

SERTLİK

Bir malzemenin ezilmeye, çizilmeye, aşınmaya ve kesilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Başka bir deyişle, cismin yüzeyinde yerel kalıcı şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olarak tanımlanabilir. Sertliği nicel olarak belirlemek için yıllar önce çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemlerin tümü cismin yüzeyine belli hız ve kuvvetle sert bir batıcı uç batırmayı esas alır. Meydana gelen izin derinliği ve büyüklüğü ölçülür ve bu değer cismin sertliğiyle ilişkilendirilir. Ölçülen sertlik mutlak bir değer olmaktan ziyade göreceli bir değerdir ve kullanılan yönteme bağlıdır. Dolayısıyla, ölçümler yorumlanırken kullanılan yöntem ve ortam şartları mutlaka dikkate alınmalıdır.

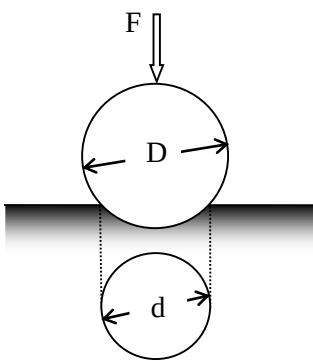
Sertlik Ölçme Yöntemleri

1. Batırma yoluyla sertlik ölçümü: Bu yöntemde ucu küresel veya piramit ya da küresel uçlu piramit biçiminde sondalar bir F kuvvetiyle cisim yüzeyine batırılır ve belli bir süre tutulduktan sonra kaldırılır. Batıcı ucun cismin yüzeyinde oluşturduğu iz ölçülerek iz yüzey alanı hesaplanır ve uygulanan kuvvet yüzey alanına bölünerek sertlik hesaplanır.

Sertlik değerleri kullanılan batıcı uca göre farklılık gösterir. Endüstri alanında günümüzde Brinell sertliği (H_B), Vickers sertliği (H_V) ve Rockwell sertliği (H_R) olmak üzere daha çok bu üç yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan standart uç Brinell'de küresel, Rockwell'de koni, Vickers'de ise piramit biçimindedir. Bunlardan Brinell sertlik yöntemi en yaygın olarak kullanılanıdır.

Brinell Sertlik Deneyi:

Brinell deneyinde standart küresel bir uç cismin yüzeyine belli bir süre F kuvvetiyle batırılır ve oluşan iz alanı ile uygulanan kuvvet arasındaki ilişki vasıtasıyla sertlik belirlenir. Oluşan iz çapı ışıklı bir mikroskop vasıtasıyla kuvvet kaldırıldıktan hemen sonra okunmalıdır. Standart deneylerde uygulanan kuvvet 187.5 kgf, kuvveti uyumla süresi 10 s ve kullanılan küresel uç çapı 2.5 mm dir. Sert malzemelerin sertliğini belirlemek için cisim yüzeyine daha büyük kuvvetler uygulamak gerekir.



$$H_B = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{İz alanı}} = \frac{F}{\frac{\pi D}{2} \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

Burada; F kuvvet, D küresel uç çapı, d oluşan iz çapıdır.

Ahşap için geçerli olmak üzere aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$H_B = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{İz alanı}} = \frac{F}{\pi \times D \times t}$$

Burada t iz derinliği (mm), D batıcı ucun çapı (mm) dir.

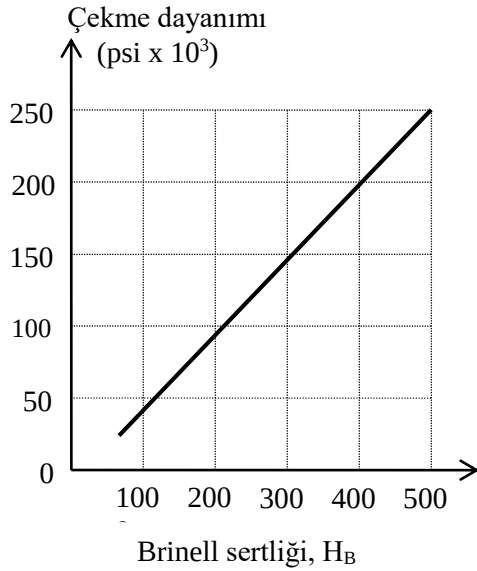
İz derinliği kuvvet kaldırıldıktan hemen sonra ölçülmelidir.

Brinell sertliği uygulanan kuvvetin şiddeti ve oluşan iz çapının bir fonksiyonudur. Brinell sertliği, uygulanan kuvvet küresel olarak meydana geldiği kabul edilen izin yüzey alanına bölerek belirlenir. Uygulanan kuvvet F (kgf), batıcı çelik uç çapı D (mm), ve oluşan izin çapı d (mm) ise Brinell sertliği (H_B) yukarıda verilen ilişki vasıtasıyla bulunur.

Deneyde kullanılan numune kalınlığı iz derinliğinin en az 10 katı kadar olmalı ve ölçüm yeri numune kenarından iz çapının en az 2.5 katı kadar içeride olmalı. Ayrıca numune yüzeyi boya, cila, pas gibi maddelerden temizlenmiş olmalı ve yüzeyi pürüzsüz olmalıdır.

