TERMAL ŞOK

- **Gevrek malzemelerin termal şoku**
- Sünek metaller ve polimerler için, ısının neden olduğu gerilmelerin azaltılması plastik deformasyon yolu ile gerçekleştirilebilir.
- Bununla birlikte, sünek olmayan seramiklerin bu gerilmelerle gevrek kırılma olasılığı artar.
- Isıtmadan ziyade hızlı soğutulan gevrek bir parçanın termal şoka uğraması daha büyük bir ihtimaldir. Çünkü yüzeyde çekme gerilmeleri oluşur.
- Bu tür bir hasara malzemenin dayanma kapasitesi, **termal şok direnci** olarak adlandırılır.

Termal şok davranışı, şu faktörlere bağlıdır.

1- Termal genleşme katsayısı; Termal genleşme katsayısının küçük olması boyut değişimini azaltır. Bu da termal şok dayanımını artırır.

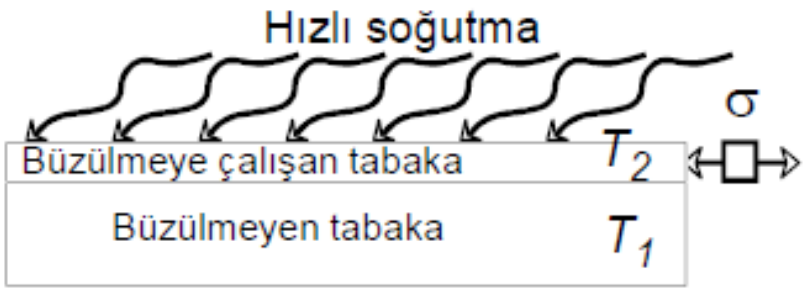
2- Termal iletkenlik; Termal iletkenliğin büyük olması termal şok direncini artırır. Çünkü, yüksek ısıl iletkenlik ısının her tarafa hızlı bir şekilde dağılımını sağlar. Böylece malzeme içerisinde bölgesel sıcaklık farklılıkları azalır, yani sıcaklık gradyantının büyüklüğü azalır.

3- Elastik modül; Düşük elastik modül, kırılmayı gerektirecek kritik gerilme seviyesine erişmezden evvel büyük oranda şekil değişimini sağlar.

4- Kırılma gerilmesi; kırılma için gereken yüksek gerilme, büyük miktarda şekil değişimini sağlar.

5- Faz dönüşümü; Boyutsal değişimin diğer bir sebebi de faz dönüşümleridir. Mesela; silikanın (SiO_2) polimorfik dönüşümlerinde (Kuvarz-Tridimit-Kristobalit) termal şok sebebiyle oluşan kalıntı gerilmeler problem oluşturur. Silika tuğlalarla astarlanmış fırınların astarlarında çatlayıp dökülmeler/ufalanmalar meydana gelir.

Aşağıdaki malzeme yüzeyinin T_1 sıcaklığında iken aniden T_2 sıcaklığına soğutulduğunu düşünelim.



Yüzeyde gerilmeler oluşur

$$\sigma = -E\alpha_\ell (T_1 - T_2)$$

$\sigma_f =$ Kırılma gerilmesi

$k =$ Termal iletkenlik

$E =$ Elastik modül

$\alpha_\ell =$ Termal genleşme katsayısı

Soğuma ile oluşan sıcaklık farkı:

$$(T_1 - T_2) = \frac{\text{Soğutma hızı}}{k}$$

Hasar için kritik sıcaklık farkı ($\sigma = \sigma_f$)

$$(T_1 - T_2)_{\text{fracture}} = \frac{\sigma_f}{E\alpha_\ell}$$

eşitlenirse

$$(\text{soğutma hızı})_{\text{hasar için}} = \text{Isı şoku direnci} \propto \frac{\sigma_f k}{E\alpha_\ell}$$

$\frac{\sigma_f k}{E\alpha_\ell}$ Değerinin büyümesi yüksek ısı şoku direnci anlamına gelir.

Termal şok;

- Soğutma veya ısıtma hızlarının azaltılarak,
- Sıcaklık gradyanı minimize edilerek önlenebilir.

•Bir malzemenin termal şok direnci, denklemdeki termal ve/veya mekanik özelliklerin modifiye edilmesiyle artırabilir.

•Bu parametrelerden muhtemelen en kolay değiştirilebilir ve kontrol edilir olanı, ısıl genleşme katsayısıdır. Camın CaO and Na_2O içeriği azaltılır ve borsilikat oluşturacak miktarda B_2O_3

•(Pyrex) ilave edilirse genleşme katsayısı yaklaşık $9x0^{-6}$ dan $3x10^{-6}$ $(C)^{-1}$ e düşecektir. Bu da camı mutfak fırınında kullanmak için uygun hale getirecektir.

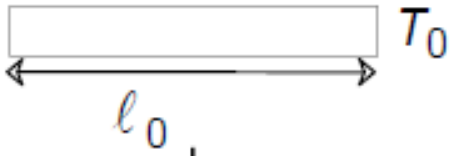
•Yapıda geniş gözenekler veya sünek bir ikinci fazın bulunması malzemenin termal şok özelliklerini geliştirir. Her ikisi de ısının neden olduğu çatlakların yayılmasını engeller.

•Seramik malzemelerin mekanik dayanımı ve optik özellikleri geliştirmek için kalıntı gerilmeleri gidermek önemlidir. Bu da ısıl işlemle gerçekleştirilebilir.

PROBLEM

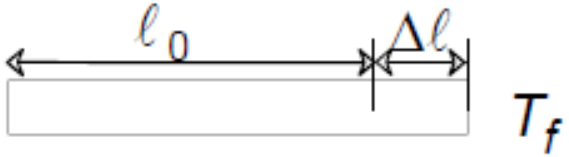
-- Bir pirinç metal çubuk oda sıcaklığında (20°C) bulunmaktadır.
-- Bu numune ısıtılmaya başlanmış fakat, boy uzaması engellenmiştir.
-- Kaç derece sıcaklıkta malzemedeki gerilme değeri -172 MPa olur?

Cevap:



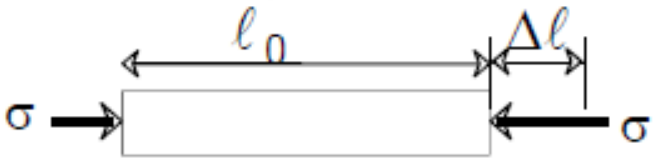
Normal durum

Adım1: Kısıtlanmamış durumu düşünelim:

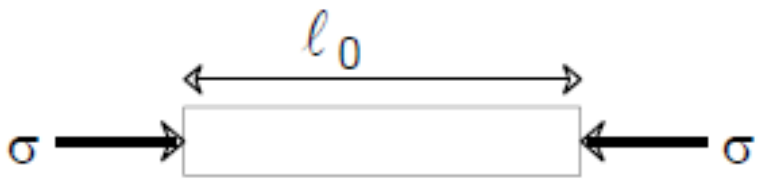


$$\frac{\Delta\ell}{\ell_{oda}} = \varepsilon_{ısıl} = \alpha_\ell (T_f - T_0)$$

Adım2: Eski haline döndürmek için basınç uygulayın.



$$\varepsilon_{bas} = \frac{-\Delta\ell}{\ell_{oda}} = -\varepsilon_{ısıl}$$



Isıl gerilme aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$\sigma = E(\varepsilon_{\text{bas}})$$

$\varepsilon_{\text{basınç}} = -\varepsilon_{\text{ısıl}}$ olduğuna göre:

$$\sigma = -E(\varepsilon_{\text{ısıl}}) = -E\alpha_\ell(T_f - T_0) = E\alpha_\ell(T_0 - T_f)$$

T_f çekilirse:

20°C

-172 MPa (basınç)

$$T_f = T_0 - \frac{\sigma}{E\alpha_\ell}$$

100 GPa

20 x 10^{-6}/°C

Cevap: 106°C

PROBLEM

Soru: 15 metre uzunluğundaki bir bakır tel 40 ºC den -9ºC dereceye soğutulmuştur. Boy değişimi nekadar olur?

- Cevap: Cu için $\alpha_\ell = 16.5 \times 10^{-6}\ (^\circ C)^{-1}$

$$\Delta\ell = \alpha_\ell \ell_0 \Delta T = [16.5 \times 10^{-6} (1/^\circ C)](15\,m)[40^\circ C - (-9^\circ C)]$$

$$\boxed{\Delta\ell = 0.012\,m = 12\,mm}$$

Mühendislik birim uzama

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l - l_o}{l_o} = \frac{l}{l_o} - 1 \qquad \frac{l}{l_o} = \varepsilon + 1$$

Mühendislik Gerilme

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Gerçek birim uzama

$$d\varepsilon_g = \frac{dl}{l}, \quad \varepsilon_g = \int_{l_o}^{l} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_o}, \quad \varepsilon_g = \ln(\varepsilon + 1)$$

Gerçek gerilme

$$\sigma_g = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot l}{A_o \cdot l_o} = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$$

Hacim sabitliği

$$A_o \cdot l_o = A \cdot l \Rightarrow A = A_o \cdot \frac{l_o}{l}$$

Gerçek gerilme (σ_g), numunenin maruz kaldığı yük (P) değerinin numunenin o andaki kesit alanına (A) bölünmesiyle elde edilen değerdir.

