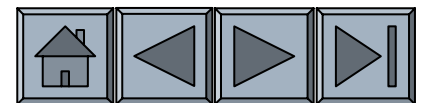


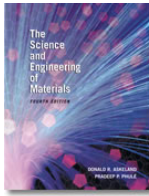
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ

Bölüm 6 – Mekanik Özellikler ve Davranışlar



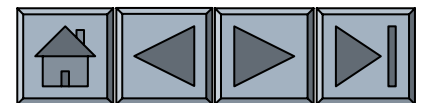
Hedefler

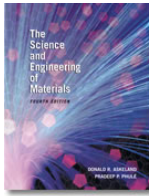
- Malzemelerin mekanik özellikleri ile ilgili temel kavramların öğrenilmesi.
- Malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri değerlendirilmesi
- Temel test prosedürlerinin gözden geçirilmesi



İçerik

- 6.1 Teknolojik anlamı
- 6.2 Mekanik Özelliklerin Terminolojisi
- 6.3 Çekme testi: Gerilim-Deformasyon Diyagramının Kullanımı
- 6.4 Çekme Testinden Elde Edilen Özellikler
- 6.5 Gerçek Gerilim- Gerçek deformasyon
- 6.6 Gevrek Malzemeler için Eğme Testi
- 6.7 Malzemelerin Sertliği
- 6.8 Deformasyon Hızı Etkisi ve Darbe Davranışı
- 6.9 Darbe Testi Sonucu Elde Edilen Özellikler
- 6.10 Kırılma Mekaniği
- 6.11 Kırılma Mekaniğinin Önemi





İçerik

6.12 Metalik Malzemelerde Kırılmanın Mikroyapısal Özellikleri

6.13 Seramikler, Camlar ve Kompozitlerde Kırılmanın Mikroyapısal Özellikleri

6.14 Kırılma Mukavemet Analizinin Weibull İstatistiği

6.15 Yorulma

6.16 Yorulma Testinin Sonuçları

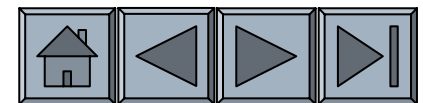
6.17 Yorulma Testinin Uygulamaları

6.18 Sürünme, Gerilim Kırılması ve Gerilim Korozyonu

6.19 Sürünme Davranışının Değerlendirmesi

6.20 Sürünme verisinin Kullanımı

6.21 Süperplastisite



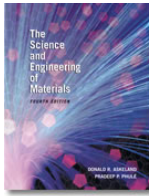
Bölüm 6.1. Teknolojik Önem



Uçak, alüminyum alaşımı ve karbonla güçlendirilmiş kompozitten oluşur.



Spor malzemeleri düşük ağırlıklı, tok, ve darbe direnci yüksek malzemelerdir.



Bölüm 6.2. Mekanik Özellikler Terminolojisi

Mukavemet – Birim kesit alanına uygulanan yüküdür.

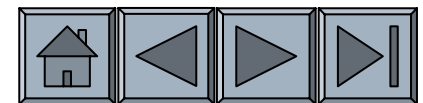
Gerinim/deformasyon – Birim uzunlukta oluşan uzamadır.

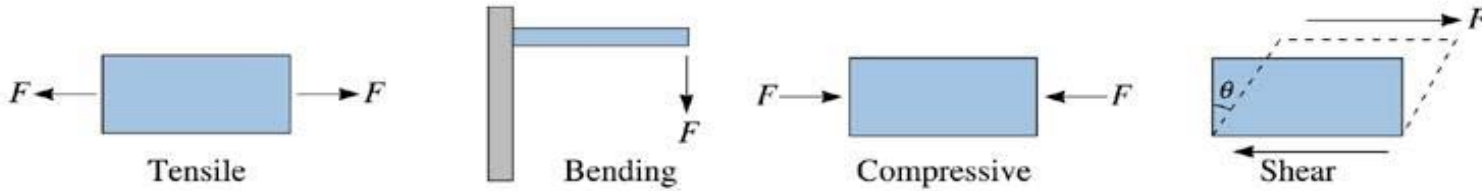
Young modülü – Gerilim-deformasyon eğrisinin doğrusal bölümünün eğimidir.

Kayma modülü (G) – Gerilim-kayma eğrisinin doğrusal parçasının eğimidir.

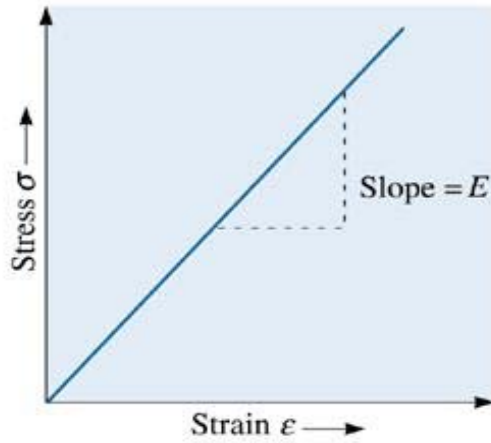
Viskozite – Akıma karşı dirençtir. Kayma geriliminin kayma deformasyon hızına oranıdır. (birimler Poise veya Pa-s).

Tiksotropik davranış Kayma incelmesi, kayma hızının zamanla azalması.

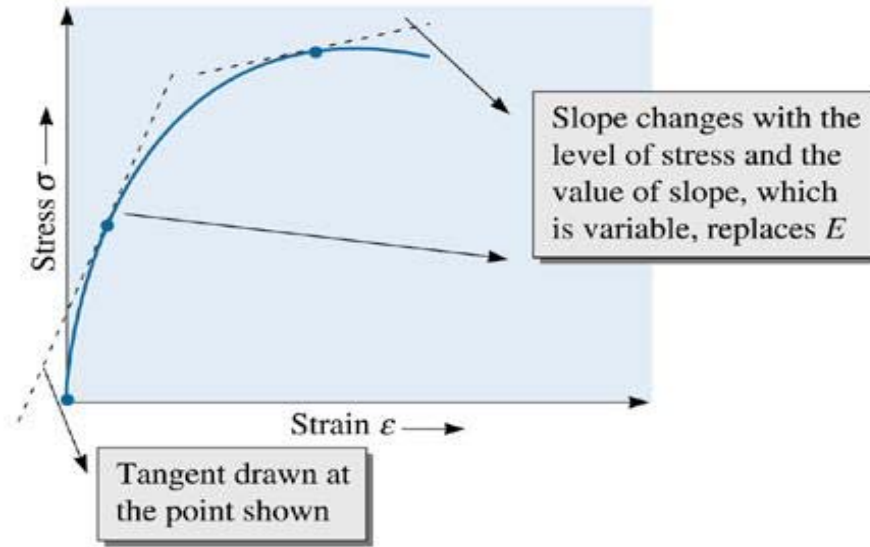




(a)

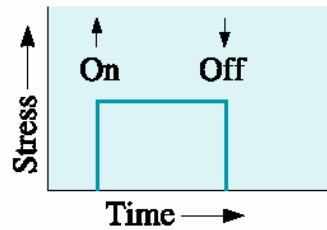
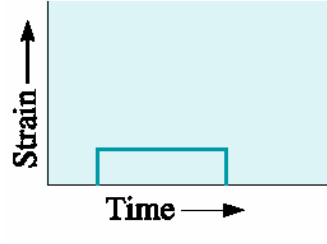
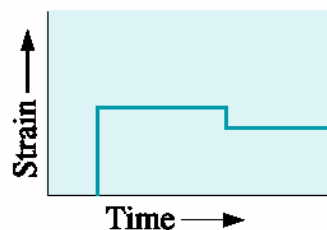
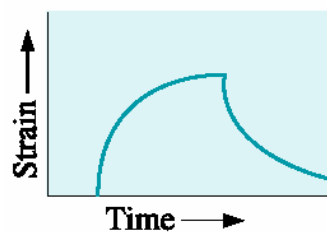


(b) Elastic material

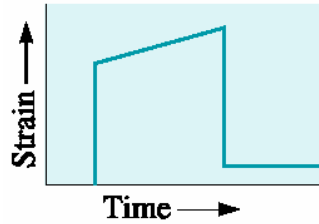


(c) Nonlinear material

(a) Çekme, basma, kayma ve eğme mukavemetleri (b) Elastik malzemelerde Young modülünün tanımlanması (c) Lineer olmayan malzemelerde eğrinin tanjantı Young modülü yerine değerlendirilir.

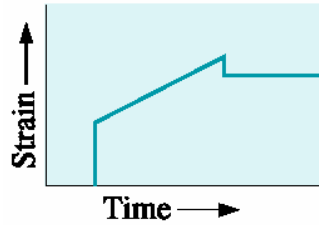
(a) Stress cycle	Comments	Materials
	<p>Specimen is loaded to a given stress and subsequently unloaded</p>	
<p>Strain responses</p> 	<p>Ideal elastic solid: elastic strain only, constant with time</p>	<p>Metals (below yield stress), thermoplastics [well below (T_g)], thermosets, ceramics and glasses</p>
	<p>Elastic plus plastic deformation: elastic strain is recovered on removal of stress, plastic strain is permanent</p>	<p>Ductile materials above yield stress</p>
	<p>Viscoelastic: some instantaneous elastic strain followed by elastic strain which increases with time under stress and recovers slowly; some viscous (plastic) flow may also occur</p>	<p>Thermoplastics at temperatures around T_g</p>

(a) Uygulanan gerilim sonucunda elde edilen değişik deformasyonlar.