Sertlikle çekme dayanımı arasındaki ilişki:

Dayanımı yüksek olan bir malzemenin sertliğinin de yüksek olması beklenir. Sadece çelikler için geçerli olmak üzere, çekme dayanımı ile sertlik arasında aşağıdaki bağıntı verilebilir.



Çoğu çelikler için geçerli olmak üzere, sertlik ile çekme dayanımı arasındaki ilişki:

$$\sigma_m = \alpha \times H_B \text{ [kgf/mm}^2\text{]}$$

$$\alpha \cong 0.30 - 0.40 \text{ (çelik için)}$$

H_B : Brinell sertliği, kgf/mm²

$$\sigma_m \text{ (psi)} = 500 \times H_B$$

$$\sigma_m \text{ (MPa)} = 3.45 \times H_B$$

$$\text{Yorulma limiti} = 0.5 \times \sigma_m$$

2. Çizme yoluyla sertlik ölçümü: En ilkel sertlik ölçme yöntemi MOHS yöntemidir. Bu yöntemde standart bir uçla oluşturulan çizimin genişliği ölçülerek değerlendirme yapılır. Daha çok Jeologlar tarafından kullanılan bir yöntemdir. Bunun için bazı minerallere No'lar verilerek bir cetvel hazırlanır. Sertliği ölçülecek kayaç bu minerallerle çizilerek cetveldeki yeri saptanır.

3. Sıçratma yoluyla sertlik ölçümü: Bu yöntemin diğer ismi de SHORE sertliğidir. Yöntemde sertlik, malzemenin yüzeyine belirli bir hızla çarptırılan bir cismin geri sıçrama miktarı ile ölçülür. Fazla hassas bir yöntem değildir.

Sertlik ölçümlerinin uygulama alanları:

- Benzer malzemeler sertlik değerine göre sınıflandırılabilir. Bununla beraber, sertlik değeri tasarım ya da analiz için doğrudan kullanılamaz.
- Sertlik ölçümleri malzeme veya ürün kalitesi kontrolü için kullanılabilir. Sertlik ölçümleri aynı zamanda uniformluk testleri için de kullanmak mümkündür.
- Sertlik ölçümleri kullanılarak cisimlerin diğer mekanik özellikleri tahmin edilebilir.

Sertliğin bilinmesinde aşağıdaki yararlar söz konusudur:

- i) Süneklik tahmini: Cisimlerin şekildeğiştirme yeteneği ile ilgili özellik belirlenir.
- ii) Mukavemet tahmini: Cisimlerin içyapısı ile ilgili özellik belirlenir.
- iii) Sertlik basit ve ucuz bir deneydir; çoğunlukla özel numune hazırlamayı gerektirmez.
- iv) Sertlik deneyi yıkımsız deneydir; numune ne kırılır ne de ciddi derecede hasar görür.
- v) Cisimlerin diğer mekanik özelliklerini kontrol ve tahmin etmede kullanılabilir.

Örnek: Bir çelik numune üzerine 2.5 mm çapında bir bilye ile 187.5 kgf kuvvet etkisinde meydana gelen izin çapı 1.2 mm olarak ölçülmüştür.

- a) Buna göre çeliğin Brinell sertliğini bulunuz.
- b) Çeliğin çekme dayanımını yaklaşık olarak hesaplayınız.

Çözüm:

- a) Brinell sertliği:

$$H_B = \frac{\text{Kuvvet}}{\text{İz alanı}} = \frac{F}{\frac{\pi D}{2} \times (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ [kgf/mm}^2\text{]} \text{ bağıntısı kullanılabilir.}$$

$$H_B = \frac{187.5}{\frac{2.5 \times \pi}{2} \times (2.5 - \sqrt{2.5^2 - 1.2^2})} = \frac{187.5}{1.205} = 155.60 \text{ kgf/mm}^2 \text{ bulunur.}$$

- b) Çekme dayanımı:

$$\sigma_m = \alpha \times H_B \text{ kgf/mm}^2 \quad \text{Burada } \alpha \cong 0.30 - 0.40 \text{ arasında değerler alır.}$$

