,22 \cdot \log(R_z) \cdot \left(\log\left(\frac{R_m}{20}\right) - 1 \right)$$

Çentik katsayısı $\beta_{\zeta t}$ Thum a göre:

$$\sigma_{EGSK} = \frac{\sigma_{EGD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{\zeta t}}$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}$$

$$D_1 = 75 \text{ mm}$$

$$R_1 = 0,6 \text{ mm}$$

$$R_m = 570 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$K_1 = 0,5$$

$$K_2 = 1,4$$

$$R_z = 0,025 \text{ mm}$$

$$\kappa_{EG} = -1$$

$$\sigma_{EGDE} = 285 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGAK} = 469 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{EGD} = 285 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\sigma_{EGD} = 285 \text{ N/mm}^2}$$

$$b_{1\sigma} = 0,86$$

$$\beta_{\zeta t} = 1 + \eta_{\zeta t} (\alpha_{\zeta t} - 1)$$

$$\text{Çentik duyarlılık sayısı } \eta_{Çt} = 1 / \left[1 + \frac{8}{r} \cdot \left(1 - \frac{R_e}{R_m} \right)^3 \right]$$

Form sayısı ya formülle hesaplanır yada Tabeladan alınır

$$\alpha_{Çt} = 1 + \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{A}{\left(\frac{t}{\rho} \right)^k} + B \cdot \left[\frac{1 + \frac{a}{\rho}}{\frac{a}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{a}{\rho}}} \right]^L + C \cdot \frac{\frac{a}{\rho}}{\left(\frac{a}{\rho} + \frac{t}{\rho} \right) \cdot \left(\frac{t}{\rho} \right)^m} \right)}}$$

$$\beta_{Çt} = 1 + \eta_{Çt} (\alpha_{Çt} - 1) = 1 + 0,52 (3 - 1)$$

Büyükölük katsayısı

geometri katsayısı k_g

$$k_g = 1 - 0,2 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

teknoloji katsayısı k_t

$$k_t = 1 - 0,25 \cdot \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

form katsayısı k_α

$$k_\alpha = 1 - 0,2 \cdot \log(\beta_k) \log\left(\frac{d_1}{7,5}\right) \cdot \log(20)^{-1}$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha = 0,86 \cdot 1 \cdot 0,95$$

Şekillenme eğilme mukavemeti σ_{EGSK} :

$$\sigma_{BSK} = \frac{\sigma_{BD} \cdot b_1 \cdot b_2}{\beta_{Çt}} = \frac{285 \cdot 0,86 \cdot 0,82}{2,2} =$$

Şekillenme eğilme mukavemeti

$$\eta_{Çt} = 0,52$$

$$R_1/d_1 = 0,01$$

$$D_1 / d_1 = 1,25$$

$$\alpha_{Çt} = 3,3$$

$$\beta_{Çt} = 2,2$$

$$b_2 = k_g \cdot k_t \cdot k_\alpha$$

$$k_g = 0,86$$

$$\text{İmalat çeliği } k_t = 1$$

$$\beta_{Çt} = 2,2$$

$$k_\alpha = 0,95$$

$$b_2 = 0,82$$

$$92 \text{ N/mm}^2$$

$$\underline{\underline{\sigma_{EGSK} = 90 \text{ N/mm}^2}}$$

3. Konu İndeksi

Akma mukavemeti.....	2.8	Genlik mukavemeti.....	2.16
Akma sınırı	2.9	Gerilme durumları	2.16
Alt sınır gerilmesi	2.16	Gerilme Uzama diyagramı_	2.7
Alt sınır mukavemeti	2.16, 2.20	Hooke.....	2.9
Bach	2.16, 2.22	Hooke kanunu.....	2.10
Benzerlik çizgileri.....	2.21	Kayma modülü.....	2.11
Birleşik zorlanmalarda çentik katsayısı	2.40	Koparma makinası	2.9
Bollenrath.....	2.40	Kopma büzülmesi	2.14
Boyuna uzama.....	2.11	Kopma büzülmesi oranı	2.14
Büyüklik katsayısı b_2	2.31	Kopma mukavemeti.....	2.8
Çekme deneyi.....	2.7	Kopma uzaması	2.13
Çentik duyarlılık sayısı	2.35	Kopma uzaması oranı	2.13
Çentik etkisi	2.33	Malzemenin fiatı.....	2.6
Çentik katsayısı.....	2.33	Malzemenin fiziksel özellikleri	2.4
Çentik katsayısı $\beta_{\text{Çt}}$	2.35	Malzemenin kimyasal özellikleri.....	2.5
Çentik şekil sayısı $\alpha_{\text{Çt}}$	2.34	Malzemenin mekanik özellikleri ...	2.4, 2.7
Çevre ısısı.....	2.6	Malzemenin mukavemet değerleri	2.4
Dalgalı gerilme	2.17	Malzemenin tekrar kullanılma özelligi.....	2.6
Değişken gerilme	2.18	Neuber.....	2.36, 2.40
Deney çubuğu	2.7	Orantılı mukavemet	2.8, 2.9
Destek katsayısı	2.37	Orantılı mukavemet sınırı.....	2.9
Devamlı mukavemet	2.15	Ortalama gerilme	2.16
Devamlı mukavemet değeri	2.19	Ortalama mukavemet.....	2.16
Devamlı mukavemet değeri okuma örnekleri	2.25	Parçadaki kertik veya çentikler.....	2.5
Dinamik dalgalı gerilme	2.17	Parçanın üretim biçimleri	2.6
Dinamik değişken gerilme	2.18	Parçanın yüzey özellikleri	2.5
Dinamik tam değişken gerilme	2.18	Periyod	2.16
Dinamometre	2.7, 2.9	Petersen	2.39
DM-Diyagramının yaklaşık kaba konstruksiyonu.....	2.23	Petersen'e göre çentik katsayısı	2.39
Duktilite	2.14	Poisson.....	2.12
Elastiklik modülü	2.8, 2.9, 2.10	Poisson modülü.....	2.13
Elastiklik sınırı.....	2.9	Poisson sayısı.....	2.12
Elde olan malzeme	2.6	Rochusch.....	2.30
Enine büzülme	2.12	Rühl.....	2.40
Enine Uzama.....	2.12	Sakin gerilme	2.16
Esneklik katsayısı	2.12	şekillenme mukavemeti	2.28
Ezilme sınırı	2.10	Siebel	2.37
Genlik gerilmesi.....	2.16	Siebel'e göre çentik katsayısı.....	2.37
		Smith.....	2.20
		Smith'e göre devamlı mukavemet	

diyagramı	2.21
Statik gerilme	2.16
Tam dalgalı dinamik gerilme	2.17
Tam dalgalı gerilme	2.17
Tam değişken gerilme	2.18
Thomas Young	2.10
Thum	2.35
Thum'a göre çentik katsayısı	2.35
Troost	2.40
Üst sınır gerilmesi	2.16
Üst sınır mukavemeti	2.16, 2.20
Uzama	2.11
Wöhler	2.16
Wöhler diyagramı	2.19
Yorulma mukavemeti	2.15
Young modülü	2.10
Yükleme sayısı	2.19
Yüzey pürüzlüğü kalitesi	2.29
Yüzey pürüzlüğü katsayısı b_1	2.28