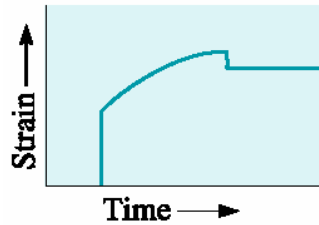
Rubbery: extensive elastic strain plus some nonrecoverable (plastic) strain

Elastomers (rubbers) and some thermoplastics at temperatures above the viscoelastic range



Viscous flow: behaves like a viscous liquid, plastic flow increases with time, small elastic recovery when stress is removed

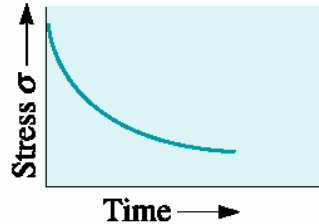
Thermoplastics and glasses well above T_g , some metals above $0.5 T_m$ under special conditions



Creep: plastic strain increasing with time, some elastic recovery when stress is removed

Metals and ceramics above about $0.4 T_m$

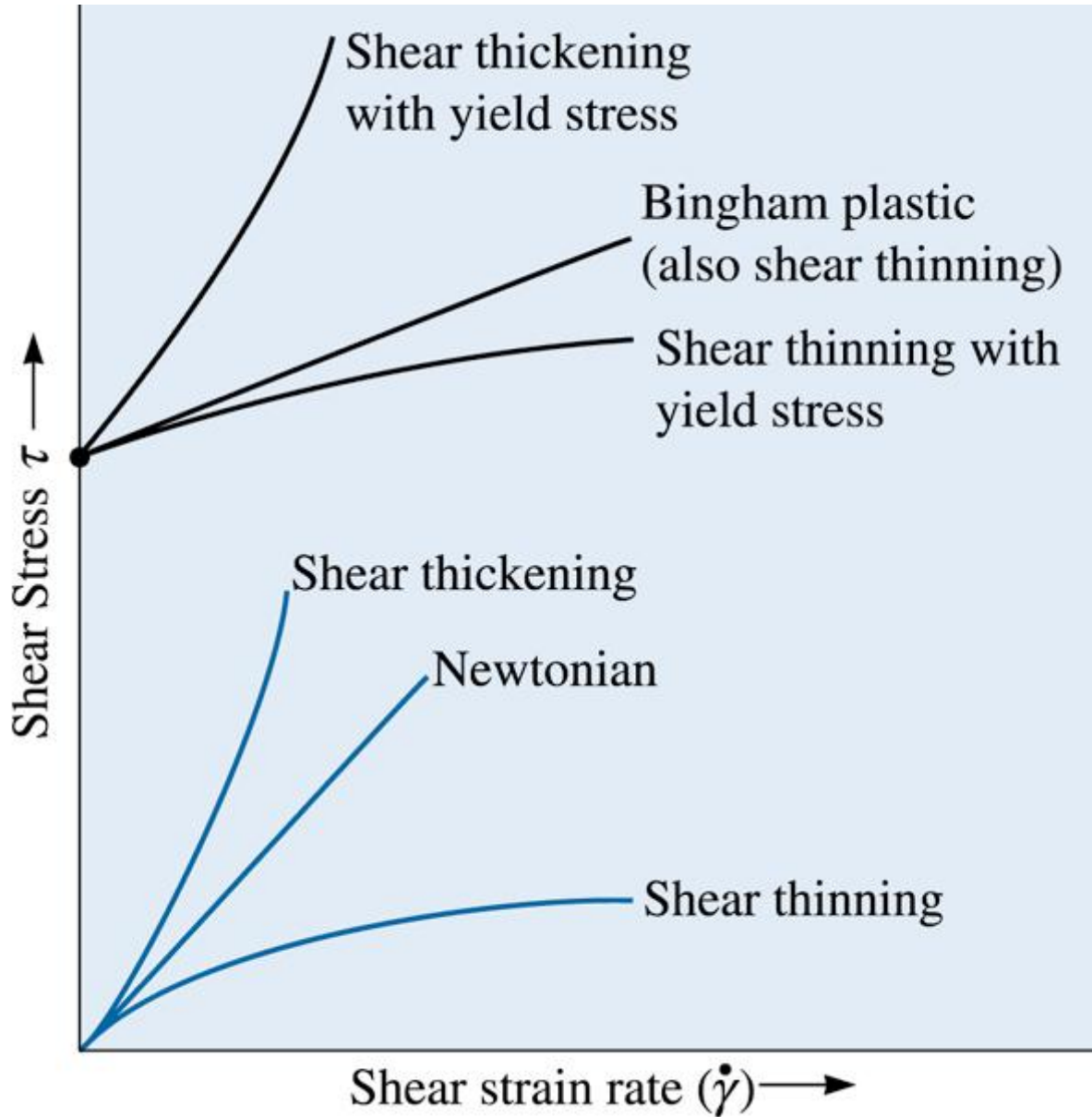
(b) Stress response



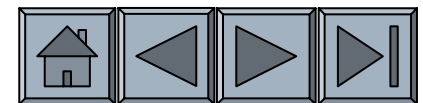
Strain is constant, stress decreases with time.

Thermoplastics

(a) Uygulanan gerilime karşı değişik deformasyon şekilleri.



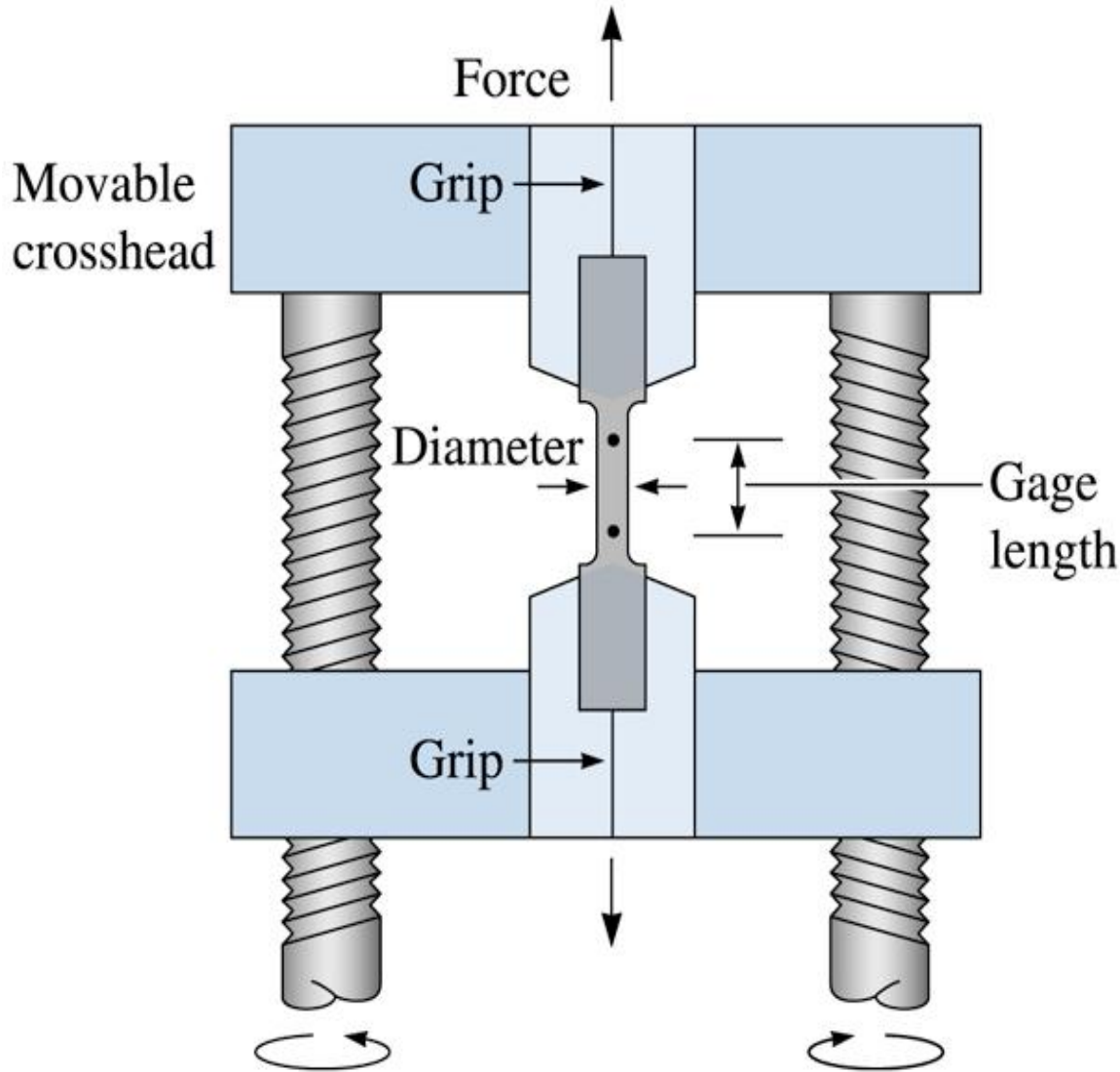
Newtonian ve Newtonian olmayan kayma gerilim deformasyon oranı.



Bölüm 6.3

Çekme Testi: Gerilim- Gerinim/Deformasyon Diyagramı

- **Yük** – Test esnasında malzemeye uygulanan yüküdür.
- **Deformasyon ölçer veya ekstansometre**- Boydaki değişimi ve deformasyonu ölçen cihaz.
- **Cam geçiş sıcaklığı (T_g)** – Sünek malzemenin gevrek davranmaya başladığı andaki sıcaklığıdır.
- **Mühendislik gerilimi** - Uygulanan yükün malzemenin orijinal kesitine bölümüdür.
- **Mühendislik Deformasyonu/gerinimi** – Çekme testi esnasında birim uzunlukta malzemedede oluşan deformasyondur.



Çekme testinde malzemeye hareketli bir kafa ile uygulanan tek yönlü yük uygulanır. Kafanın hareketi vida veya hidrolik sistemler ile sağlanır.

- Malzeme seçimi, parçalar için gerekli kullanım şartlarıyla malzemenin özellikleri karşılaştırılarak yapılır.