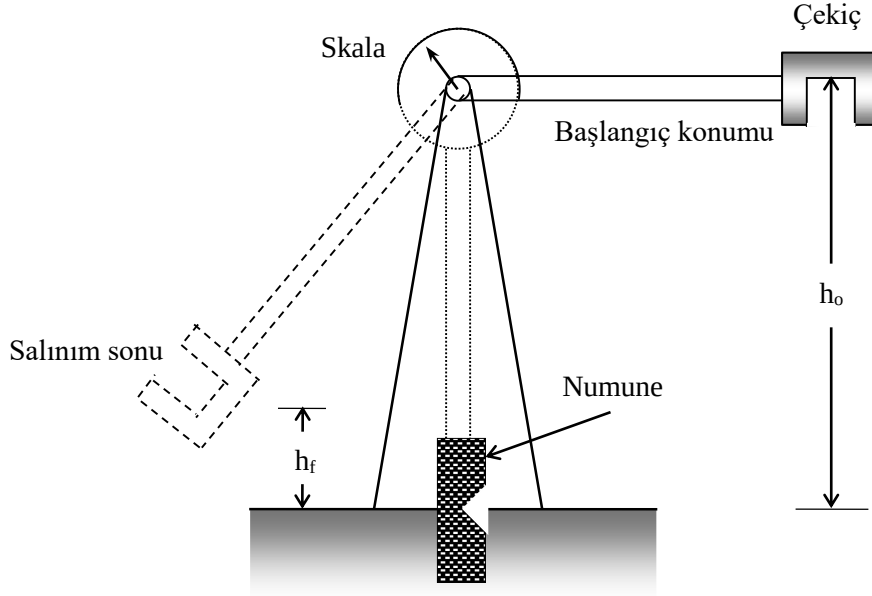
$\alpha = 0.35$ için çekme dayanımı

$$\sigma_m = \alpha \times H_B = 0.35 \times 155.60 = 54.46 \text{ kgf/mm}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

ÇARPMA DAYANIMI

Çarpma deneyi dinamik bir deney olup özel hazırlanmış bir numunenin tek bir vuruşla kırılması sonucu harcanan enerjiyi belirlemeyi esas alır. Çelikler için en yaygın olarak kullanılan darbe deneyi sarkaç prensibine dayanan Charpy deneyidir. Deneyde kullanılan örnekler çentikli veya çentiksiz olabilir. Açılan çentik V-şeklinde veya U-şeklinde olabilir.

Charpy aleti belli ağırlıkta bir sarkaç ile numunelerin tutturulduğu bir kısımdan oluşur. Deneyde h_0 yüksekliğinden bırakılan sarkaç yarım yay şeklinde bir yol izleyerek numuneye çarpar ve kırar ve daha sonra en düşük h_f yüksekliğine erişir. Sarkacın başlangıç ve son yükseklikleri bilindiğinde potansiyel enerji farkı hesaplanabilir. Bu fark numunenin kırılması sırasında ebsorbe edilen darbe enerjisidir. Malzemeyi kırmak için harcanan enerjinin kesit alanına bölünmesiyle elde edilen değer “darbe dayanımı” olarak bilinir. Bu, malzemenin tokluğu ile yakından ilişkilidir.



Çarpma dayanımı:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F \times (h_0 - h_f)}{A} \text{ kgf} \times \text{cm/cm}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Burada F sarkaç ağırlığı, A numune kesit alanıdır.

Çarpma ölçümleri nicel olmaktan ziyade niteldir ve tasarım amaçlı kullanılamaz. Bu nedenle darbe ölçümleri genellikle malzemeleri karşılaştırmak için ve onları kategorize etmek için kullanılır. Numune büyüklüğü ve şekli ile çentik biçimi ölçümleri etkileyen faktörlerdir. Ancak darbe dayanımına etkileyen faktörlerin başında sıcaklık gelir. Ancak bazı malzemeler sıcaklıktan daha az, bazıları daha fazla etkilenir. Çarpma hızı, cismin içyapısı ve cisimdeki gerilme durumu darbe dayanımına etkileyen diğer faktörlerdir.

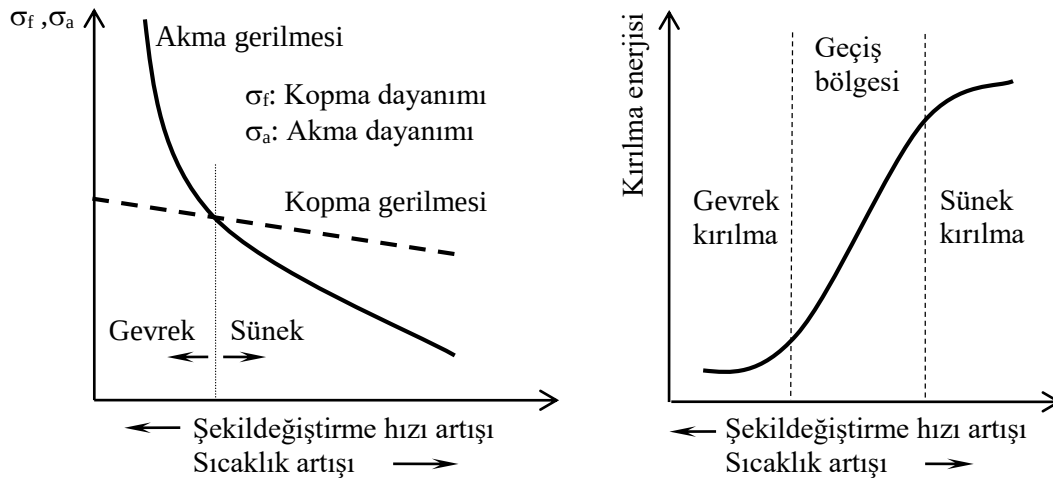
Gevrek-Sünek Geçişi:

Charpy deneyinden sıcaklık azalmasına bağlı olarak malzemenin sünek-gevrek geçiş gösterip göstermediği anlaşılabilir ve bu sıcaklık aralığı belirlenebilir. Yüksek sıcaklıklarda, cisim kopmadan önce fazla şekildeğiştirme yapar; sünek davranış gösterir. Düşük sıcaklıklarda, cisim gevrek davranır ve kopmadan önce çok az şekildeğiştirme yapar. Cisimlerin sünek davranıştan gevrek davranışa geçtiği bu sıcaklığa “geçiş sıcaklığı” denir. Geçiş sıcaklığı malzeme grubuna bağlı olarak değişir. Burada çıkarılacak sonuç, düşük sıcaklıklarda cisimlerin çarpmaya karşı hassaslaştığı ve küçük bir darbe sonucu kırılabileceği gerçeğidir.