$\sigma_g = P / A$ Mühendislik birim şekil değişiminde, $e = (L - L_o / L_o)$

$\mathbf{e} = (L / L_o - 1)$ Hacim değişmeyeceğinden,

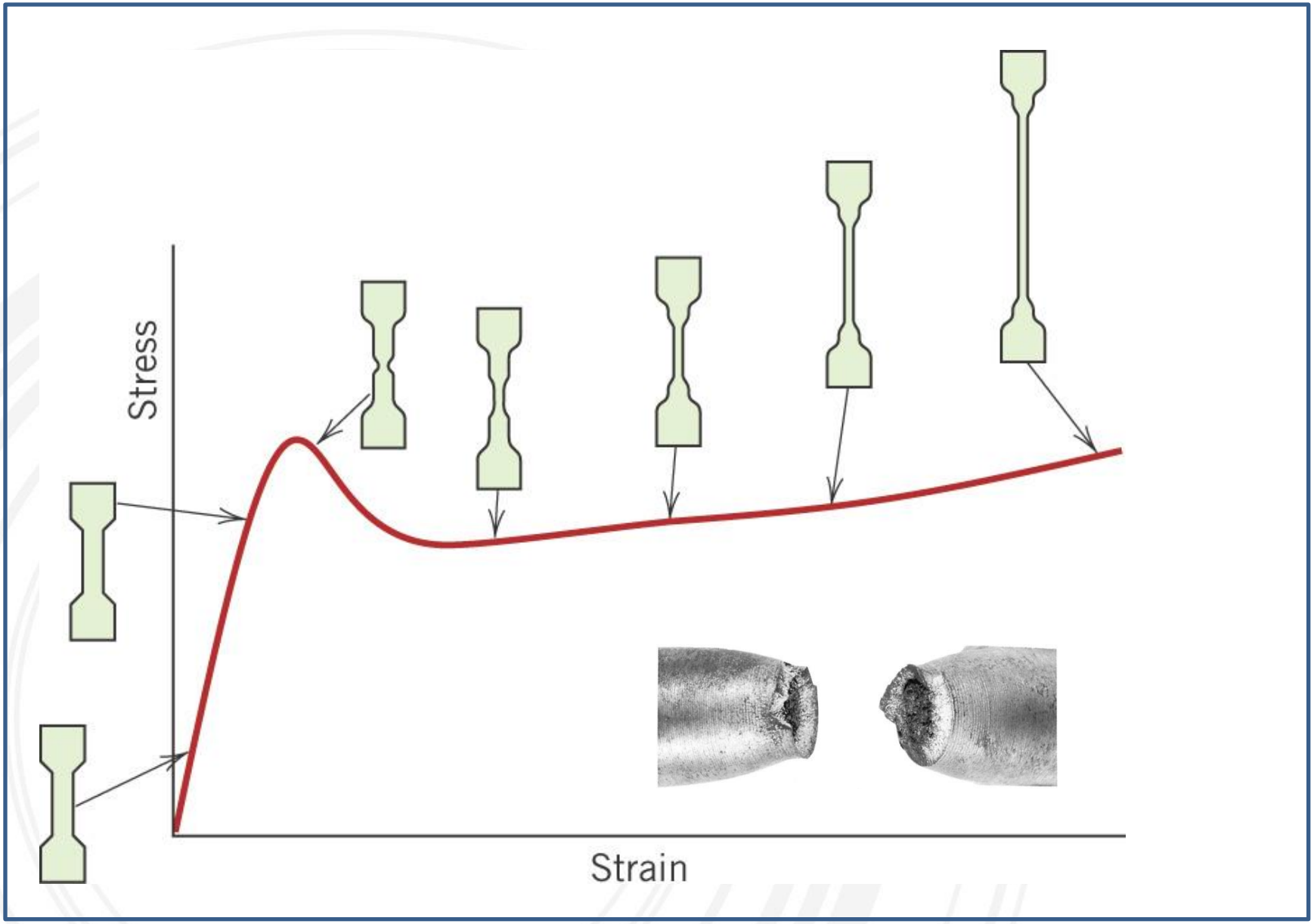
$A_o L_o = A L$ $A_o = A\, L / L_o$ ise, $A_o = A\,(1 + \mathbf{e})$ ve $A = A_o / (1 + e)$ olur.

Gerçek gerilme (σ_g) tanımında, $\sigma_g = P / A$ ve $A = A_o / (1 + e)$ idi.

$\sigma_g = (P / A_o)\,(1 + e)$ olarak, $\sigma_g = \sigma_m\,(1 + e)$ 'ye eşit olur.

Gerçek birim şekil değişimi ise;

$\varepsilon = \int_{L_o}^{L} dL/L = \ln (L / L_o)$ olur. *Yerine koyarsak* $\varepsilon = \ln (1 + \mathbf{e})$ olur.



http://www.wiley.com/college/callister/0470125373/vmse/strstr.htm

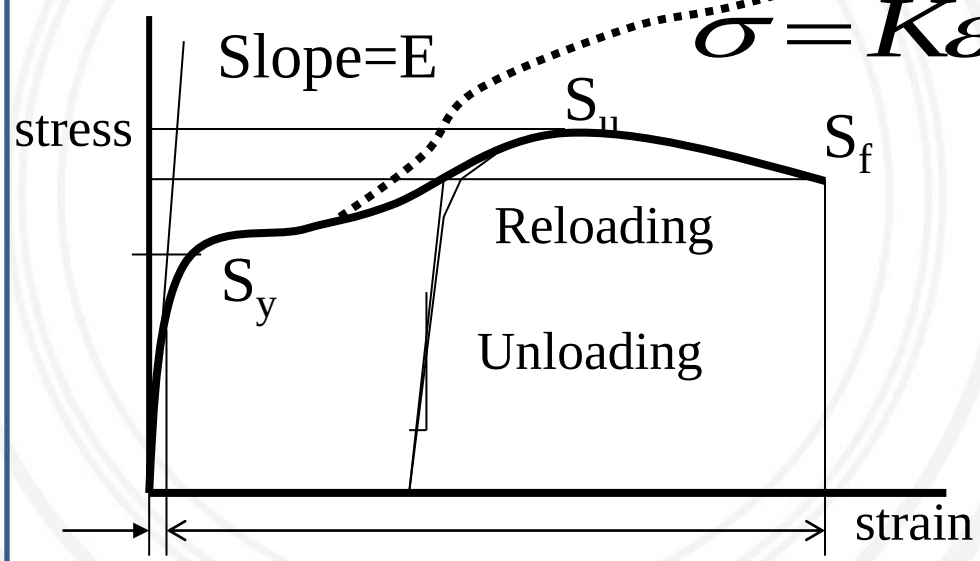
Stress and Strain Diagram

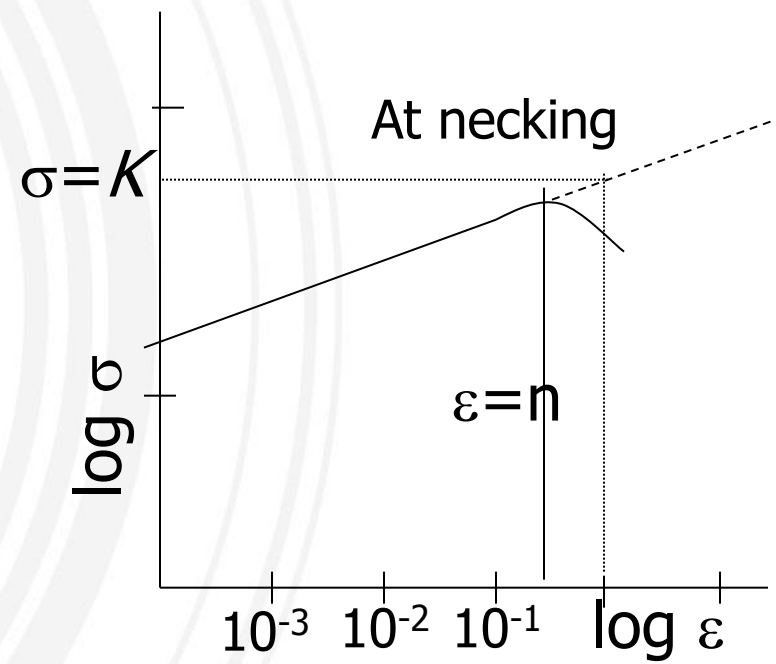
- **Engineering Stress & Strain**
  - Original Area, A_o
- **True Stress and Strain**
  - Instantaneous Current Area, A

$$\sigma_e = \frac{F}{A_o},\ e = \frac{\delta}{L_o}$$

$$\sigma = \frac{F}{A},\ \varepsilon = \ln\frac{L_0}{L}$$

$$\sigma = K\varepsilon^n$$





UYGULAMALAR

Soru : 15 mm yarıçapındaki alüminyum alaşımından deney numunesinin başlangıç ölçü boyu 50 mm'dir. 500 kg yük uygulandığında boyda 0,0025 mm uzama oluyor. Numunedeki gerilme ve birim şekil değişimini bulunuz.

Gerilme, $\sigma = F/A_o$

%Uzama, $e = \Delta\ell/\ell_o$

Soru : 15 mm yarıçapındaki alüminyum alaşımından deney numunesinin başlangıç ölçü boyu 50 mm'dir. 500 kg yük uygulandığında boyda 0,0025 mm uzama oluyor. Numunedeki gerilme ve birim şekil değişimini bulunuz.