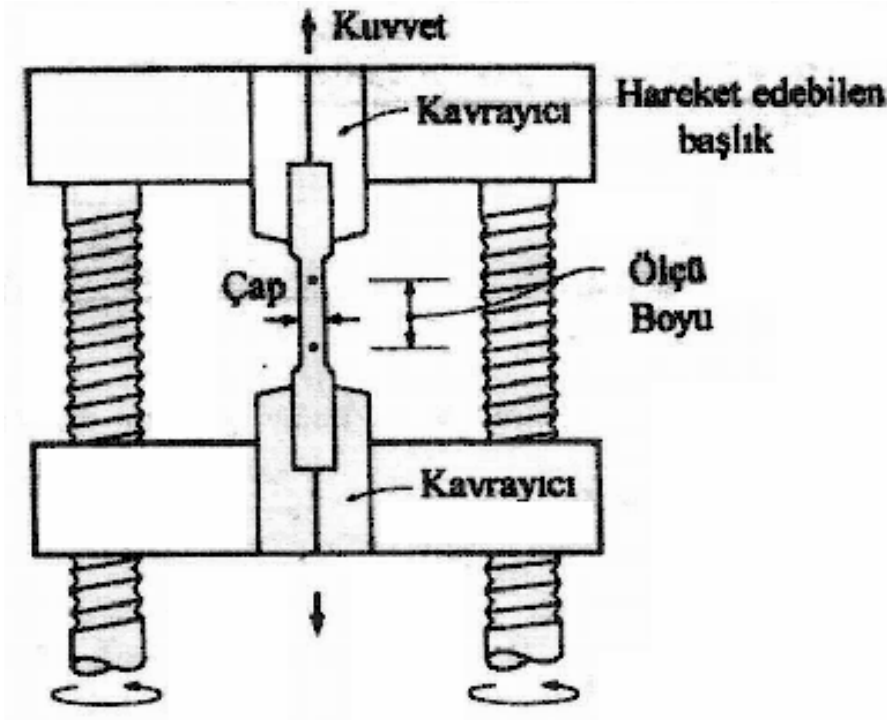
- Malzeme seçiminin ilk aşaması, malzemenin kullanım şartlarının analizini yapmaktır.

Çekme Deneyi

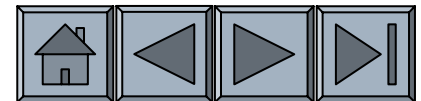


Gerilme-Gerinim Diyagramı

Malzemenin statik veya yavaş uygulanan bir kuvvete karşı direncini ölçmek için yapılır.



❑ Çekme testinde hareket edebilen başlıklar aracılığı ile numuneye tek yönlü kuvvetler uygulanır.



Mühendislik Gerilme ve Gerinimi

Mühendislik Gerilmesi:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Mühendislik Gerinimi:

$$e = \frac{l - l_0}{l_0}$$

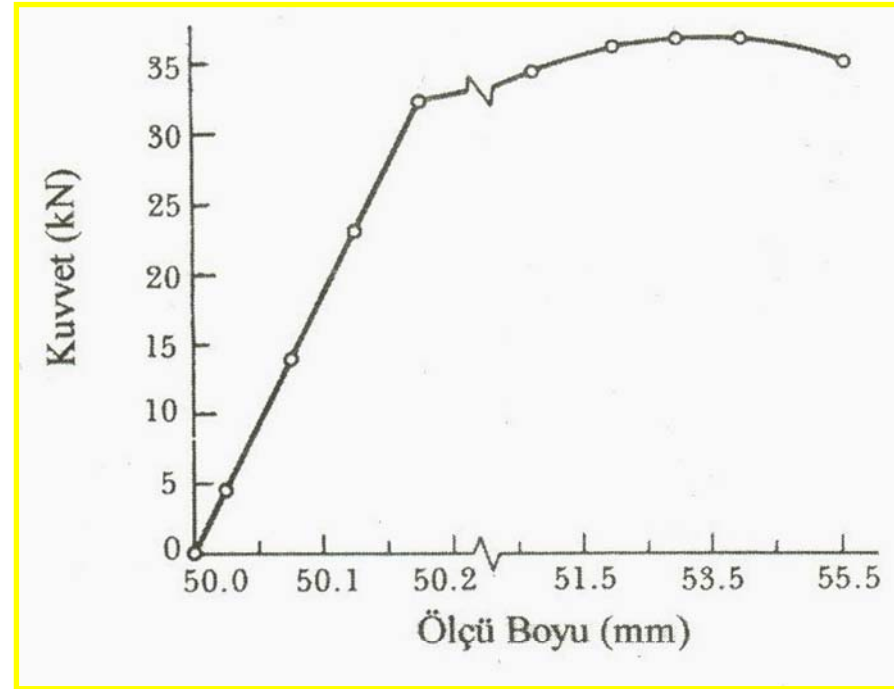
A_0 : Deneyden önceki orijinal kesit alanı

l_0 : Ölçü işaretleri arasındaki ilk boy

l : Kuvvet (F) uygulandıktan sonraki ölçü işaretleri arasındaki boy.

□ 12.5 mm çapında Al-alaşımı test çubuğundan elde edilmiş yük-ölçü boyu verileri:

YÜK (kN)	ÖLÇÜ BOYU (mm)
0	50.00
4.5	50.02
13.4	50.07
22.3	50.13
31.2	50.18
33.4	50.75
35.2	52.00
35.7	53.00
35.7 (max)	54.00
33.8 (kopma)	55.13

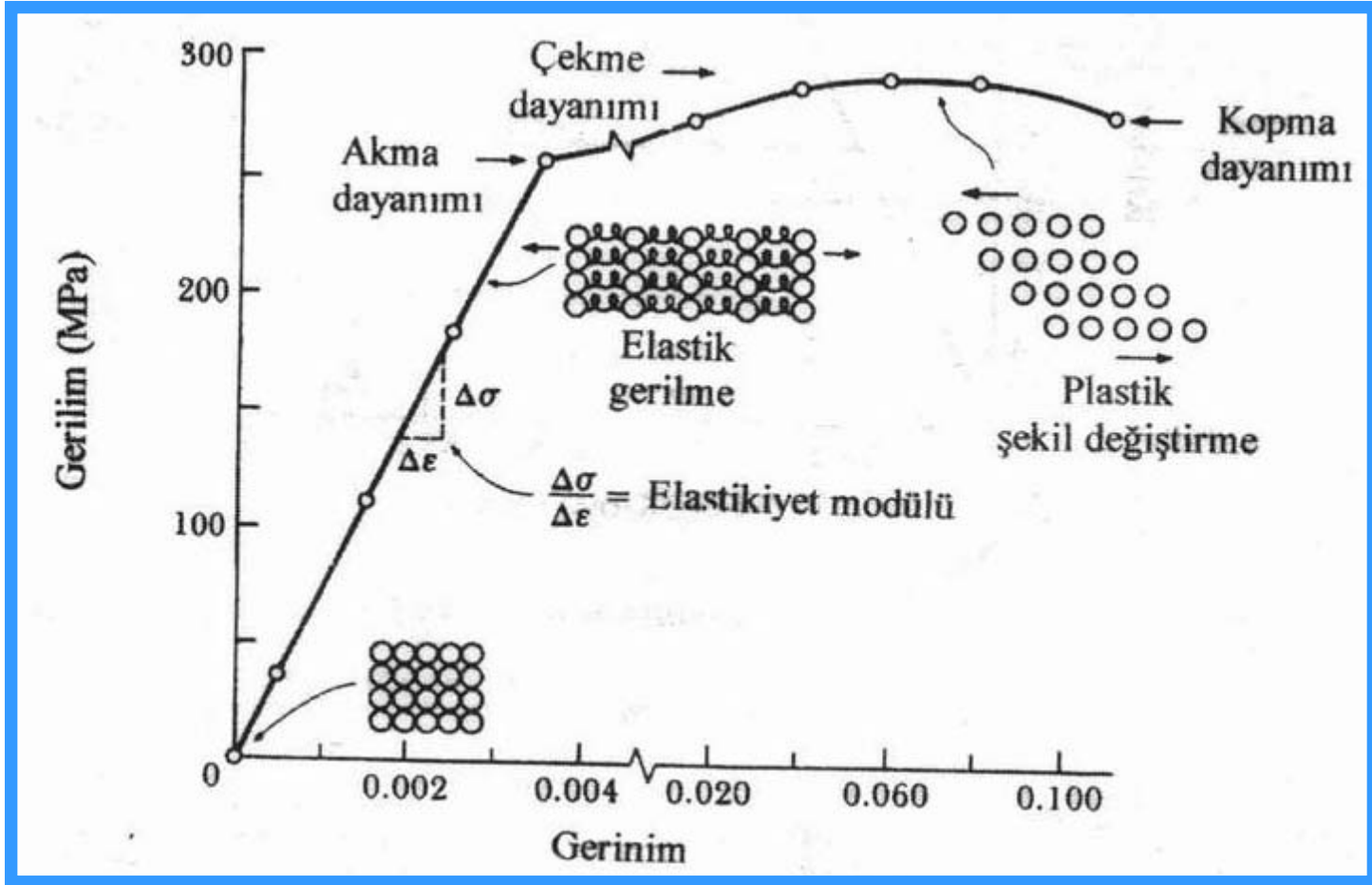


Yük-ölçü boyu bilgi grafiği

Yük-ölçü boyu verilerinin gerilim ve şekil değiştirme verilerine çevrimi:

YÜK (kN)	Mühendislik Gerilimi (MPa)	Ölçü Boyu (mm)	Gerinim
0	0	50,00	0
4,5	36,6	50,02	0,0004
13,4	108,9	50,07	0,0014
22,3	181,3	50,13	0,0026
31,2	253,7	50,18	0,0036
33,4	271,5	50,75	0,0150
35,2	286,2	52,00	0,0400
35,7	290,2	53,00	0,0600
35,7 (Max)	290,2	54,00	0,0800
33,8 (Kopma)	274,8	55,13	0,1062