Malzemenin gevrek mi sünek mi davrandığı (i) cismin atomik veya molekül yapısına, (ii) çevresel etkilere bağlıdır. Atomik yapının etkisi nitel olarak atomlararası bağların kayma dayanımı (τ_t) ve çekme dayanımı (σ_t) arasındaki ilişki yardımıyla açıklanabilir. Eğer çekme gerilmesinin (σ) çatlak dibinde meydana gelen kayma gerilmesine (τ) oranı çekme dayanımının atomlararası bağların kayma dayanımına oranından büyükse, çekmeye maruz bağlar önce kopar ve cisim “gevrek” tarzda kırılır. Diğer taraftan, eğer çekme gerilmesinin kayma gerilmesine oranı çekme dayanımının kayma dayanımına oranından küçükse, kırılma “sünek” tarzda gerçekleşir. Buna göre şu ilişkiler yazılabilir:

$$\frac{\sigma}{\tau} > \frac{\sigma_t}{\tau_t} \therefore \text{Gevrek kırılma} \quad \frac{\sigma}{\tau} < \frac{\sigma_t}{\tau_t} \therefore \text{Sünek kırılma}$$

Pek çok malzemenin gevrek olarak mı sünek olarak mı kırılacağı çevresel etkilere bağlıdır. Sıcaklık ve yükleme hızı cismin gevrek ya da sünek kırılmasını belirleyen en önemli faktörlerdir. Bu etkileşim aşağıdaki şekilden görülebilir.



Gevrek ve sünek kırılma yüzeyleri görünüm itibarıyla birbirinden farklıdır. Sünek kırılma yüzeyleri lifli bir doku gösterirken gevrek kırılma yüzeyleri taneli bir doku arz ederler. Sünek-gevrek geçiş bölgesinde her iki tip görünüm görülebilir. Darbe ölçümleri malzemenin akma sınırını ve çekme dayanımını belirleyici bir karakteristiği yoktur. Bu değerler daha ziyade karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılır ve malzemeleri çarpma dayanımları itibarıyla sıralamaya yarar.

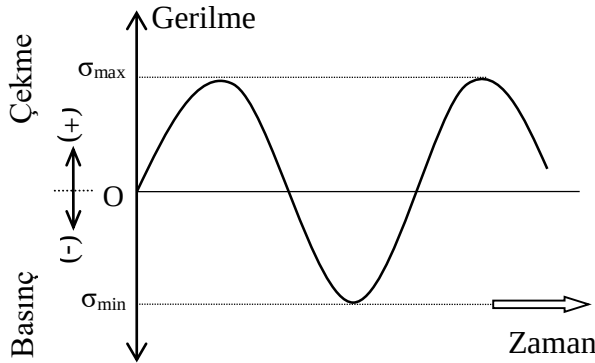
YORULMA

Cisimler çekme dayanımından daha küçük, hatta akma dayanımları altında tekrarlı gerilmelere maruz kalarak kopabilir veya kırılabilirler. Bu olaya “yorulma” denir. Yorulma sonucu oluşan kopma veya kırılma gevrek türdendir. Yorulma göçmesi sinsice ve haber vermeksizin aniden oluştuğu için pratikte çok önemlidir. Zira göçme anında oluşan plastik şekildeğiştirme ihmal edilebilir düzeydedir. Yorulma nedeniyle dayanım kaybını önlemek için uygulanan tekrarlı gerilmelerin yorulma dayanımı veya yorulma limiti diye bilinen karakteristiğın tamamen altında kalmalıdır.

Tekrarlı Gerilmeler

Cisimler yalnızca değişken eksenel çekme ya da basınç kuvvetleri etkisine kalabilir. Değişken yükleme sinüzoidal türden olabilir. Bu durumda cisim aynı değerde ancak zıt işarette tekrarlı kuvvetlere maruz kalır. Yani, kuvvet maksimum bir çekme gerilmesinden ($\sigma_{\max}$) minimum bir basınç gerilmesi ($\sigma_{\min}$) arasında değişir. Bu yükleme “alternatif yükleme” olarak bilinir. Maksimum ve minimum gerilmelerin simetrik olmadığı yükleme tipine “periyodik yükleme” adı verilmektedir. Gerilmenin frekans ve genlik itibarıyla gelişigüzel değiştiği bir başka yükleme tipi de tanımlamak mümkündür.