Gerilme, $\sigma = F/A_o$ %Uzama, $e = \Delta\ell/\ell_o$

$\sigma = 500.9,8/\pi r^2$

$\sigma = 500.9,8/3,14(0,015m)^2$

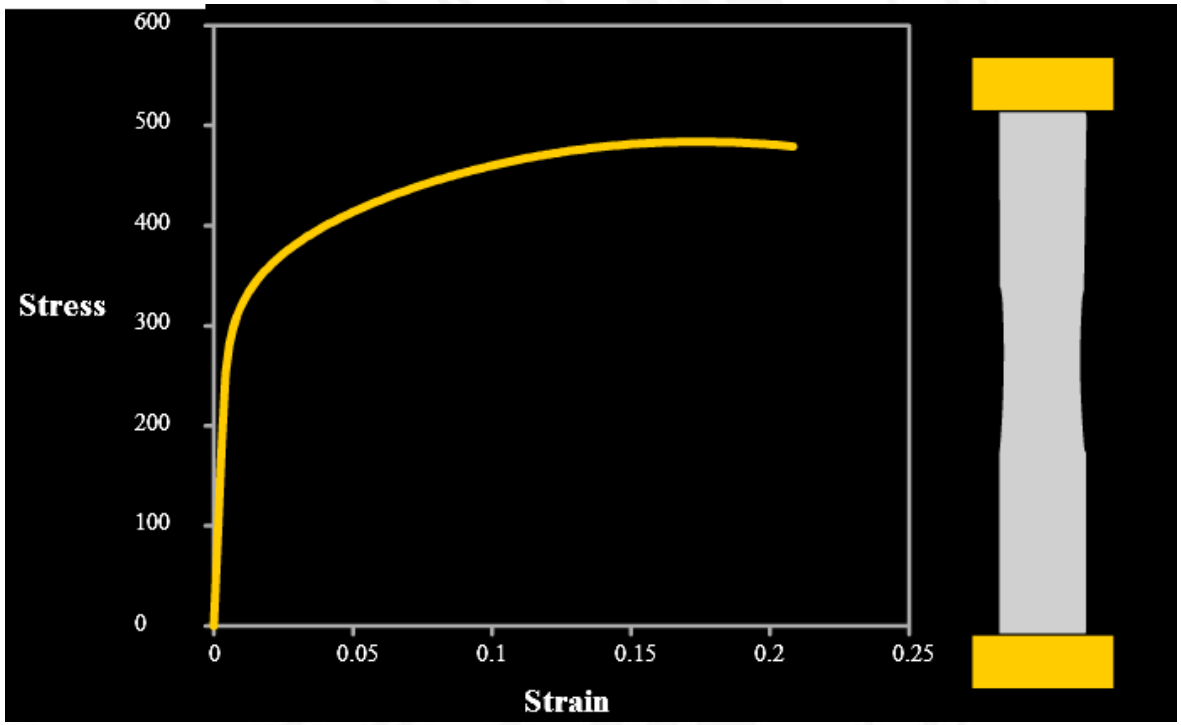
$\sigma = 68417$ Pa

$\sigma = 0,068$ Mpa

% e = 0,0025/50

% e = % 0,005 olur.

- **Soru**: Alüminyum alaşımından 3810 mm uzunluğundaki içi dolu bir çubuğa 20424 kg yük uygulanmaktadır. Çubuğun akma dayanımı 172 MPa, elastik modülü ise 70 GPa'dır. Max yük uygulandığında çubuktaki elastik deformasyon (esneme) 6,35 mm den daha fazla olmamalıdır. Bu çubuğun çapı ne olmalıdır.



- e= $\Delta\ell/\ell_o$ = 6,35/3810 = 0,00167 olur.
- E= 70 GPa ise Bu şekil değişimi sağlayacak gerilme σ= E. e =?
- σ= 70000 MPa x 0,00167= 117 MPa eder. Bu 172 MPa dan küçük olduğundan plastik deformasyon olmaz. O zaman;
- $\sigma = F/A_o$; $A_o = \sigma/F$ den A_o = (20424 x 9,8 N)/(117 N/mm^2)
- A_o = 1710 mm^2 olur. Bu alanı veren çap ise;
- $A_o = \pi d^2/4$; $d= (4. A_o / \pi)^{1/2}$ d= 47 mm (en az) yarıçapında olmalıdır.

- **Soru** : 15 mm yarıçapındaki alüminyum alaşımından deney numunesinin başlangıç ölçü boyu 50 mm’dir. Çekme sonunda kırıldığı andaki boyu 55 mm, çapı ise 12 mm oluyor ise çekmede %uzama ve % kesit daralmasını bulunuz.

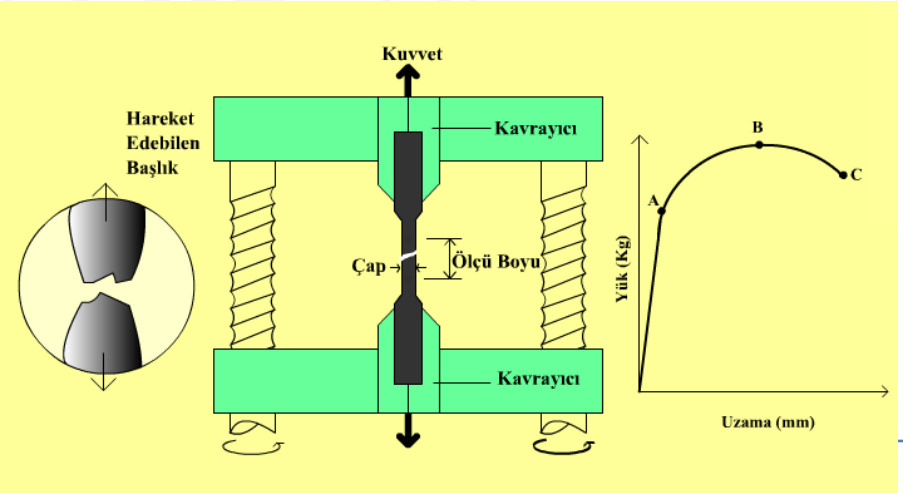
- **Soru** : 15 mm çapındaki alüminyum alaşımından deney numunesinin başlangıç ölçü boyu 50 mm'dir. Çekme sonunda kırıldığı andaki boyu 55 mm, çapı ise 12 mm oluyor ise çekmede %uzama ve % kesit daralmasını bulunuz.

- %e $=\Delta\ell/\ell_0$ = 5/50 = % 10 olur.
- %Kesit daralması = $\Delta A / A_o$
- = $[(\pi /4)(15)^2 - (\pi /4)(12)^2]/ [(\pi /4)(15)^2$ = %36 olur.

SORU: 12,8 mm yarıçapındaki alüminyum alaşımından deney numunesinin başlangıç ölçü boyu 50 mm'dir. Çekme deneyinde ki maksimum yük 3630 kg olarak gerçekleşmiştir. Max. Yükdeki yarıçap 12,45 mm, boyu 54 mm'dir. 3450 kg yükte ise kırılmıştır, kırıldığı andaki çapı ise 10,11 mm boyu ise 55 mm olmuştur.

a) Max. yükteki ve

b) b) Kırılma anındaki mühendislik ve gerçek gerilme ile birim şekil değişimlerini bulun.



a) Max yük noktasında;

Müh. Çekme Gerilmesi= $F/A_o = 3630 \times 9{,}8\ N/(\pi/4)(12{,}8)^2 = 276$ Mpa

Müh. Brm.şekil değişimi= $\Delta\ell/\ell_o = 4/50 = \%\ 8$ olur.

Gerçek çekme gerilmesi(formülle)= $\sigma\ (1+e) = 276(1+0{,}08) = 298$ Mpa

Gerçek brm. Şekil değişimi, $\varepsilon = \ln(1+e) = \ln(1+0{,}08) = 0{,}077$; %7,7

Gerçek çekme gerilmesi= $F/A = 3630 \times 9{,}8/(\pi/4)(12{,}45)^2) = 292$ MPa

Gerçek brm. Şekil değişimi, $\varepsilon = \ln(A_o/A) = 0{,}055$ yani % 5,5 olur.

a) Kırılma noktasında;

Müh. Kopma Gerilmesi= $F/A_o = 3540 \times 9{,}8\ N/(\pi/4)(12{,}8)^2 = 269$ MPa

Müh. Birim şekil değişimi= $\Delta\ell/\ell_o = 5/50 = \%\ 10$ olur.

Gerçek değerlerden hareket edilseydi;

Gerçek çekme gerilmesi= $F/A = 3540 \times 9{,}8/(\pi/4)(10{,}11)^2) = 432$ MPa

Gerçek brm. Şekil değişimi, $\varepsilon = \ln(A_o/A)$

$= \ln[(\pi/4)(12{,}8)^2/\pi/4)(10{,}11)^2] = 0{,}47$ yani %47 olur.

Isı Kapasitesi – Spesifik Isı

Soru : 250 g Bakır ve Alüminyumun sıcaklıklarını 25°C den 600°C'ye çıkarmak için ne kadar ısı gereklidir.

($C_{p,Cu}$=0,215 $C_{p,Al}$=0,092)

Bakırın spesifik ısısı 0.215 cal/gr.K' dir.

Gerekli ısı = (Spesifik ısı, cal/gr.K)(kütle, gr)(ΔT)

Cu için gerekli ısı = (0.215)(250)(600 - 25) = **30.906,25 cal**.

Alüminyumun spesifik ısısı 0.092 cal/gr.K' dir.

Al için gerekli ısı = (0.092)(250)(600 - 25) = **13.225 cal**.

100 gr. Demirin sıcaklığı ısıtılarak 100°C artırılmaktadır. Demirin spesifik ısısını yaklaşık olarak belirleyin ve bu iş için ne kadar ısı gerekir hesaplayın. Demirin atom ağırlığı = 55,84 g/g.mol

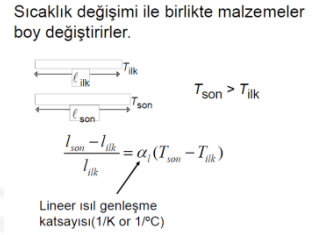
Oda sıcaklığında $C_p \cong 6$ cal/mol.K 'e eşittir.

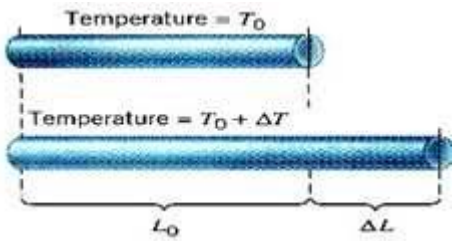
C_p=Isı kapasitesi/Atom ağırlığı olduğuna göre;

C_p=6/55,84 = 0,107 cal/gr.°C olur. Buradan gerekli toplam ısı;

Isı= 0,1074 x 100 x 100 = 1074 cal.