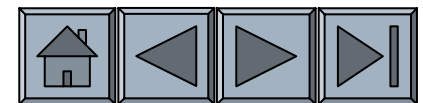
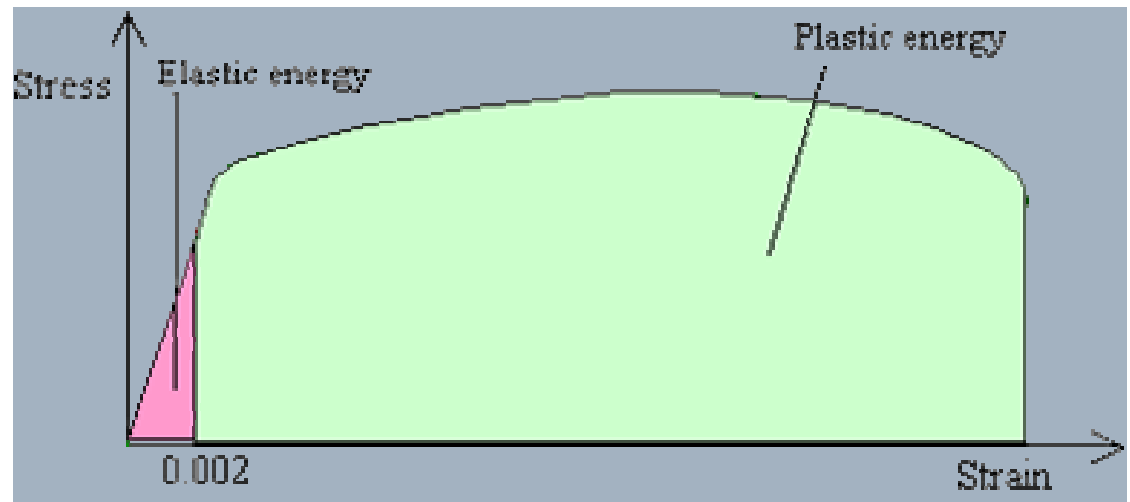
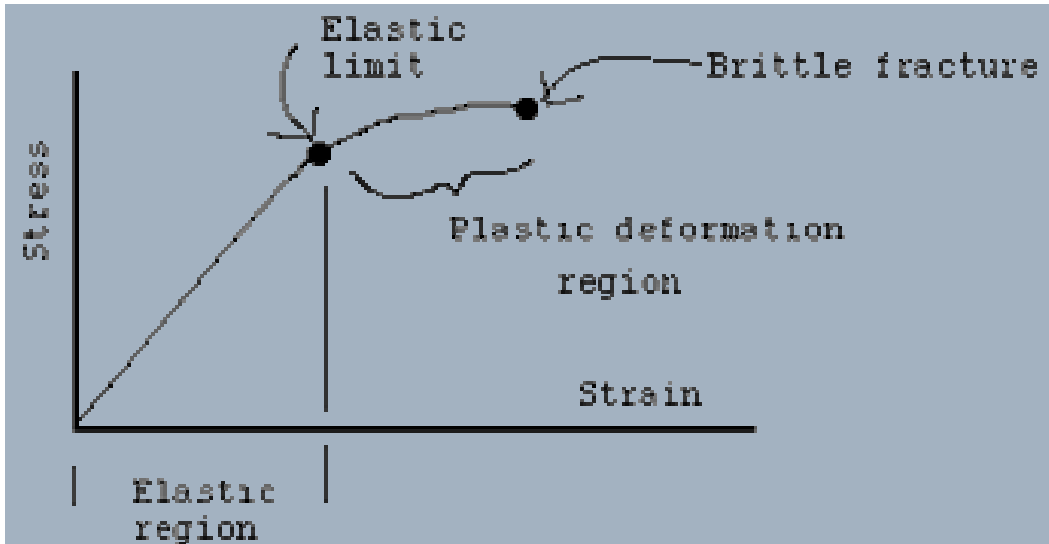
Aluminyum alaşımı için gerilim-şekil değiştirme eğrisi



Elastik-Plastik Şekil Değiştirme

- Büyük kuvvetler uygulandığında malzeme plastik davranış gösterir.
- Gerilme arttığında dislokasyonlar hareket etmeye başlar. Kayma olur ve malzeme plastik olarak şekil değiştirir.
- Kuvvet kaldırıldığında elastik şekil değişikliği ortadan kalkar fakat kaymanın neden olduğu değiştirme kalıcıdır.

Elastik-Plastik Şekil Değişirme

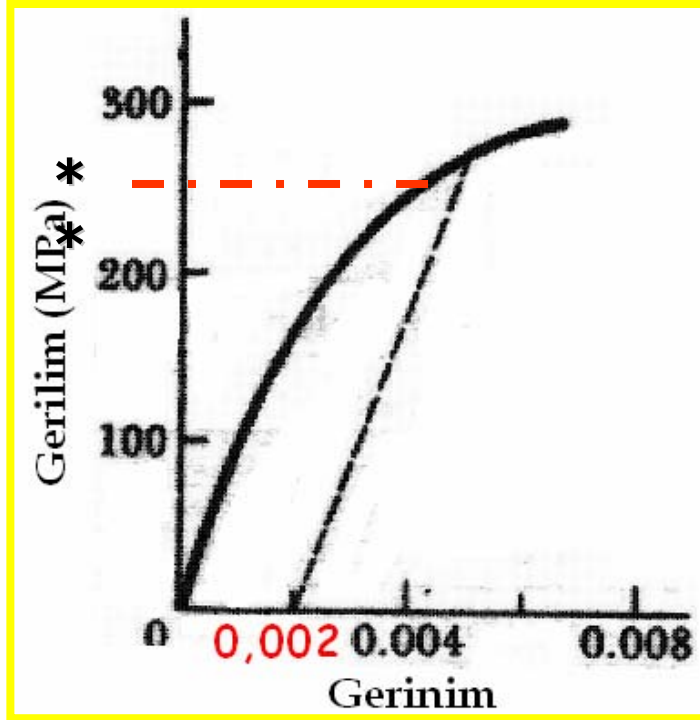


Akma Dayanımı

- ❑ Kaymanın fark edilir ve etkili olduğu durumdaki gerilmedir.
- ❑ Şekillendirme veya şekil değiştirme işlemi gerektiren parçaların üretiminde, gerilme, malzemenin şeklinde kalıcı bir değişiklik oluşturması için, akma dayanımının üzerinde olmalıdır.

Deneme (Proof veya Offset) Akma Dayanımı

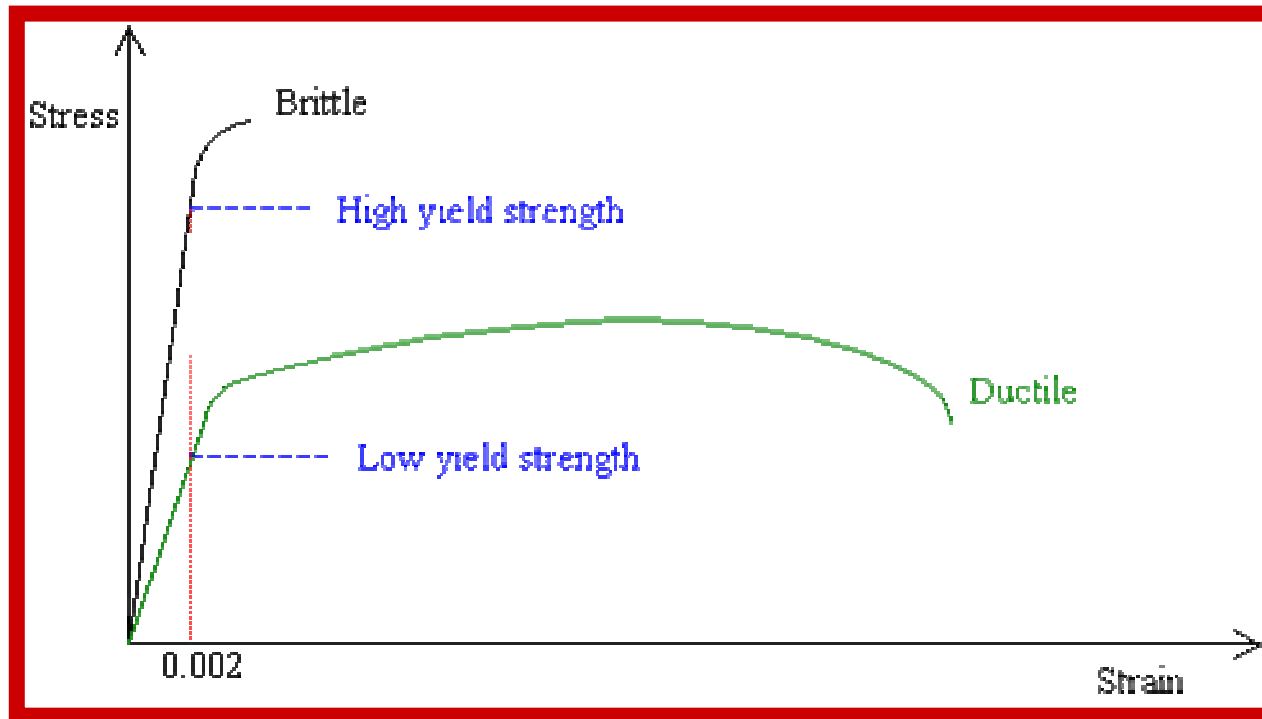
❑ Malzemelerde elastik davranıştan plastik davranışa geçiş gerilmesi kolaylıkla tespit edilemediğinde, akma gerilmesi:



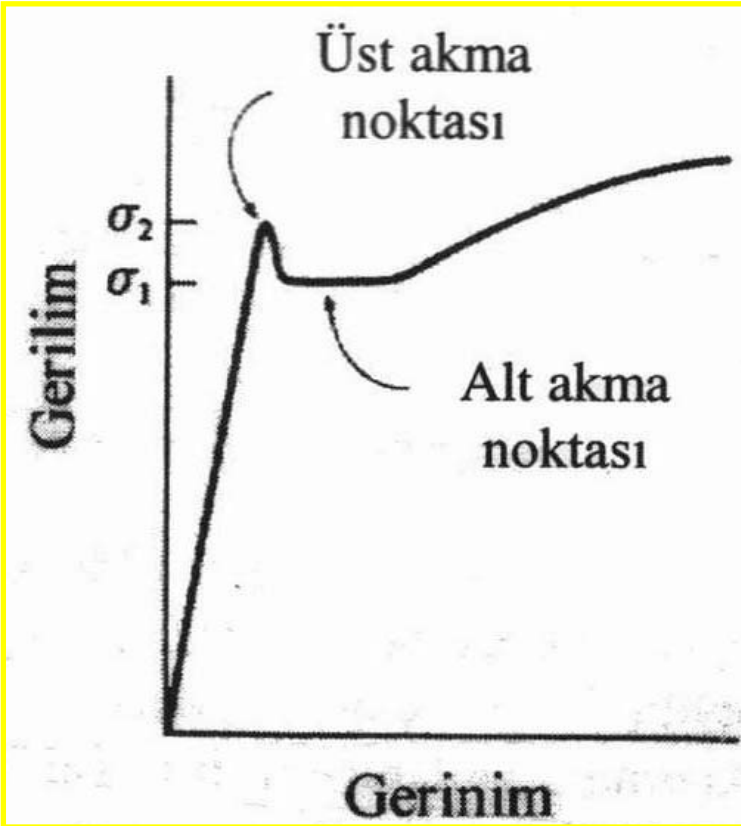
❑ Orijinden 0,002 deneme gerinimi ile gerilme-gerinim eğrisinin başlangıç kısmına paralel bir çizgi çizilebilir.