Alternatif yükleme:

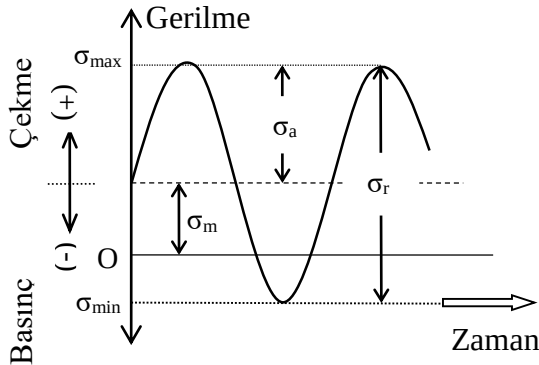


Alternatif yüklemede ortalama gerilme (σ_m)

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \text{ olur.}$$

$$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min}$$

Periyodik yükleme:



$$\text{Gerilme aralığı: } \sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$$

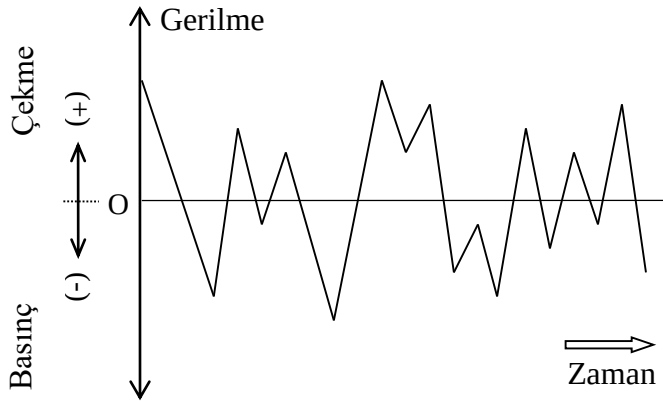
Ortalama gerilme genliği:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

$$\text{Gerilme oranı: } R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

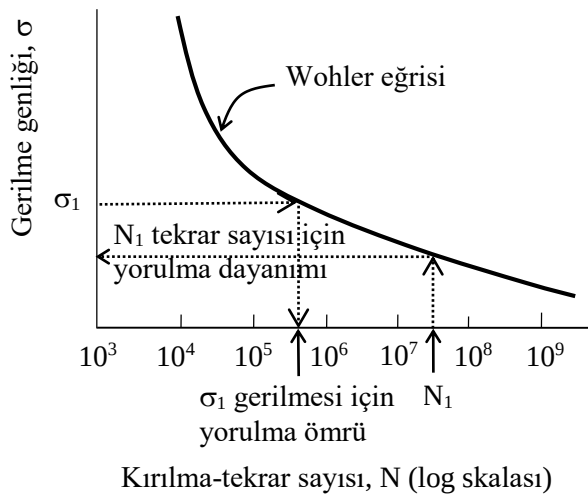
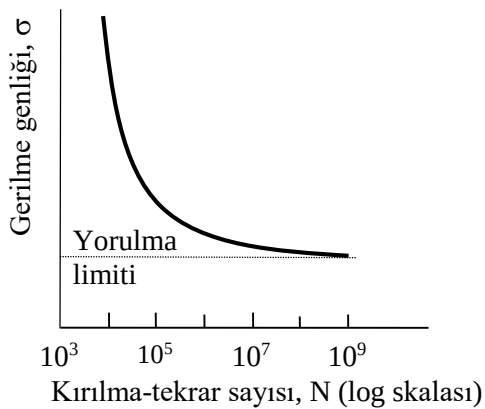
Alternatif yüklemede
 $R = -1$ dir.

Gelişigüzel yükleme:



Yorulma Dayanımının Belirlenmesi

Bir cismin yorulma dayanımını belirlemek için çeşitli gerilme (σ) değerleri için alternatif yüklemede kırılma-tekrar sayısı belirlenir. Başlangıçta genellikle malzemenin statik çekme dayanımının üçte ikisine eşit bir gerilme değeriyle yükleme yapılır. Bundan sonraki yüklemelerde gerilme gitgide küçültülür. Her bir yüklemelerde kırılma-tekrar sayısı belirlenir ve bu değerler bir diyagrama işlenir. Bu şekilde aynı malzemeden hazırlanan numuneler için farklı gerilme değerlerine karşılık gelen kırılma-tekrar sayısını veren ilişki belirlenmiş olur. Diyagramda tekrar sayısı arttıkça malzemenin taşıyabileceği gerilmenin azaldığı görülür. Bu azalış bazı malzemeler için belli bir değerden sonra yatay bir doğruya asimptot olduğu görülür. Bu değer yorulma limiti veya yorulma dayanımı (σ_y) olarak bilinir. Başka bir deyişle, belli bir kırılma-tekrar sayısından sonra malzemenin kırıldığı veya koptuğu gerilme değeri yorulma dayanımı olarak belirlenir. Alternatif yüklemede uygulanan gerilme bu değeri aşmadığı sürece yorulma nedeniyle kırılma olmadığı kabul edilir. Aksi belirtilmedikçe, yorulma limiti dendiğinde alternatif yüklemede yorulma anlaşılmalıdır.



Yukarıdaki grafiklerden görüldüğü üzere iki tip σ -N eğrisi gözlemlenir. Eğrilerden görüldüğü gibi büyük gerilme değerleri için kırılmaya neden olan tekrar sayısı küçülür. Bazı demirli alaşımlar için σ -N eğrisi büyük N değerleri için yatay olur veya “yorulma limiti” diye bilinen ve bu değer altında yorulma göçmesinin meydana gelmediği bir limit gerilme düzeyi vardır. Yorulma limiti, sonsuz kırılma-tekrar sayısı için göçmeye sebebiyet vermeyen en büyük gerilme değerini temsil etmektedir. Pek çok çelik için, yorulma limiti çekme dayanımının %35 ila %60'ı arasında değerler alır.