Termal Genleşme





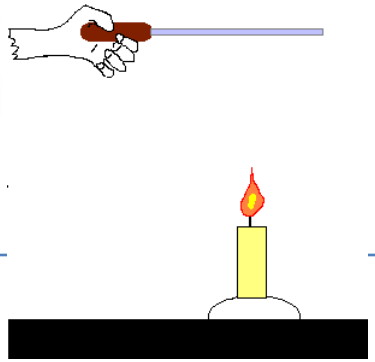
- Saf alüminyumdan dökülecek 25x25x3 cm ölçülerindeki bir parçanın kalıbının boyutları ne olmalıdır.
- $T_{erg,\,Al}$ =660 °C ve α_{Al}=25x10^{-8} m/m.°C
- $\alpha = (\Delta\ell / \Delta T) . (1 / L)$ den $\Delta\ell = \alpha . L . \Delta T$ olur.

25cm olan boyutdaki artış= 25x10^{-6} cm. 25.(660-25) = 0,397 cm olur.

O zaman toplam boy 25+0,397 = 25,397 cm olmalıdır.

3 cm olan boylara gelince; $\Delta\ell$= 25x10^{-6}. 3.(660-25) = 0,047 cm.

Onunda toplam boyu = 3,047 cm olur.



Soru: 15 metre uzunluğundaki bir bakır tel 40 °C den -9°C dereceye soğutulmuştur. Boy değişimi nekadar olur?

- Cevap: Cu için $\alpha_\ell = 16.5 \times 10^{-6}\ (^\circ C)^{-1}$

$$\Delta\ell = \alpha_\ell \ell_0 \Delta T = [16.5 \times 10^{-6} (1/^\circ C)](15\ m)[40^\circ C - (-9^\circ C)]$$

$$\boxed{\Delta\ell = 0.012\ m = 12\ mm}$$

Termal Gerilme

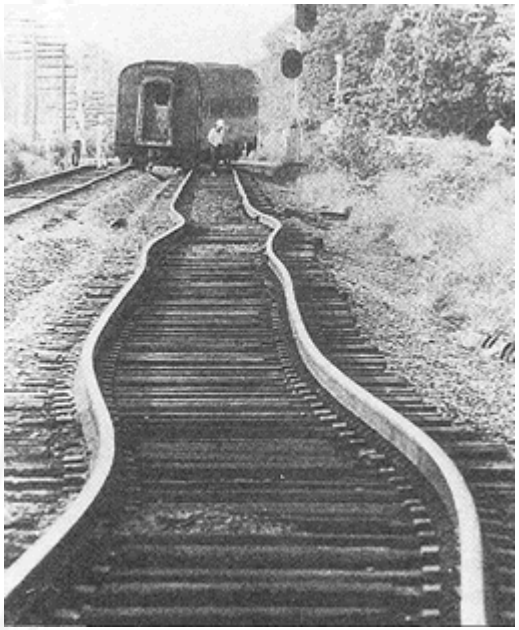
İzotropik bir malzemenin her noktası ısıtma veya soğutma esnasında üniform bir şekilde ısıtılsa veya soğutulsa herhangi bir kalıntı gerilmesi oluşmaz. Ama bu sağlanamaz ise kalıntı gerilmeler oluşur. Isı farklılığından oluşan bu kalıntı gerilmelere **termal gerilmeler** denir ve malzemenin, termal genleşme katsayısı, elastisite modülü ve ΔT sıcaklık farkı ile ilgilidir.

$$\sigma_{Termal} = \alpha \cdot E \cdot \Delta T$$

formülü ile bulunur.

Termal Gerilme

Soru : AISI 1020 çeliği üzerine emaye kaplama yapılmıştır. Emaye tabakasının kırılma mukavemeti 27,58 MPa, elastik modülü 103,4 GPa, ve termal genleşme katsayısı da 10.10^{-6} °C^{-1} . Emaye tabakada çatlama olmaksızın çıkılabilecek maksimum sıcaklık ne olur? Hesaplayınız. ($\sigma_{AISI\ 1020}$=12.10^{-6} °C^{-1}) ($E_{AISI\ 1020}$= 206,8 GPa)



Termal Gerilme

Eğer çelik aynı sıcaklıkta kalacak sadece emeye ısıtılacak olsaydı, yani sadece emeye genleşseydi, emayenin kırılması için max. sıcaklık farkı şöyle olurdu;

$\sigma_{Termal} = \alpha \,.\, E.\, \Delta T$

$= (10.10^{-6}).\ 103400 \,.\, \Delta T$

$= 27{,}58$ ise

$\Delta T = 26{,}7\ °C$ olur.

Yani emaye ile çelik arasındaki sıcaklık farkı bu kadar olursa emeye çatlar, kırılır.

Ancak, emaye genleşirken çelik de genleşmektedir. Fakat çelik, emayeden daha fazla genleşmektedir. Dolayısıyla oluşan gerilim emayeyi etkileyecektir.

Malzemelerin net genleşme katsayısı, $\Delta\alpha$ = ?

$= (12.10^{-6})-(10.10^{-6}) = 2.10^{-6}\ °C^{-1}$'dir.

$= (2.10^{-6}\ °C)(103400\ MPa)\ \Delta T = 27{,}58\ MPa$ ise

$\Delta T = 133$ °C'de kırılır, çatlar.

Emayenin çatlamaması için nasıl bir çözüm olabilir?

- ✓ Daha yüksek termal genleşmeye sahip emaye malzemesi
- ✓ Daha düşük elastik modüle sahip emaye malzemesi
- ✓ Daha yüksek mukavemette emaye malzemesi seçilebilir.

Termal İletkenlik

$$\frac{Q}{A} = k\,\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Burada; Q, verilen bir yüzeyden saniyede geçen ısı miktarı, A yüzey alanı, k ısı iletkenlik katsayısı, ΔT yüzeyler arası sıcaklık farkı, Δx yüzeyler arası mesafe'dir.

Soru: Oda sıcaklığı 25°C iken dışarıda sıcaklık 40°C'dir. 122 cm x 122 cm boyutundaki bir pencere camından odaya giren günlük ısı miktarının 5.10^6 cal'den daha az olması için camın et kalınlığını hesaplayınız.

Camın termal iletkenlik katsayısını 0,96 W/m.K veya 0.0023 cal/cm.s.K alınız.

1 gün : 24 saat x 3600 s/saat = $8{,}64.10^4$ sn.

Alan A= 122x122 = 14.884 cm^2 ise Q ısı akısı yani birim zamanda geçen ısı ise Q= 5.10^6cal/gün / $8{,}64.10^4$ sn Q= 57,87 cal/sn olur.

$$\frac{Q}{A} = \frac{57{,}87\ cal/sn}{14888\ cm2} = 0{,}00389 \text{ cal/cm}^2\text{. sn}$$

$$\frac{Q}{A} = k\ \frac{\Delta T}{\Delta x} \text{ ise ; } 0{,}00389\ \frac{cal}{sn.cm^2} = (0{,}0023\ \frac{cal}{sn.cm.K})(40\text{-}25°\text{C})/\ \Delta x$$

Δx=8,85 cm olur. Demek ki camın kalınlığı bu kadar olursa istenenler sağlanabilirmiş. Daha az ısı girsin istenirse;

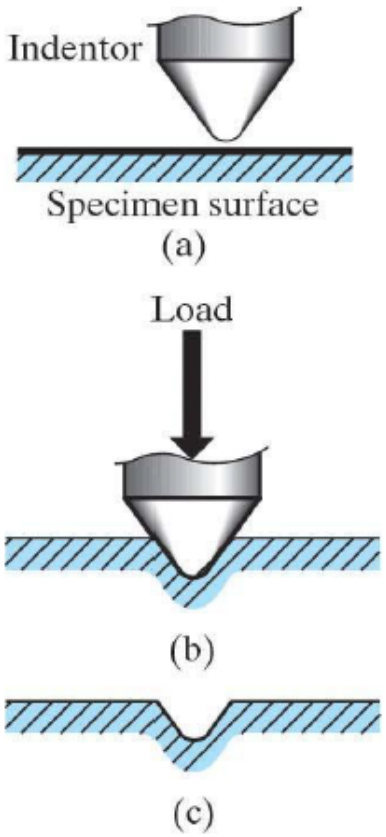
- ✓ PMMA gibi şeffaf polimer kullanılabilir.
- ✓ İki cam tabaka arası gaz (argon vs.) yada şeffaf bir polimer tabakasıyla doldurulmuş tabaka yapılı kompozit cam kullanılabilir.

SERTLİK

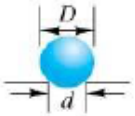
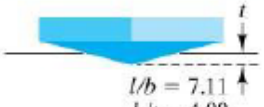
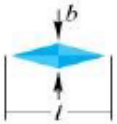
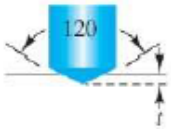
- **Sertlik:** Bir malzemenin yüzeyine batırılan sert bir cisme karşı gösterdiği dirençtir.
- Sertlik değerleri direkt olarak malzemelerin dayanımları ile alakalı olduğu için büyük önem taşır.
- Çok daha basit bir şekilde, tahribatsız olarak ölçülebilir.

Sertlik Deneyleri

- Sertlik deneyi; malzemelerin dayanımları ile ilgili bağıl değerler veren bir test yöntemidir.
- Sertlik ölçme yöntemleri: Batıcı ucun geometrisine ve uygulanan kuvvet büyüklüğüne göre:
  - Brinell sertlik ölçme metotu
  - Vickers sertlik ölçme metotu
  - Rockwell sertlik ölçme metotu

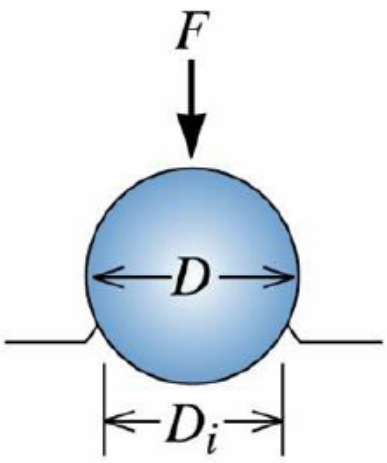


- Sertlik ölçme yöntemleri: Batıcı ucun geometrisine ve uygulanan kuvvet büyüklüğüne göre:(a) Brinell, (b)Vickers, (c) Rockwell sertlik ölçüm metotları.