❑ %0,2 deneme akma gerilmesi, gerilme-gerinim eğrisinde çizilen kesikli çizgiyi kesen gerilmedir.

Düşük ve Yüksek Akma Değerleri

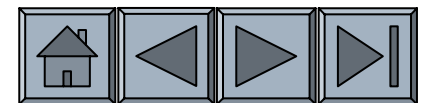


Çift Akma Noktası



❑ Az karbonlu çeliklerde görülür.

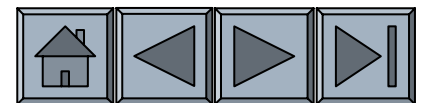
❑ Malzemenin σ_1 gerilmesinde plastik şekil değiştirmesi beklenir ancak küçük arayer atomlarının dislokasyonlar etrafında kümeleşmesi kaymaya engel olur ve akma noktasını σ_2 'ye yükseltir.





Çekme Dayanımı

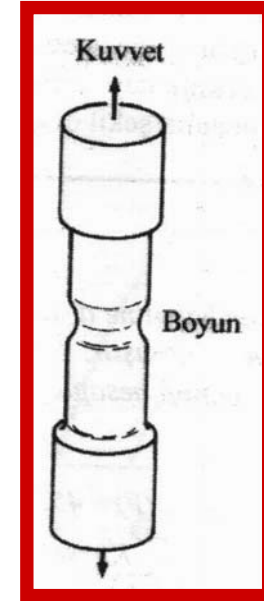
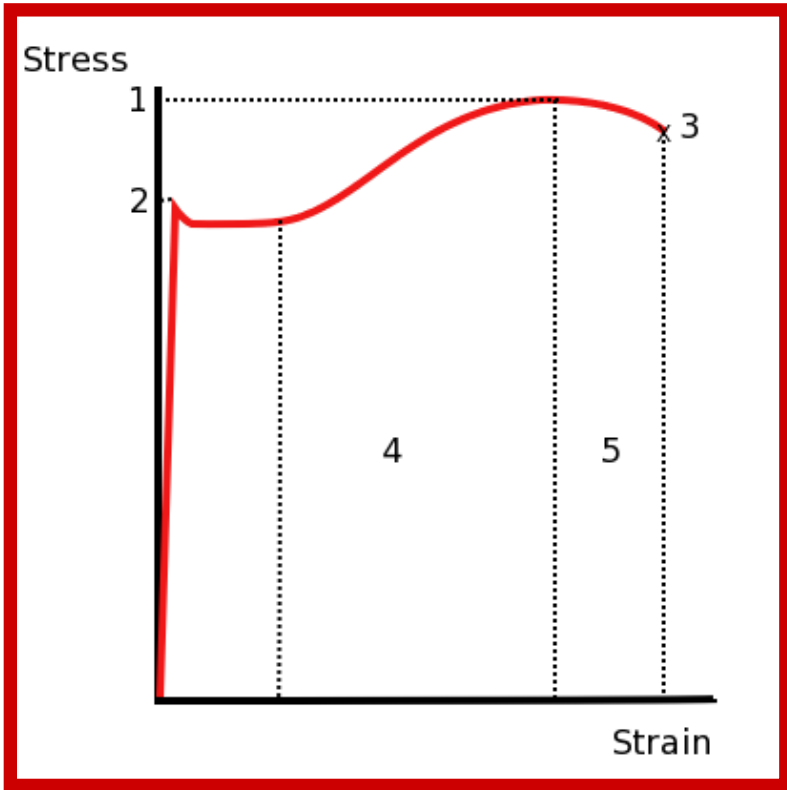
- ❑ Uygulanan en yüksek kuvvetle elde edilen gerilmedir.
- ❑ Mühendislik gerilme-gerinim eğrisi üzerindeki maksimum gerilmedir.
- ❑ Pek çok sünek malzemedeki, bazı noktalarda bir bölge diğer bölgelerden daha fazla şekil değiştirdiği ve kesit alanında büyük bir bölgesel daralma olduğu için, şekil değiştirme uniform olmaz.



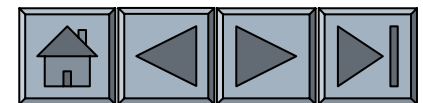
Çekme Dayanımı



Çekme dayanımı boyun vermenin başladığı gerilmedir.



- 1 - Ultimate Strength
- 2 - Yield Strength
- 3 - Rupture
- 4 - Strain hardening region
- 5 - Necking region





Gerçek Gerilme-Gerçek Gerinim

Alan devamlı değişmektedir, orijinal alan A_0 değildir.

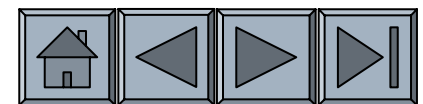
Gerçek Gerilme:

$$\sigma_g = \frac{F}{A}$$

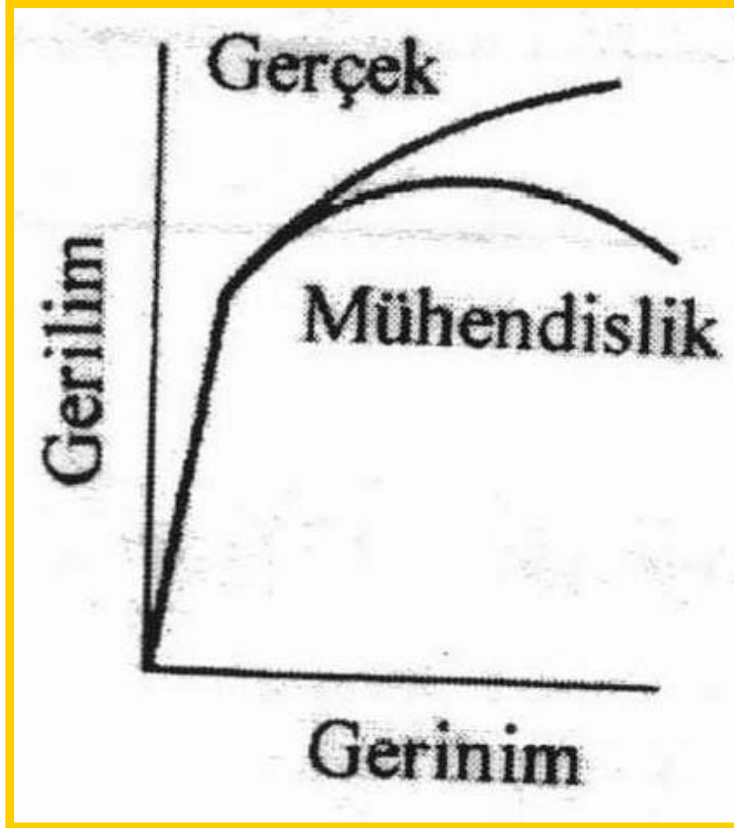
Gerçek Gerinim:

$$\varepsilon = \int \frac{dl}{l_0} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right)$$

- ❑ A: Kuvvetin uygulandığı gerçek alan
- ❑ $\ln(A_0/A)$, boyun vermeye başladıktan sonra kullanılmalıdır.



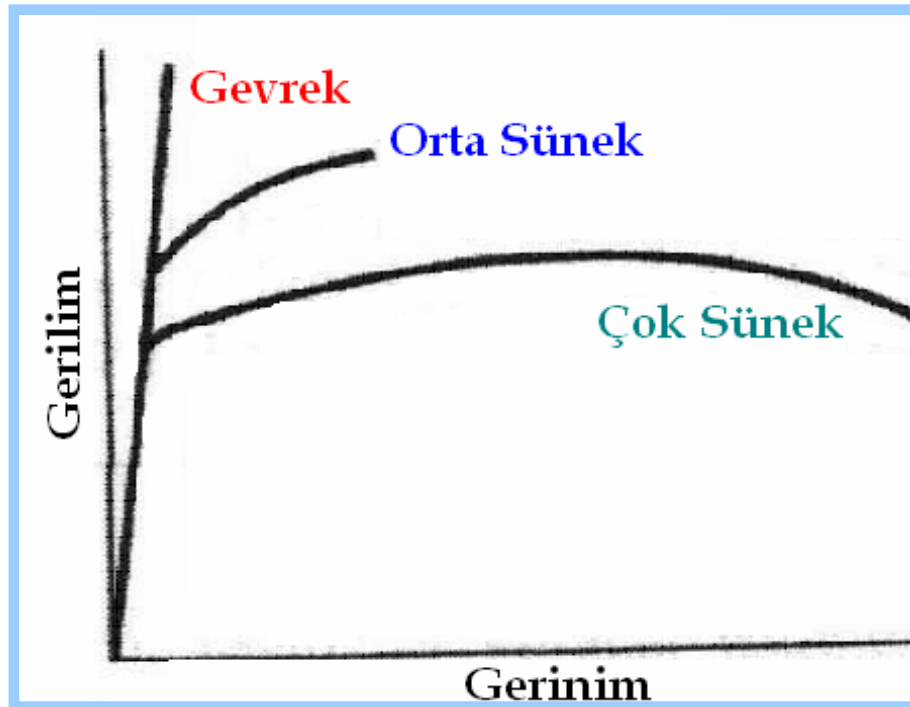
Gerçek Gerilme-Gerçek Gerinim



□ Çekme için gerekli yükün azalmasına karşın, yükün uygulandığı alanın daha fazla küçülmesinden dolayı boyun verme başladıktan sonra gerçek gerilme yükselir.