Bazı demirsiz alaşımların σ -N eğrilerinde asimptot görülmez; yani, yorulma limitleri bulunmaz. N arttıkça σ -N eğrisi hızla azalır. Böylece gerilmenin büyüklüğünden bağımsız olarak eninde sonunda yorulma göçmesi oluşur. Bu tür malzemelerde 10^6 ya da 10^7 tekrar sayısına karşılık gelen gerilme yorulma dayanımı (σ_y) olarak alınır.

Malzemelerin yorulma davranışını karakterize eden diğer bir önemli parametre “yorulma ömrü, N_f ” dır. Yorulma ömrü, σ -N eğrisinde göçmeye neden olan belli bir gerilmeye karşılık gelen kırılma-tekrar sayısıdır.

Yorulma ömrüne etkileyen faktörler

Mühendislik malzemelerinin yorulma davranışı açısından önemli derecede etkili olan birkaç faktör vardır. Bu faktörler arasında en önemlileri aşağıda verilmektedir:

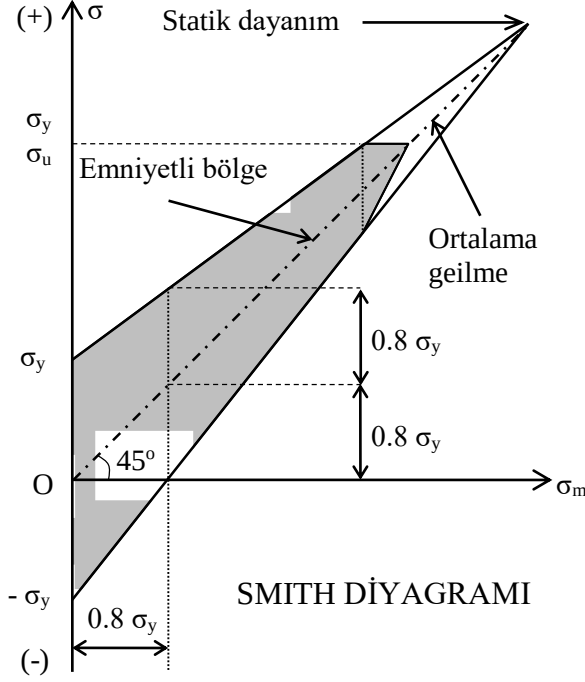
- i) Yüzeysel kusurlar; örneğin çatlak, çizik, kaynak, pas, perçin gibi kusurlar.
- ii) Yüzey pürüzlülükleri.
- iii) Üretim sırasında malzeme yüzeyinde meydana gelen kalıcı gerilmeler.
- iv) İçyapı kusurları.
- v) Ortam şartları; örneğin, sıcaklık gibi.
- vi) Çevrenin kimyasal etkisi; örneğin, korozyon gibi.

Yorulma ömrünün gerilme genliğine bağımlılığı σ -N eğrinden gözlemlenebilir. Bahse konu eğriden görüleceği üzere, ortalama gerilme düzeyi arttıkça yorulma ömrü kısalmaktadır. Yorulma dayanımı içyapı ile olduğu kadar malzeme yüzeyinde bulunan çeşitli çatlak, çizik, çentik gibi kusurlar önemli derece gerilme yığılmalarına neden olur ve malzemenin göçmesini tetikler. Örneğin, çatlak büyüdükçe yük alan kesit sürekli azalır ve kesit yükü taşıyamayacak kadar küçülünce cisim kırılır. Kırılma gevrek olup aniden gerçekleşir.

Kırılma kesitinde, çatlağın başladığı yorulma odağı ile onu çevreleyen aynı merkezli eğriler ve bunların devamında taneli bir bölge görülür. Çatlak yavaşça ilerlerken karşılıklı yüzeyler birbirine sürtünerek parlak görünüm oluşur. Çatlak ilerleyip kesit yükü taşıyamaz hale gelince aniden kopar ve kesitte taneli bir görünüm ortaya çıkar.

GOODMAN DİYAGRAMI

Goodman diyagramı maksimum ve minimum gerilmelerin ortalama gerilmeye bağlı olarak değişimini yansıtır. Başka bir deyişle $\sigma_{\max}$ ve $\sigma_{\min}$ değerlerinin σ_m ile değişimini gösteren sürekli mukavemet eğrisi “Goodman Diyagramı” olarak bilinir. Herhangi bir periyodik yükleme halinde alt ve üst gerilme değerlerini belirleyen noktaların Goodman Diyagramı içinde kalması halinde malzeme yorulma nedeniyle geçmez.