Test	Indenter	Shape of indentation: Side view	Shape of indentation: Top view	Load	Formula for hardness number
Brinell ✓	10 mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$\mathrm{BHN} = \dfrac{2P}{\pi D\left[D - \sqrt{D^2 - d^2}\right]}$
Vickers ✓	Diamond pyramid			P	$\mathrm{VHN} = 1.72P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$\mathrm{KHN} = 14.2P/l^2$
Rockwell ✓					
A, C, D	Diamond cone			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ } $100 - 500t$
B, F, G	$\frac{1}{16}$ in. diameter steel sphere			100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ } $130 - 500t$
E, H	$\frac{1}{8}$ in. diameter steel sphere			100 kg 60 kg	$R_E =$ $R_H =$

Brinell

- Yüzeyi düzgün hazırlanması gerekir.
- Standart test: 10mm çaplı sert bilya ve 3000kgf yük
- Yüzeyde bıraktığı izin çapı ölçülür.
- Pratikte daha küçük yük/çap kombinasyonları mevcut.
- Dezavantajı: malzemeye göre değişen yük/çap oranları
- Yük: F(kgf) = **A.D²**(mm²)
- A malzemenin türüne bağlıdır.
- 2.5mm bilya ile çelik ölçülüyorsa, 187.5 kgf, Al ölçülüyorsa 31.25kgf yük gerekir.

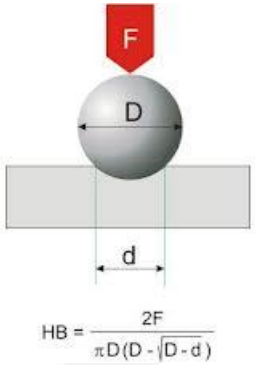


Brinell test

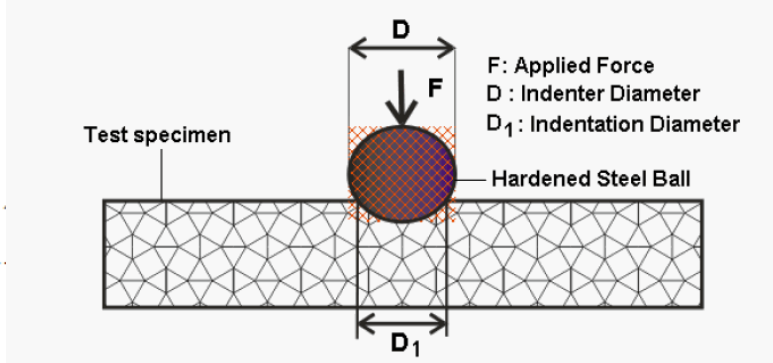
Malzeme	A
Demir / Çelik	30
Cu / Pirinç / Bronz	10
Al / Pb vb.	5

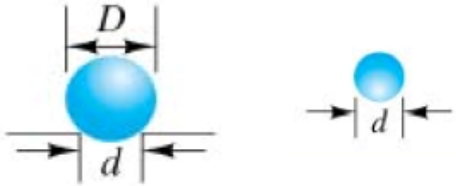
Brinell

- Sertleştirilmiş çelik bilya ile 400BSD' ne kadar, sinterlenmiş karbür bilya ile 550BSD ne kadar ölçüm yapılabilir.
- Bu metot daha büyük sertliklere (çok sert malzemelere) **uygun değil**dir.
- Eğer bilya ezilmeye başlarsa yanlış ölçümler yapılır.



Brinel





$$BSD = \frac{2F}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$$

BSD = Birinell sertlik değeri
D = Bilya çapı
F = Uygulanan kuvvet
d = izin çapı.

TSE de gösterimi

340 BSD/187.5/2,5/30

Uygulanan Kuvvet

Bilya çapı

Uygulama süresi

Brinell

- Metallerde BSD ile $\sigma_{çek}$ arasında 400BSD ye kadar doğrusal ilişki vardır.

AMPRİK İFADE:

$$\sigma_{ç}(MPa) \cong \frac{BSD(kgf/mm^2)}{3} \times 10$$

Vickers

- Batıcı uç tepe açısı 136° olan elmas pramit.
- Tüm malzemelere uygulanabilir.
- Kuvvet seçiminde malzeme kriteri yoktur.
- Kare şeklindeki izin köşegenleri mikroskopla ölçülür.
- BSD değeri gibi çekme dayanımının tespitinde kullanılabilir.

$$d_{ort} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$VSD = \frac{1.72\,F}{d_{ort}^{\,2}}$$

TSE de gösterimi

255 VSD/100/30

Uygulanan Kuvvet

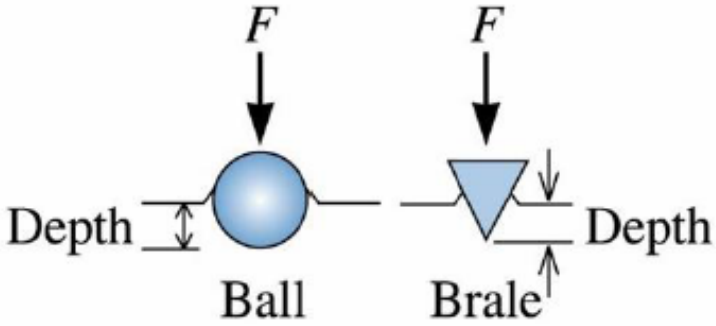
Uygulama süresi

VSD = Birinell sertlik değeri
F = Uygulanan kuvvet
d_{ort} = izin köşegen ortalaması.

Rockwell metodu

- Batıcı ucun yüzeyden içeri doğru battığı derinlik dikkate alınır.
- Malzemeye göre uç/yük kombinasyonu seçilmelidir.
- Plastik malzemelerin ölçümüde yapılabilir: bir çok skalası mevcuttur.

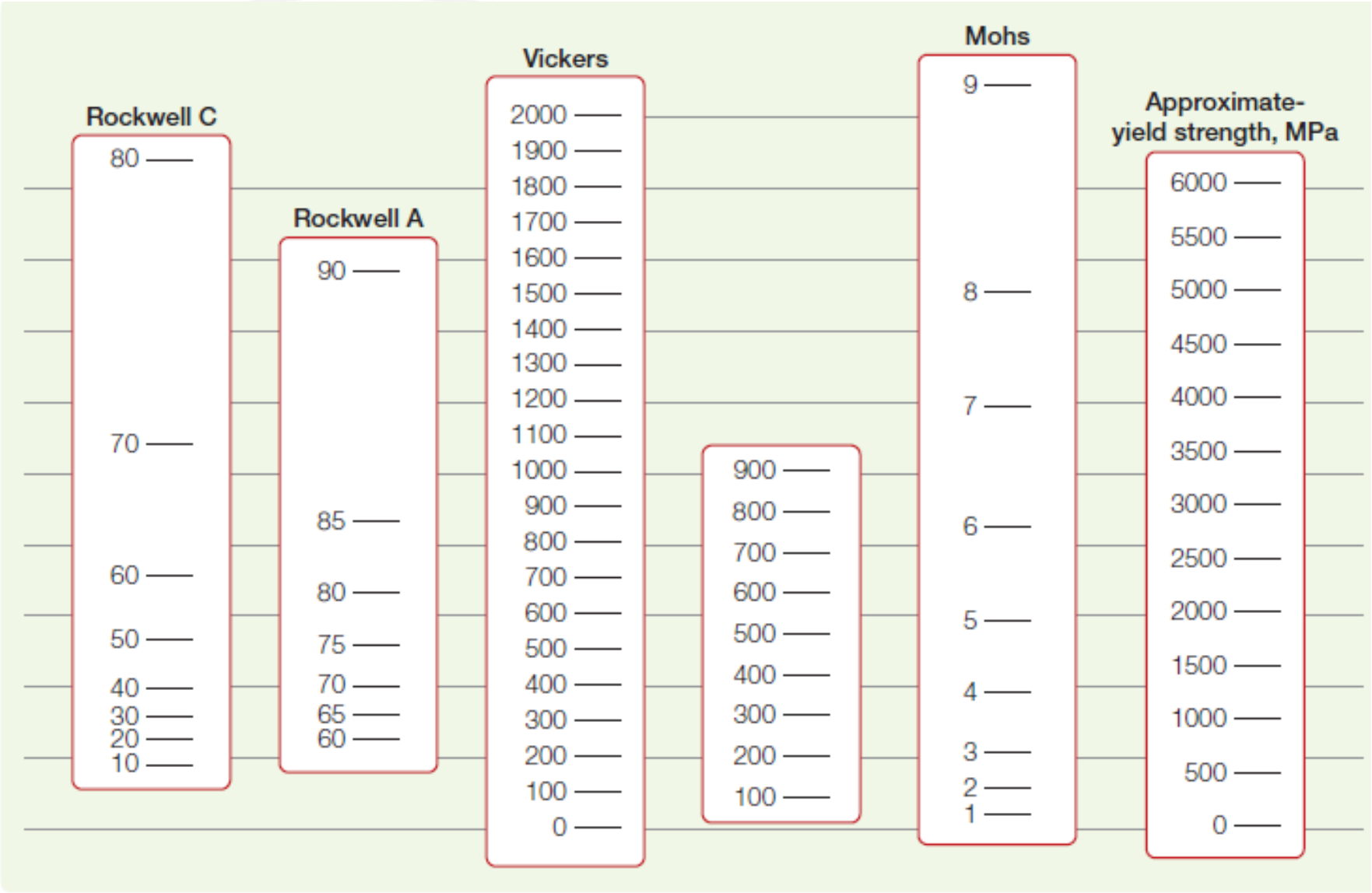
- Ölçüm yüzeyleri temiz olmalıdır.
- C skalası; sert metaller için kullanılır: 150 kgf yük ve tepe açısı 120° olan elmas koni uç kullanılır.
- B; 100 kgf yük ve 1/16" çapında sert bilye kullanılır.
- Deney parçası yeterli kalınlıkta olmalı, kenara yakın ölçümler yapılmamalı, birbirine yakın ölçümler yapılmamalı, en az 3 ölçüm yapılmalıdır.