Gevrek Davranış

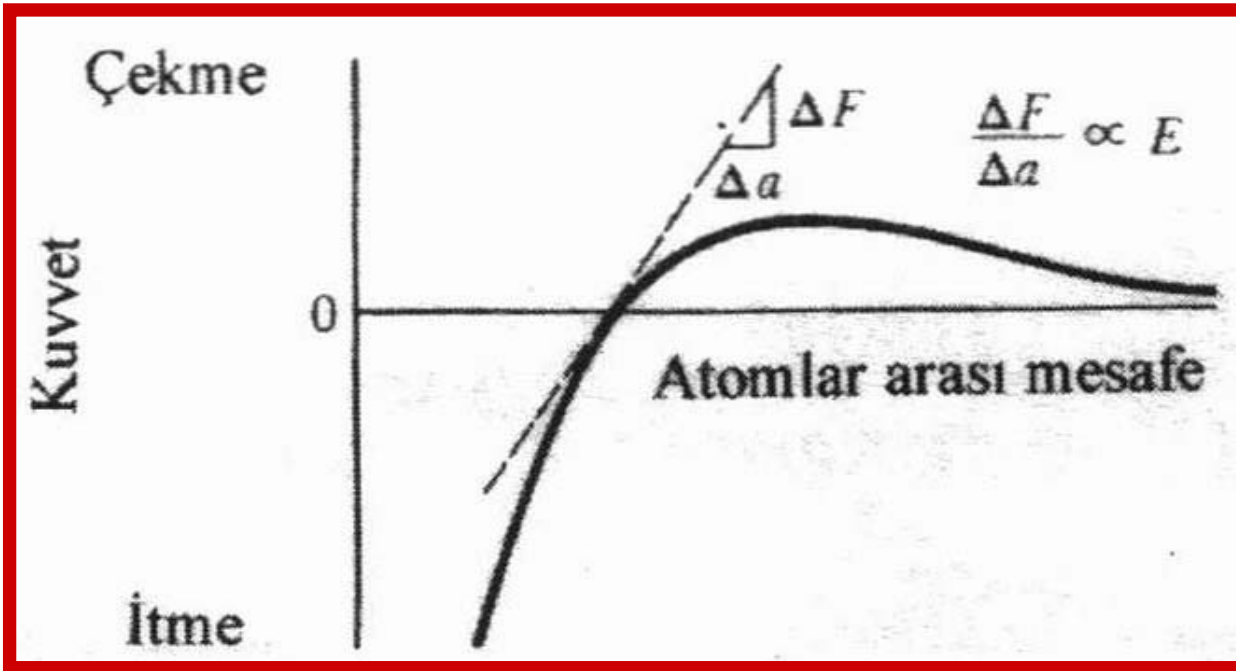
- ❑ Sünek malzemeler çekme dayanımında, maksimuma giden gerilme-gerinim eğrisi sergilerler.
- ❑ Çok gevrek malzemelerin, kopma noktalarında çekme ve kopma dayanımı aynı olur.



Elastisite Modülü (E)

- ❑ Elastik bölgedeki gerilme-gerinim eğrisinin eğimidir.
- ❑ Bu ilişki Hooke kanunu olarak ifade edilir;

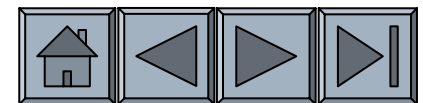
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$





Elastisite Modülü (E)

- Yüksek ergime sıcaklığına sahip malzemeler yüksek elastisite modülüne sahiptirler.
- Malzemenin rijitlik ölçüsüdür. Yüksek E değerine sahip malzeme elastik yükleme altında boyut ve şeklini korur.



Süneklik

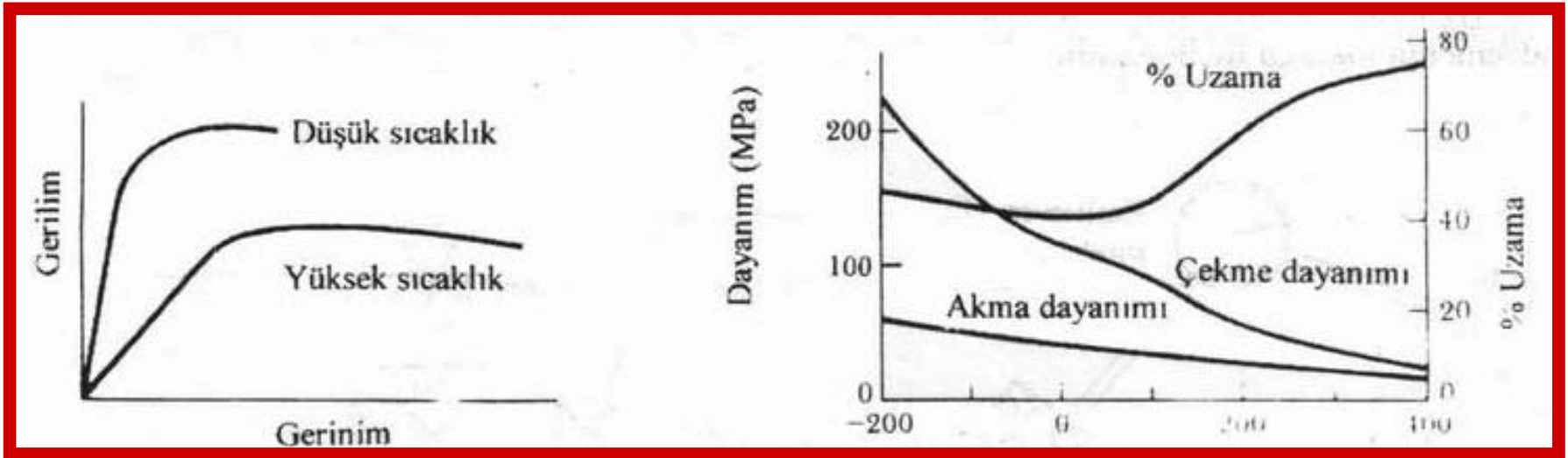
Malzemenin kopmaksızın dayanabileceği şekil değiştirme miktarıdır.

$$\% \text{ Uzama} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100$$

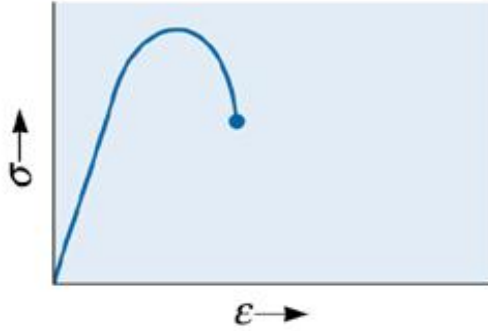
$$\% \text{ Kesit Daralması} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

Sıcaklık Etkileri

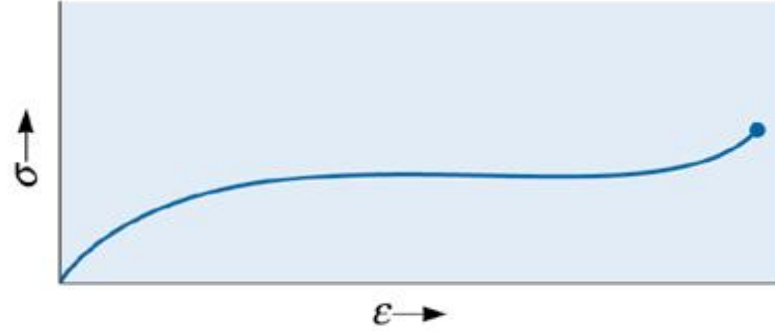
- ❑ Çekme özellikleri ısı tarafından önemli ölçüde etkilenir.
- ❑ Akma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü yüksek sıcaklıklarda azalırken, kopmaya kadar gerinim miktarı olarak ölçülen süneklik artar.