σ_y alternatif yüklemelerde yorulma dayanımı; σ_a ve σ_e sırasıyla akma ve elastik dayanımları ve σ_m ortalama dayanımı göstermektedir.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

Alt ve üst sınır eğrileri:

$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \sigma_m + \sigma_y$$

$$\sigma_{\text{alt}} = 1.25 \sigma_m - \sigma_y$$

Göçme olmaması için kriterler:

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{üst}} \quad \text{ve} \quad \sigma_{\min} > \sigma_{\text{alt}}$$

Cismin göçmesi için $\sigma_{\max}$ veya $\sigma_{\min}$ değerlerinden herhangi birisinin emniyetli bölge dışında kalması yeterlidir.

Malzemeyi üst sınıra kadar yüklemek en küçük ve dolayısıyla en ekonomik kesiti verir. Bu nedenle sağlanması gereken koşullar

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{üst}}$$

$$\sigma_{\min} \geq \sigma_{\text{alt}} \quad \text{olmalıdır.}$$

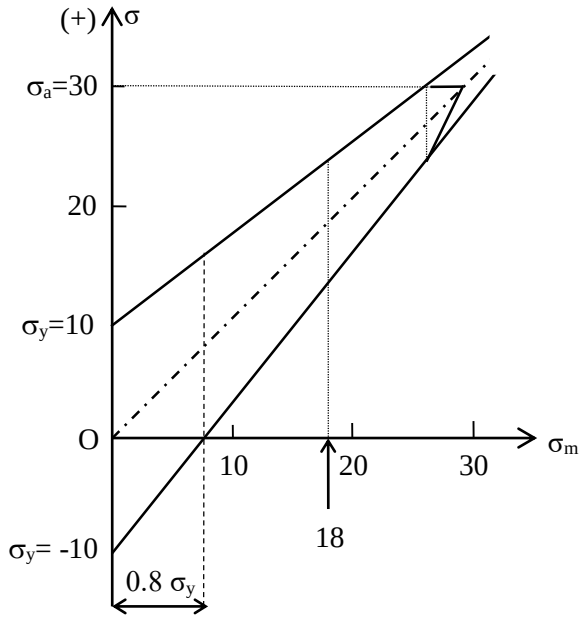
Böylece,

$$k = \frac{\sigma_{\text{üst}}}{\sigma_{\text{alt}}} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} = \frac{F_{\max}/A}{F_{\min}/A} = \frac{F_{\max}}{F_{\min}}$$

$$k = \frac{0.75 \sigma_m + \sigma_y}{1.25 \sigma_m - \sigma_y}$$

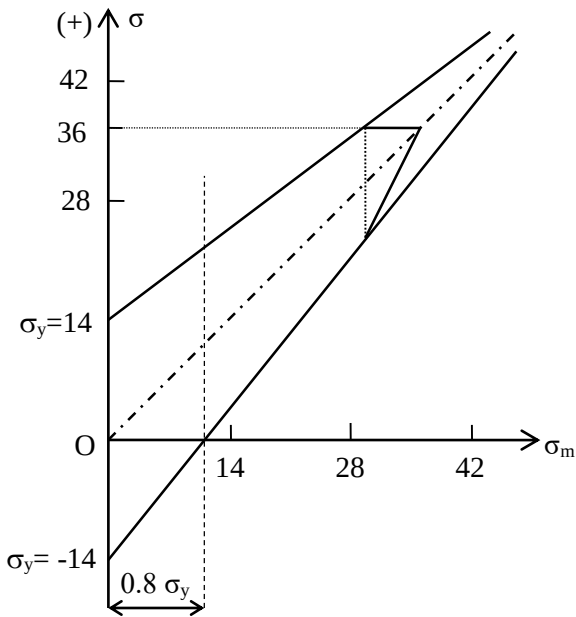
$$\sigma_m = \frac{\sigma_y \times (1+k)}{1.25 \times k - 0.75} \quad \text{olur.}$$

Örnek: Bir çeliğin akma sınırı 30 kgf/mm^2 , alternatif yorulma mukavemeti 10 kgf/mm^2 dir. Bu çelikten üretilmiş bir eleman 24 kgf/mm^2 çekme ve 12 kgf/mm^2 çekme gerilmeleri etkisinde yorulma nedeniyle kopar mı?



Dolayısıyla, çelik eleman kopar.

Örnek: Bir metalin akma dayanımı 36 kgf/mm^2 , yorulma dayanımı 14 kgf/mm^2 olarak belirlenmiştir. Bu metalden yapılmış 1 cm^2 kesit alanına sahip bir piston koluna etkiyen kuvvet 1.5 ton çekme ve 900 kgf çekme arasında değişmektedir. Piston kolu bu yükleme etkisinde yorulma nedeniyle kopar mı?



Yükleme emniyetli bölge içindir.
Dolayısıyla, kopma olmaz.

Örnek: Bir plastiğin çekme dayanımı 100 kgf/cm², yorulma dayanımı 65 kgf/cm² dir. Bu plastikten yapılmış bir makine parçasını 1000 kgf çekme ve 500 kgf basınç kuvvetleri etkisinde yorulmaya karşı 2 kat emniyetle boyutlandırınız. Çözüm için Smith diyagramı mantığı geçerlidir.