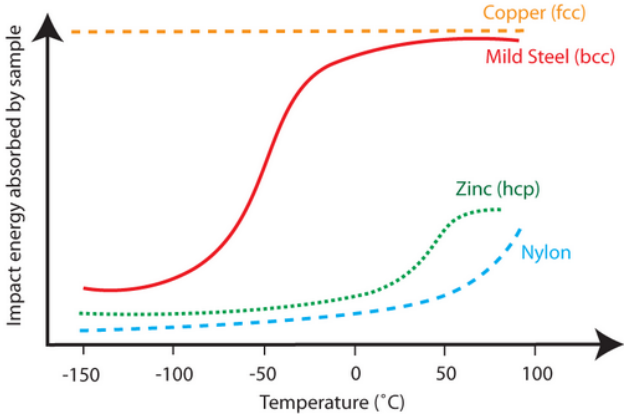
Rockwell test

TABLE 6-5 ■ ***Comparison of typical hardness tests***

Test	Indentor	Load	Application
Brinell	10-mm ball	3000 kg	Cast iron and steel
Brinell	10-mm ball	500 kg	Nonferrous alloys
Rockwell *A*	Brale	60 kg	Very hard materials
Rockwell *B*	1/16-in. ball	100 kg	Brass, low-strength steel
Rockwell *C*	Brale	150 kg	High-strength steel
Rockwell *D*	Brale	100 kg	High-strength steel
Rockwell *E*	1/8-in. ball	100 kg	Very soft materials
Rockwell *F*	1/16-in. ball	60 kg	Aluminum, soft materials
Vickers	Diamond pyramid	10 kg	All materials
Knoop	Diamond pyramid	500 g	All materials


Rockwell C
80
70
60
50
40
30
20
10
Rockwell A
90
85
80
75
70
65
60
Vickers
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
900
800
700
600
500
400
300
200
100
Mohs
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Approximate-yield strength, MPa
6000
5500
5000
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0

Çentik/Darbe



Normal şartlarda sünek malzeme

- Üç eksenli yükleme hali
- Düşük sıcaklıkta zorlama
- Kuvvetin ani uygulanması (**darbe**)

durumlarında plastik şekil değişimine imkan bulamaz ve gevrek davranış gösterirler.

Bu şartlardan biri veya bir kaçı gerçekleşmişse malzeme gevrek davranabilir. Malzemenin davranışını ölçmek amacıyla Charpy (üç noktadan eğme) veya Izod (ankastre eğme) deneyleri gerçekleştirilir.

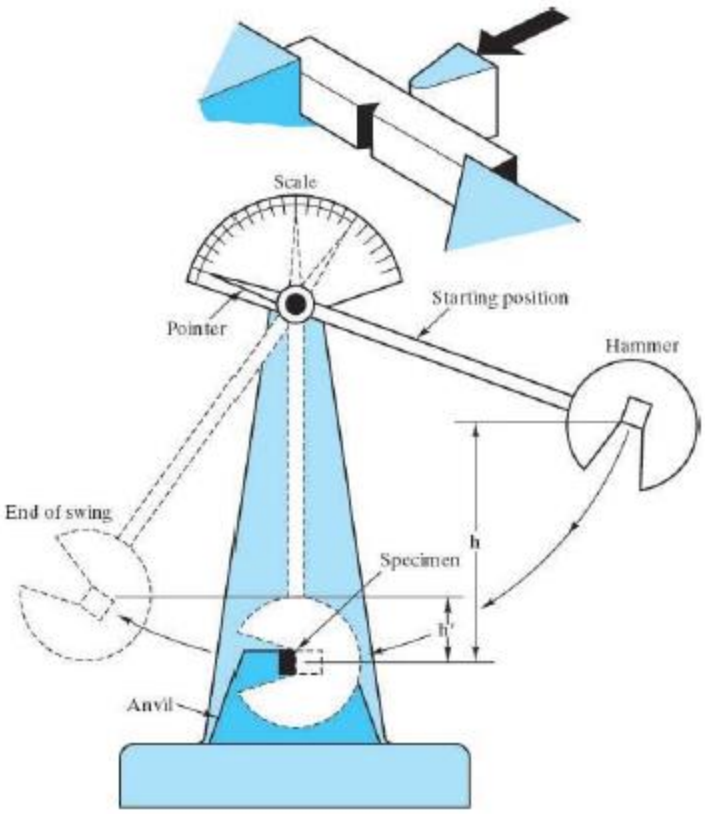
Sünek malzemelerin gevrek kırılmaya olan eğilimlerini ölçmek için bazı testler yapılır:

- Charpy (üç noktadan eğme)
- Izod (ankastre eğme).

•Belli bir potansiyel enerjiye sahip kütle, V-çentik açılmış numuneye çarptırılır.

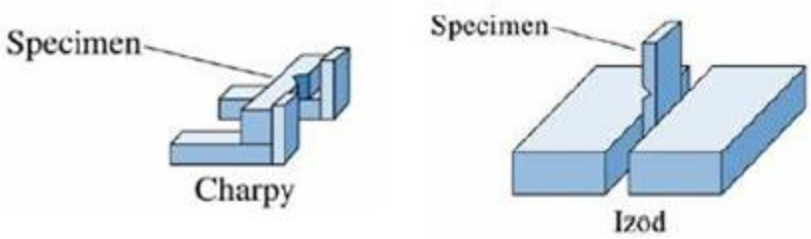
•Numunenin kırılması için gereken enerji "Darbe Enerjisi - Ek" saptanır.

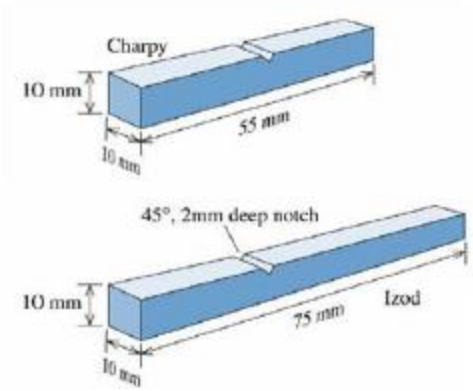
•Birim olarak J veya Nm kullanılır.

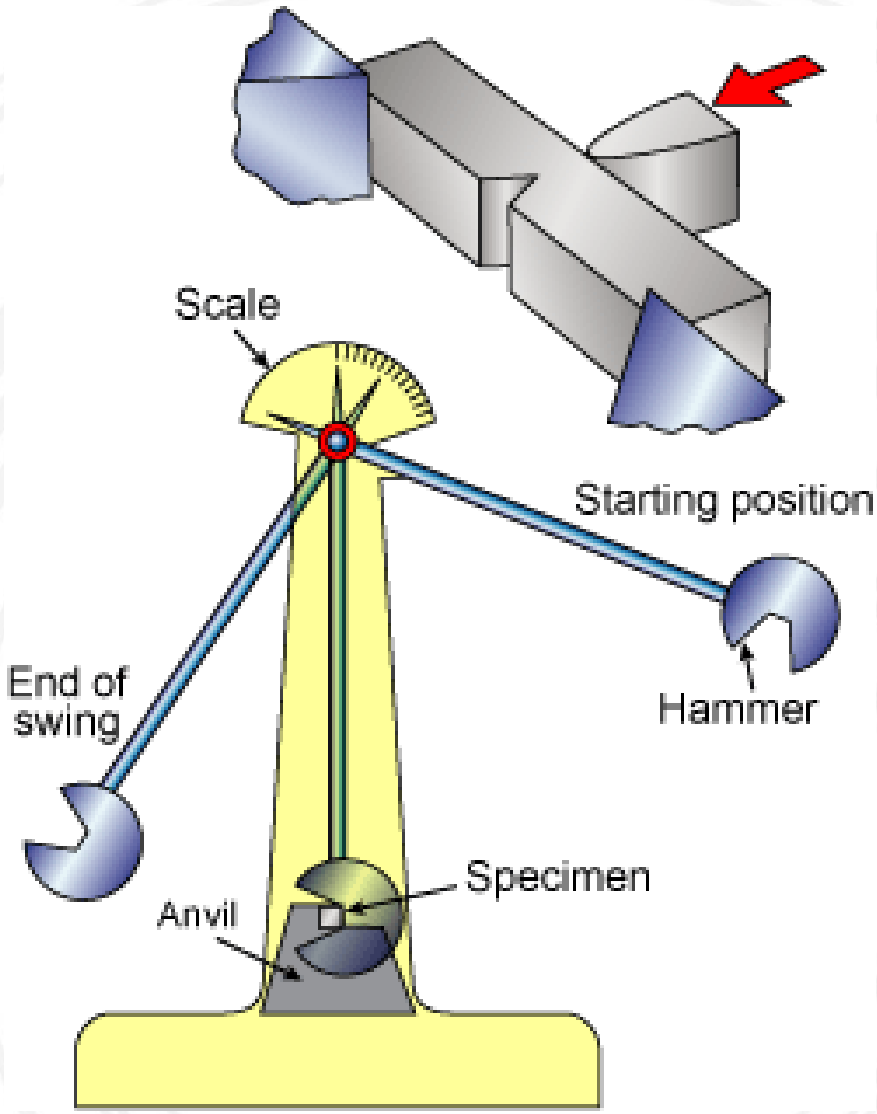


- Belli bir potansiyel enerjiye sahip kütle V-çentik açılmış numuneye çarptırılır.
- Numunenin kırılması için gereken enerji "Darbe Enerjisi - E_k" saptanır.