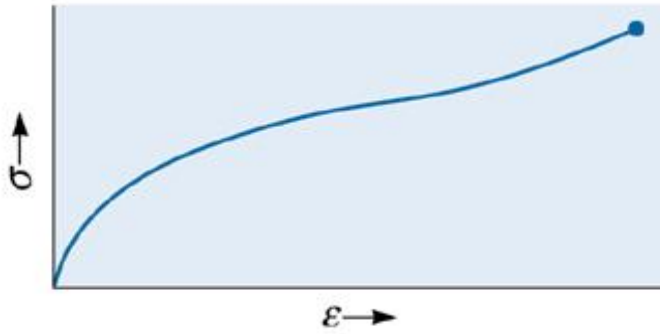
(a) Metal



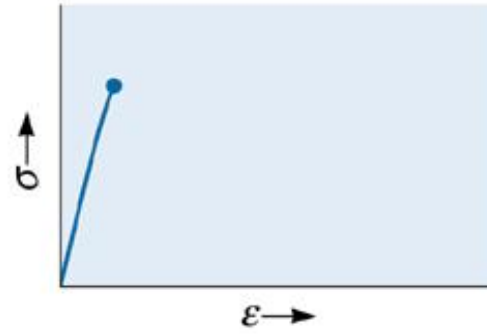
(b) Thermoplastic material above T_g



(c) Elastomer



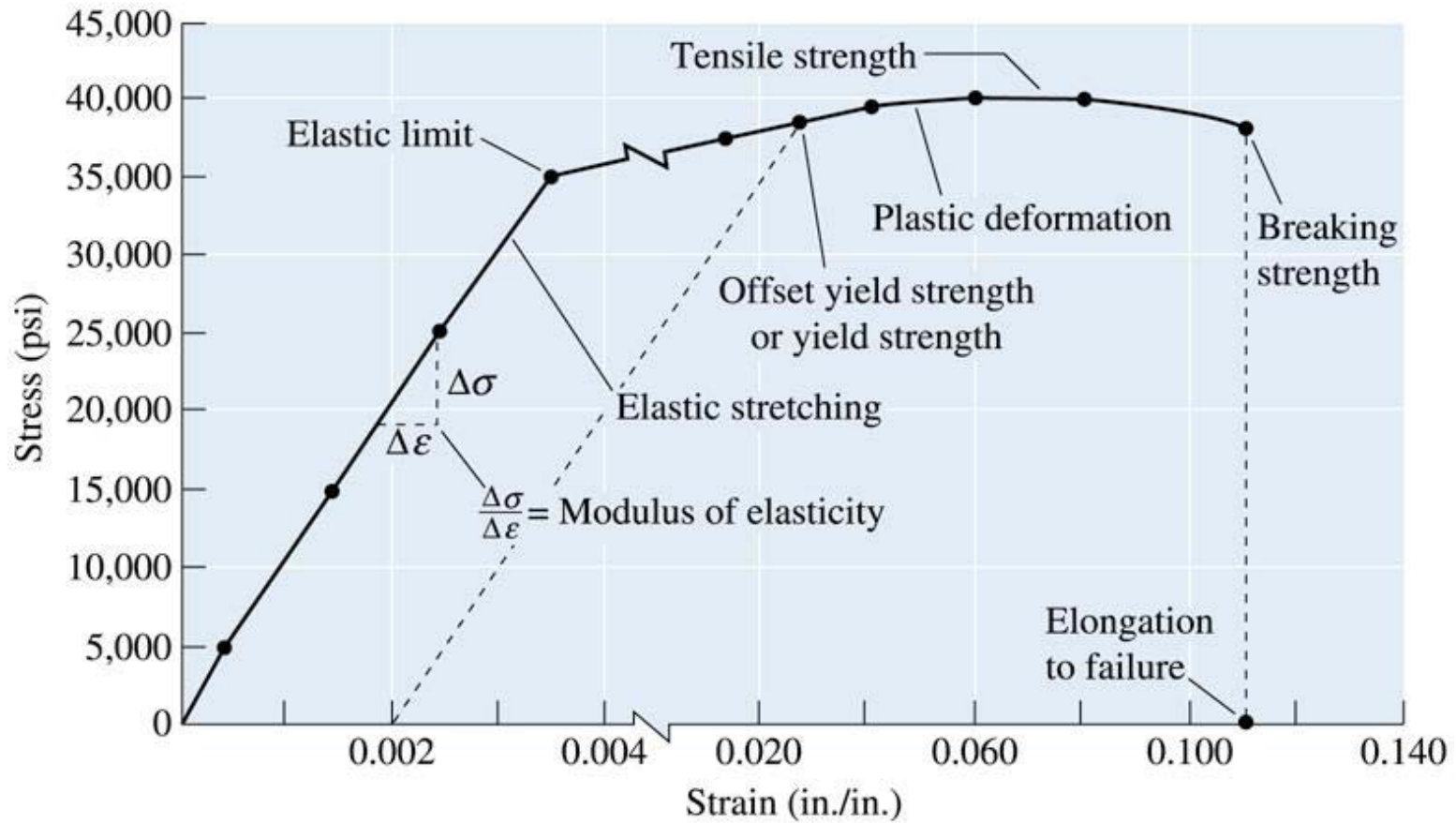
(d) Ceramics, glasses, and concrete



Değişik malzemeler için çekme gerilimi-gerinim eğrileri.

TABLE 6-1 ■ *The results of a tensile test of a 0.505-in. diameter aluminum alloy test bar, initial length (l_0) = 2 in.*

Measured Change in Length (Δl)		Calculated	
		Stress (psi)	Strain (in./in.)
Load (lb)	(in.)		
0	0.000	0	0
1000	0.001	5,000	0.0005
3000	0.003	15,000	0.0015
5000	0.005	25,000	0.0025
7000	0.007	35,000	0.0035
7500	0.030	37,500	0.0150
7900	0.080	39,500	0.0400
8000 (maximum load)	0.120	40,000	0.0600
7950	0.160	39,700	0.0800
7600 (fracture)	0.205	38,000	0.1025



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Alüminyum alaşımı için gerilim-gerinim eğrisi.

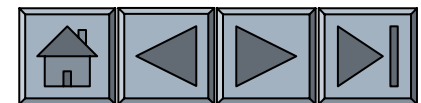


Örnek 6.1. Alüminyum Alaşımının Çekme Testi

Tablo 6.1'deki uzunluk verilerini mühendislik gerilim-gerinim verilerine çeviriniz.

TABLE 6-1 ■ *The results of a tensile test of a 0.505-in. diameter aluminum alloy test bar, initial length (l_0) = 2 in.*

Measured Change in Length (Δl)		Calculated	
Load (lb)	(in.)	Stress (psi)	Strain (in./in.)
0	0.000	0	0
1000	0.001	5,000	0.0005
3000	0.003	15,000	0.0015
5000	0.005	25,000	0.0025
7000	0.007	35,000	0.0035
7500	0.030	37,500	0.0150
7900	0.080	39,500	0.0400
8000 (maximum load)	0.120	40,000	0.0600
7950	0.160	39,700	0.0800
7600 (fracture)	0.205	38,000	0.1025



ÇÖZÜM

For the 1000-lb load:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{1000 \text{ lb}}{(\pi/4)(0.505 \text{ in.})^2} = \frac{1000 \text{ lb}}{0.2 \text{ in.}^2} = 5000 \text{ psi}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0.001 \text{ in.}}{2.000 \text{ in.}} = 0.0005 \text{ in./in.}$$

The results of similar calculations for each of the remaining loads are given in Table 6-1 and are plotted in Figure 6-10.

TABLE 6-2 ■ Units and conversion factors

1 pound (lb) = 4.448 Newtons (N)

1 psi = pounds per square inch

1 MPa = MegaPascal = MegaNewtons per square meter (MN/m^2)
= Newtons per square millimeter (N/mm^2) = 1,000,000 Pa

1 GPa = 1000 MPa = GigaPascal

1 ksi = 1000 psi = 6.895 MPa

1 psi = 0.006895 MPa

1 MPa = 0.145 ksi = 145 psi



Örnek 6.2. Süspansiyon Çubuğunun Tasarımı

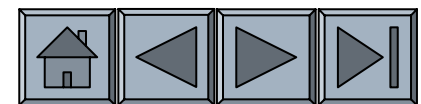
Bir alüminyum çubuk 45000 pound yüke dayanır. Yeterli güvenlik sağlanması için çubuk üzerine bindirilmesi gerekli yük 25000 psi'dir. Çubuk en az 150 in. uzunluğunda ancak 0.25 in'den fazla deforme olmaması gerekir. Uygun çubuğu tasarlayınız.

ÇÖZÜM

We can use the definition of engineering stress to calculate the required cross-sectional area of the rod:

$$A_0 = \frac{F}{\sigma} = \frac{45,000}{25,000} = 1.8 \text{ in.}^2$$

$$A_0 = \frac{\pi d^2}{4} = 1.8 \text{ in.}^2 \quad \text{or} \quad d = 1.51 \text{ in.}$$





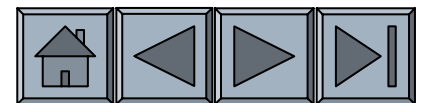
Example 6.2 SOLUTION(Continued)

However, the minimum length of the rod is specified as 150 in. To produce a longer rod, we might make the cross-sectional area of the rod larger. The minimum strain allowed for the 150-in. rod is:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0.25 \text{ in.}}{150 \text{ in.}} = 0.001667 \text{ in./in.}$$