Çözüm:

Minimum kesit alanı için $\sigma_{\max} = \sigma_{\text{üst}}$ koşulu sağlanmalıdır. Buna göre,

$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \sigma_m + \sigma_y \quad \sigma_y = 65 \text{ kgf/mm}^2 \quad k = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \frac{1000}{-500} = -2$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_y \times (1+k)}{1.25 \times k - 0.75} = \frac{65 \times (1-2)}{1.25 \times (-2) - 0.75} = \frac{-65}{-3.25} = 20 \text{ kgf/cm}^2 \text{ olur.}$$

$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \times 20 + 65 = 80 \text{ kgf/cm}^2 \quad \sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma_{\text{üst}}}{n} = \frac{80}{2} = 40 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A = \frac{F_{\max}}{\sigma_{\text{em}}} = \frac{1000}{40} = 25 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Örnek: 100 mm² kesitinde bir metalden yapılmış pistonu 3000 kgf çekme ve 1000 kgf çekme kuvvetleri periyodik olarak etkimektedir. Metalin akma sınırı, çekme dayanımı ve yorulma dayanımı sırasıyla 45 kgf/mm², 60 kgf/mm² ve 20 kgf/mm² dir.

- Bu yükleme etkisinde piston kırılır mı?
- Bu yüklemeyi göçme olmaksızın taşıyabilmesi için pistonun minimum kesit alanını hesaplayınız.

Çözüm:

$$a) \quad \sigma_{\max} = \frac{3000}{100} = 30 \text{ kgf/mm}^2 \quad \sigma_{\min} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{30 + 10}{2} = 20 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \sigma_m + \sigma_y = 0.75 \times 20 + 20 = 35 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{alt}} = 1.25 \sigma_m - \sigma_y = 1.25 \times 20 - 20 = 5 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\max} = 30 < \sigma_{\text{üst}} = 35$$

$$\sigma_{\min} = 10 > \sigma_{\text{alt}} = 5$$

Yorulma nedeniyle göçme meydana gelmez.

- $\sigma_{\text{üst}} > \sigma_{\max}$ olduğu için yükleme daha küçük kesitli bir pistonu taşıtırılabilir.

$$k = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \frac{3000}{1000} = 3 \quad \sigma_m = \frac{20 \times (1+3)}{1.25 \times 3 - 0.75} = \frac{80}{3} = 26.67 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \sigma_m + \sigma_y = 0.75 \times 26.67 + 20 = 40 \text{ kgf/mm}^2 \quad \sigma_{\text{alt}} = 13.34 \text{ kgf/mm}^2$$

$$A = \frac{F_{\max}}{\sigma_{\text{üst}}} = \frac{3000}{40} = 75 \text{ mm}^2 \quad A = 75 \text{ mm}^2 (A=75 \text{ mm}^2 < 100 \text{ mm}^2)$$

Örnek: Bir çelik köprü elemanı 1800 kgf basınç ile 5400 kgf çekme arasında değişen kuvvetlere maruzdur. Bu elemanı bu yüklemeyi 2 kat emniyetle taşıyacak şekilde boyutlandırın. Çeliğin akma sınırı 24 kgf/mm², çekme dayanımı 42 kgf/mm² ve alternatif yorulma dayanımı 15 kgf/mm² dir.

Çözüm:

$$k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \frac{5400}{-1800} = -3$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_y \times (1+k)}{1.25 \times k - 0.75}$$

$$\sigma_m = \frac{15 \times (1-3)}{1.25 \times (-3) - 0.75} = \frac{-30}{-4.5} = 6.67 \text{ kgf/mm}^2$$

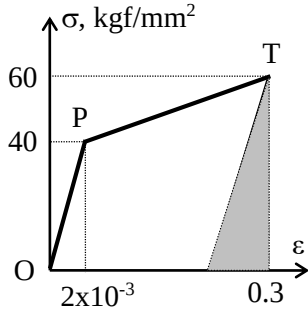
$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \times 6.67 + 15 = 20 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{alt}} = 1.25 \times 6.67 - 15 = -6.67 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{em}} = \frac{\sigma_{\text{üst}}}{n} = \frac{20}{2} = 10 \text{ kgf/mm}^2$$

$$A = \frac{F_{\max}}{\sigma_{\text{em}}} = \frac{5400}{10} = 540 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Örnek: 100 cm uzunluğunda bir metal çubuğun (σ - ϵ) diyagramı şekildeki gibidir.



12 ton çekme, 6 ton basınç periyodik yüklemesi altında yorulma nedeniyle kopmayacak şekilde bu metalden imal edilmiş bir elemanın kesit alanını hesaplayınız. Metalin yorulma dayanımı 13 kgf/mm² dir.

Çözüm:

Minimum kesit için $\sigma_{\max} = \sigma_{\text{üst}}$ ve $\sigma_{\min} \geq \sigma_{\text{alt}}$ aranan koşuldur.

$$k = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\min}} = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \frac{12000}{-6000} = -2$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_y \times (1+k)}{1.25 \times k - 0.75} = \frac{13 \times (1-2)}{1.25 \times (-2) - 0.75} = 4 \text{ kgf/mm}^2$$

$$\sigma_{\text{üst}} = 0.75 \times \sigma_{\text{ort}} + \sigma_y = 0.75 \times 4 + 13 = 16 \text{ kgf/mm}^2$$

$$A = \frac{F_{\max}}{\sigma_{\text{üst}}} = \frac{12000}{16} = 750 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$