$$E_k = mg \cdot (h - h')$$

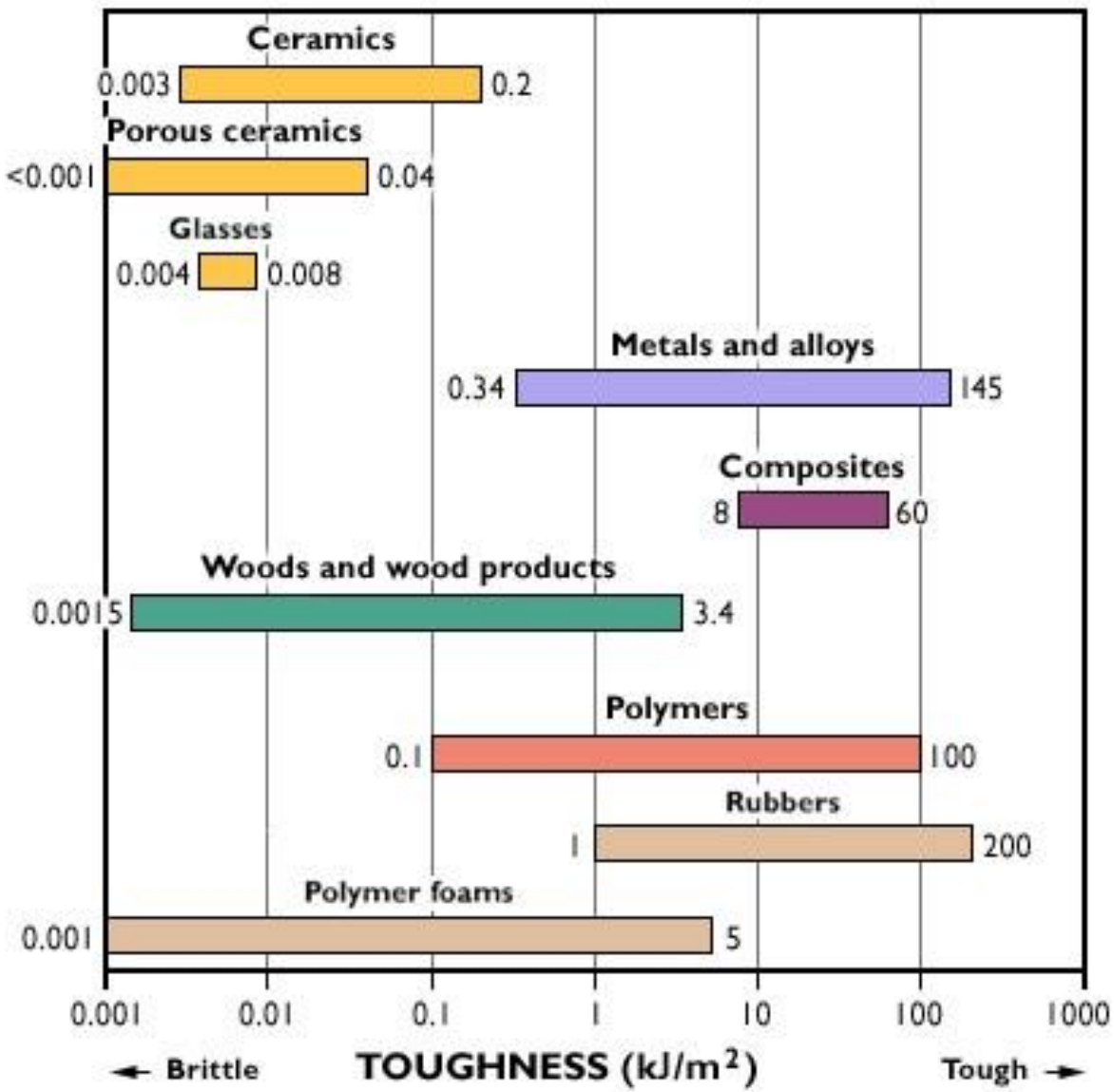





Scale
Starting position
End of swing
Hammer
Specimen
Anvil

Charpy Impact Testing
Westmoreland Mechanical Testing & Research, Inc.
www.wmtr.com

Charpy Impact Testing
Westmoreland Mechanical Testing & Research, Inc.
www.wmtr.com


Ceramics
0.003
0.2
Porous ceramics
<0.001
0.04
Glasses
0.004
0.008
Metals and alloys
0.34
145
Composites
8
60
Woods and wood products
0.0015
3.4
Polymers
0.1
100
Rubbers
1
200
Polymer foams
0.001
5
0.001
0.01
0.1
1
10
100
1000
Brittle
TOUGHNESS (kJ/m²)
Tough

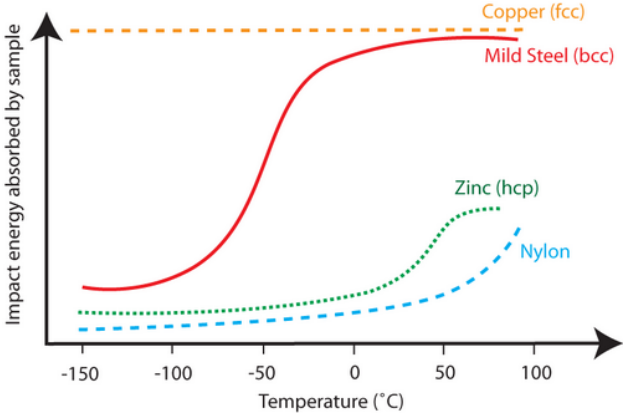
Darbe enerjisine etki eden faktörler:

a) Dayanım
b) Kristal yapı,
c) Sıcaklık
d) Kimyasal bileşim

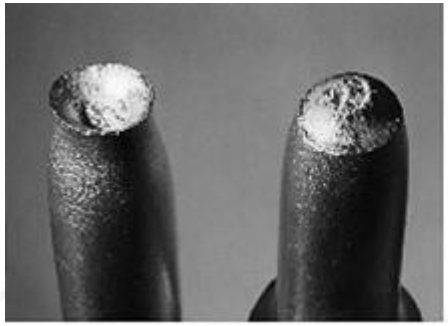
a) Dayanım:

- Darbe deneylerin dinamik tokluğu belirlemektedir.
- Fakat statik toklukla (σ-ε grafiğinin altındaki alan) arasında ilişki vardır.
- Dayanımı yüksek malzemeler darbeye karşı direnci zayıf olurken düşük dayanımlı malzemelerin darbe dirençleri yüksek olabilir.

Kristal Yapı



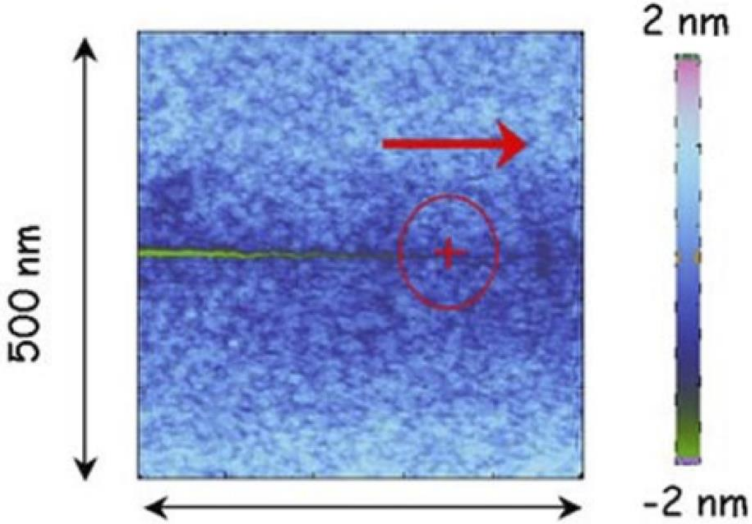
- YMK; sünek ve tok ,
- SDH; gevrek,
- HMK; bazı şartlarda gevrek bazılarında tok davranmaktadır.
- Belirli bir sıcaklık altında HMK tokluğunu yitirerek gevrek davranış göstermeye başlar. Bu sıcaklığa "Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı" adı verilir (ductile-brittle transition temperature).



Brittle Fracture

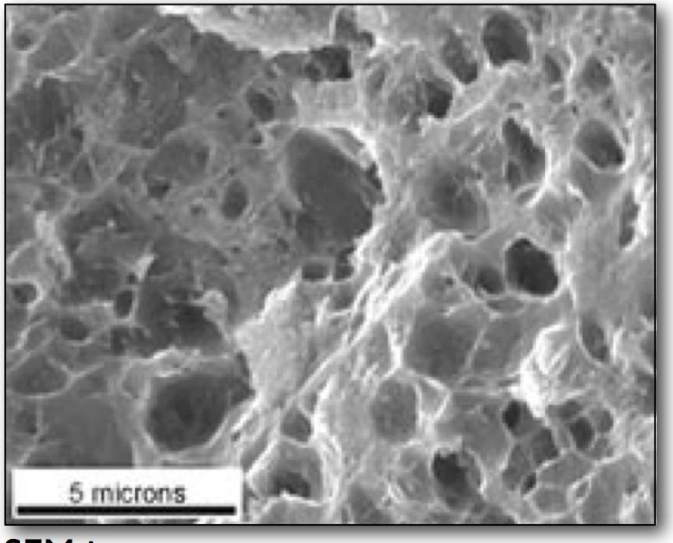
Ductile Fracture

Brittle Fracture



AFM image

Ductile Fracture



SEM image

Kristal Yapı /Sıcaklık

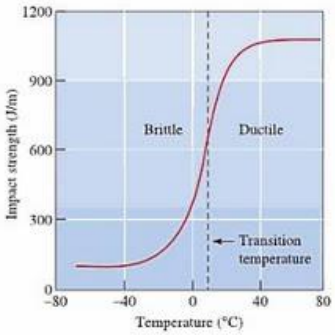
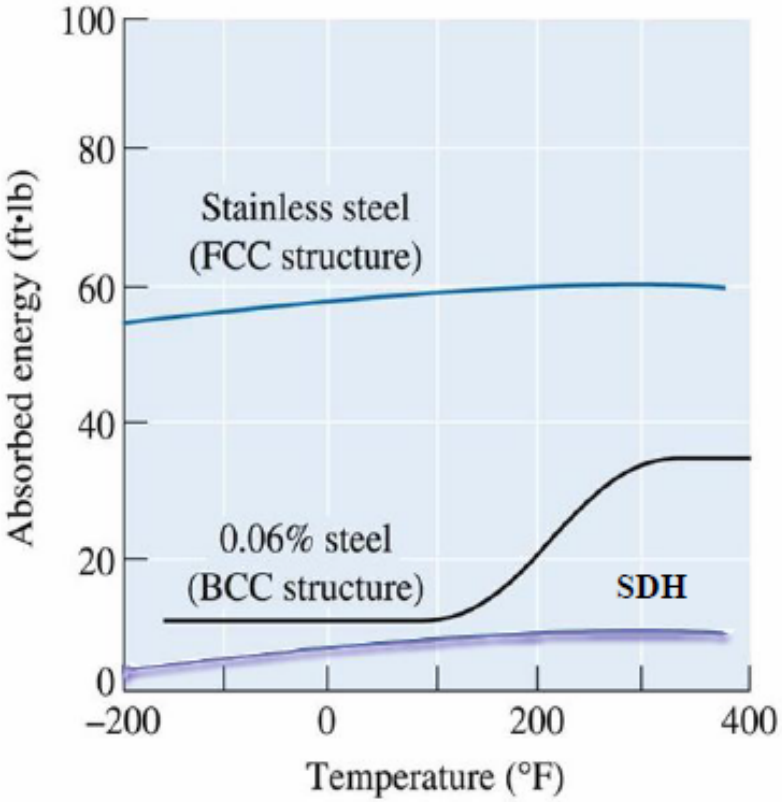


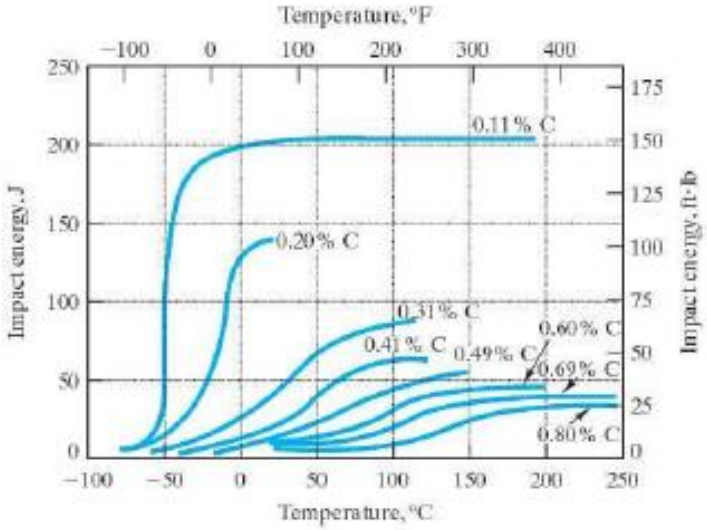
Figure 6-21
Results from a series of Izod impact tests for a super-tough nylon thermoplastic polymer.



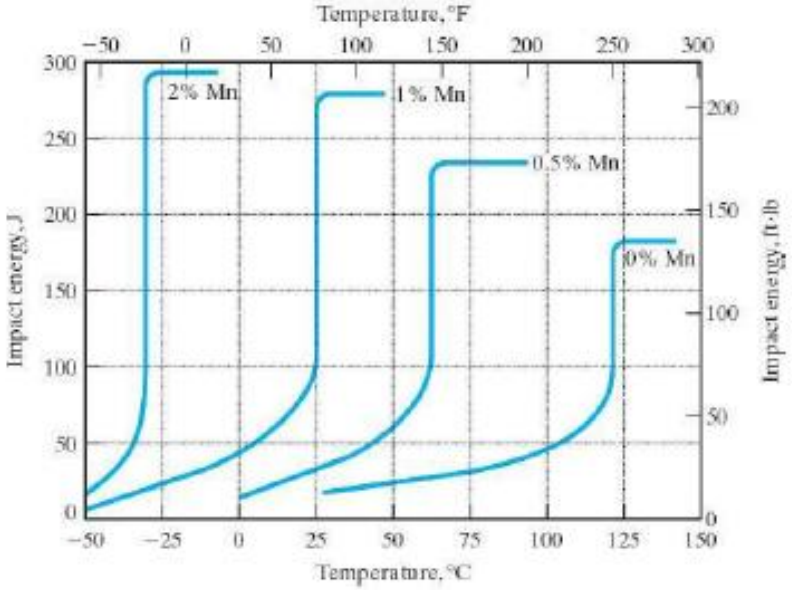
HMK da ki bu düşüşün sebebinin arayer atomalarının düşük sıcaklıklarda, dislokasyon hareketlerini engellemesi olarak düşünülür. Nispeten yüksek sıcaklıklarda dislokasyonlar engellerden kurtulabildiği düşünülmekte ve bu yüzden darbe enerjisini arttığı varsayılmaktadır.

Bileşim

- HMK da geçiş sıcaklığı, kimyasal bileşimden çok etkilenir.
- Örneğin, C artarsa Geçiş Sıcaklığı (Tg) artar. Mn (ve Ni) artarsa Tg azalır. Düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk için ideal alaşım elementleridir.

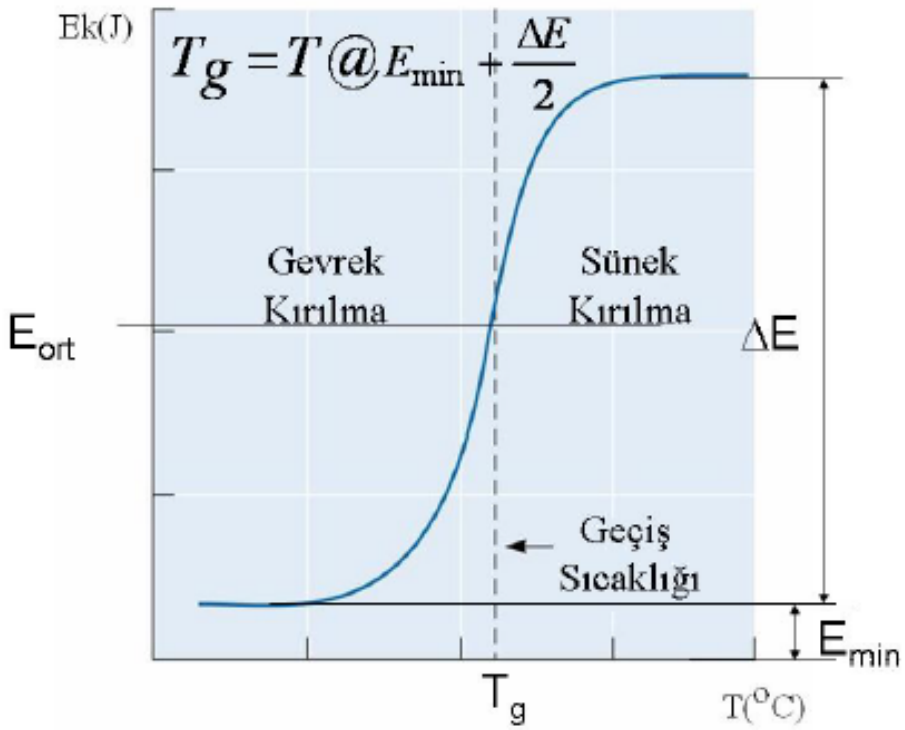


(a)



(b)

Belirli bir sıcaklık altında HMK tokluğunu yitirerek gevrek davranış göstermeye başlar. Bu sıcaklığa "Sünek-gevrek geçiş sıcaklığı" adı verilir (ductile-brittle transition temperature).



$$T_g = T@\frac{E_{max} + E_{min}}{2}$$

	Alloy	Impact energy [J (ft·lb)]
1.	1040 carbon steel	180 (133)
2.	8630 low-alloy steel	55 (41)
3.	c. 410 stainless steel	34 (25)
4.	L2 tool steel	26 (19)
5.	Ferrous superalloy (410)	34 (25)
6.	a. Ductile iron, quench	9 (7)
7.	b. 2048, plate aluminum	10.3 (7.6)
8.	a. AZ31B magnesium	4.3 (3.2)
	b. AM100A casting magnesium	0.8 (0.6)
9.	a. Ti–5Al–2.5Sn	23 (17)
10.	Aluminum bronze, 9% (copper alloy)	48 (35)
11.	Monel 400 (nickel alloy)	298 (220)
13.	50:50 solder (lead alloy)	21.6 (15.9)
14.	Nb–1 Zr (refractory metal)	174 (128)

Tasarım

SGGS (DBTT) gösteren malzemelerde,

- Darbe özellikleri dikkate alınarak yapılan tasarımlarda, seçilen malzemenin sünek/gevrek geçiş sıcaklığının kullanım sıcaklıklarına tekabül etmemesi, ve hatta mümkün olduğu kadar düşük olmasıdır.
- Böylece, soğuk havalarda, ani zorlamalar altında malzeme beklenmedik gevrek kırılma göstermeyecektir.
- Bu tasarım kriterlerine bir örnek; gemi gövdelerinde kullanılan sacın, -20°C de, en az 70J'lük darbe enerjisine sahip olması gerekliliğidir. Bu değer farklı uygulamalarda değişebilir.