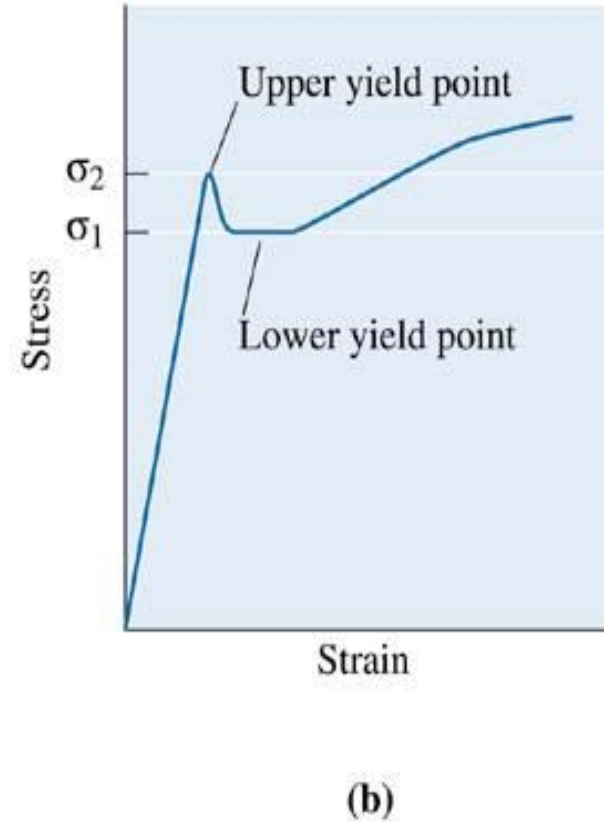
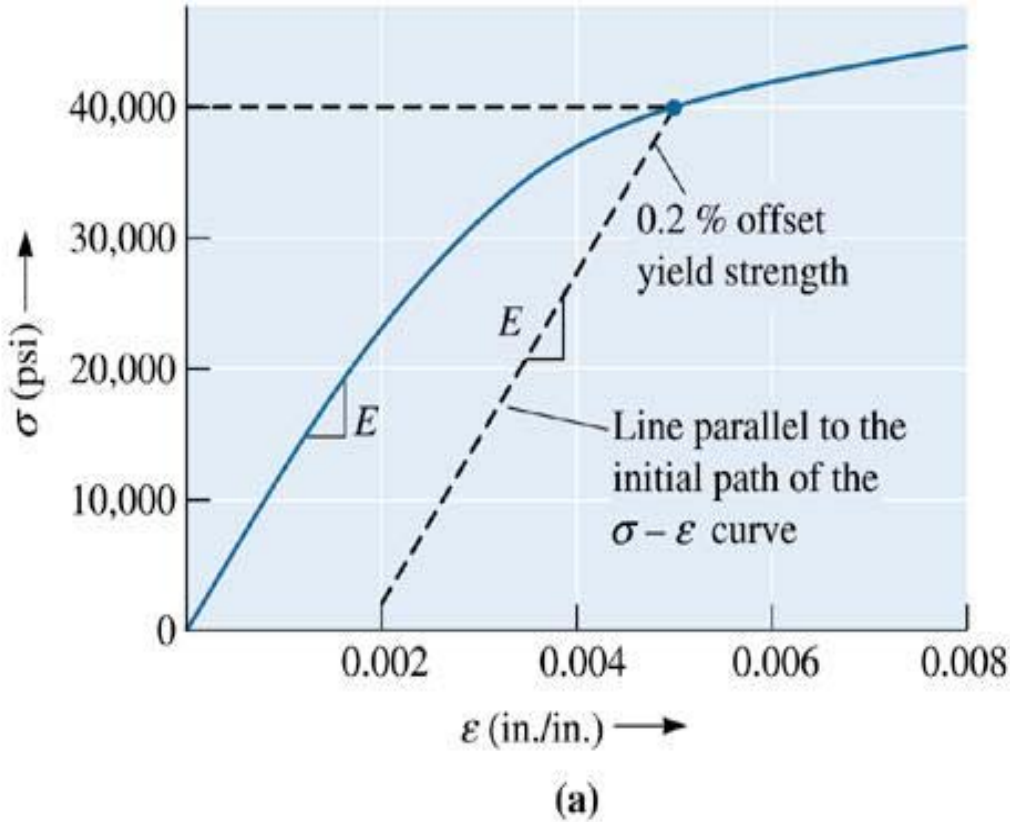
$$A_0 = \frac{F}{\sigma} = \frac{45,000 \text{ psi}}{16,670 \text{ lb}} = 2.70 \text{ in.}^2$$

In order to satisfy both the maximum stress and the minimum elongation requirements, cross-sectional area of the rod must be at least 2.7 in.², or a minimum diameter of 1.85 in.



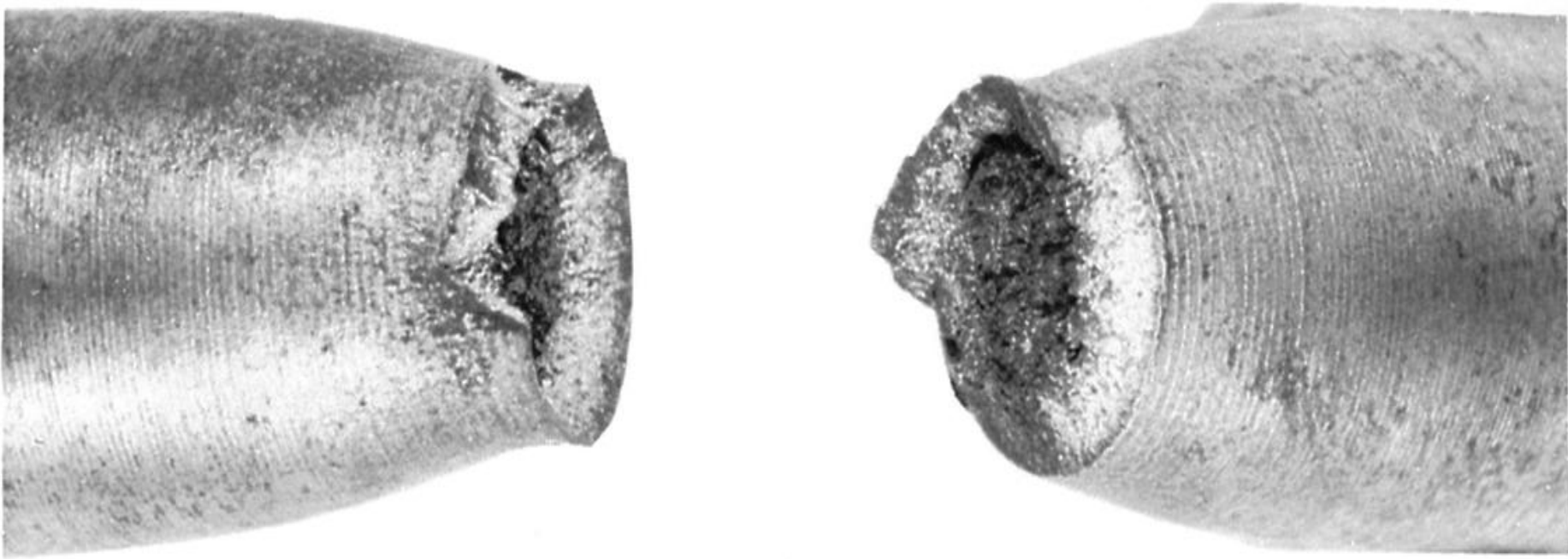
Bölüm 6.4. Çekme Testinden Elde Edilen Özellikler

- Elastik Limit
- Çekme mukavemeti, boyun verme
- Hooke kanunu
- Poisson oranı
- Resilience Modülü (E_r)
- Tokluk
- Süneklik



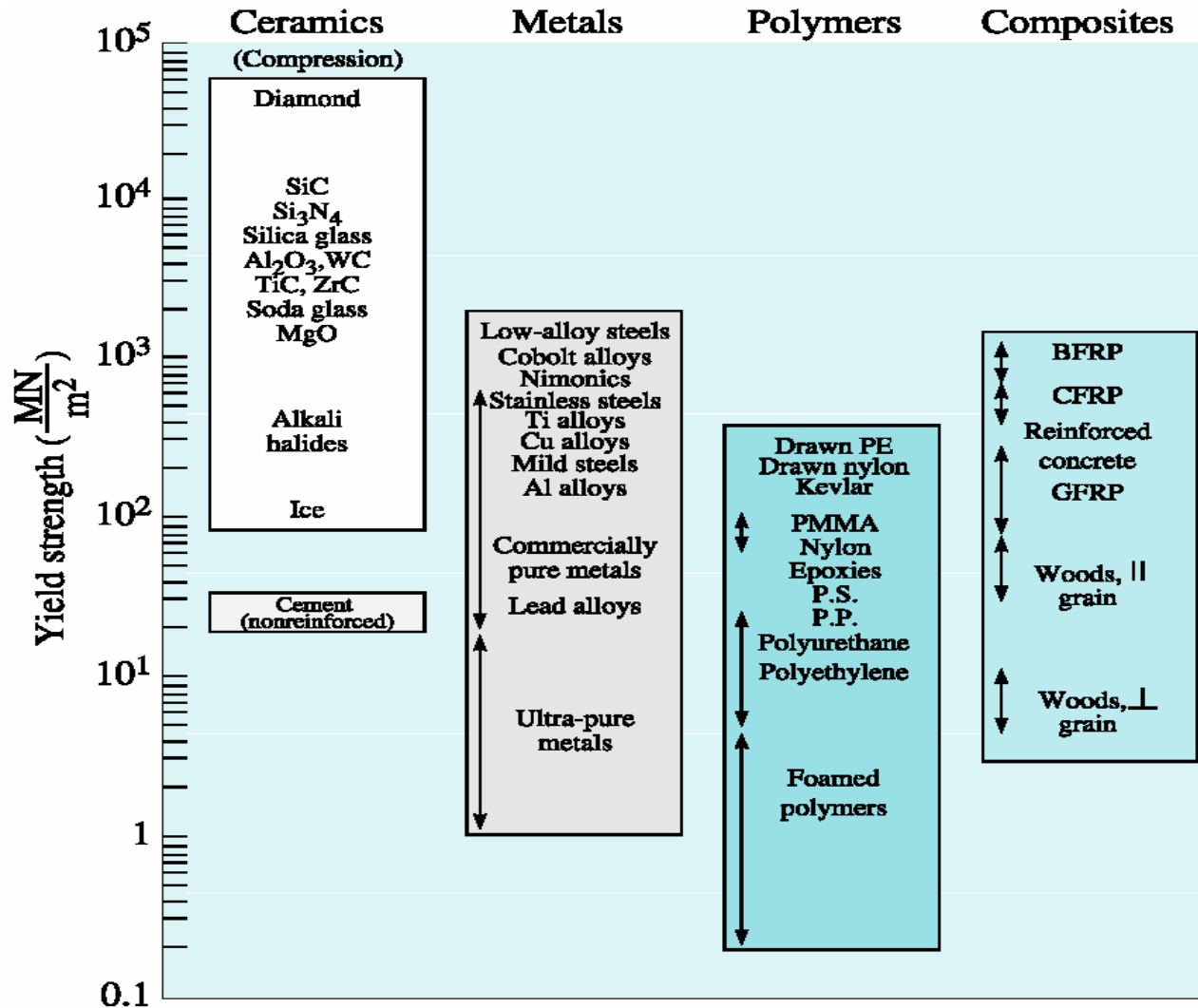
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning_{sm} is a trademark used herein under license.

a) Gri dökme demirde akma mukavemetinin % 0.2 ve (b) düşük karbonlu çelikte üst ve alt akma noktaları.



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson LearningTM is a trademark used herein under license.

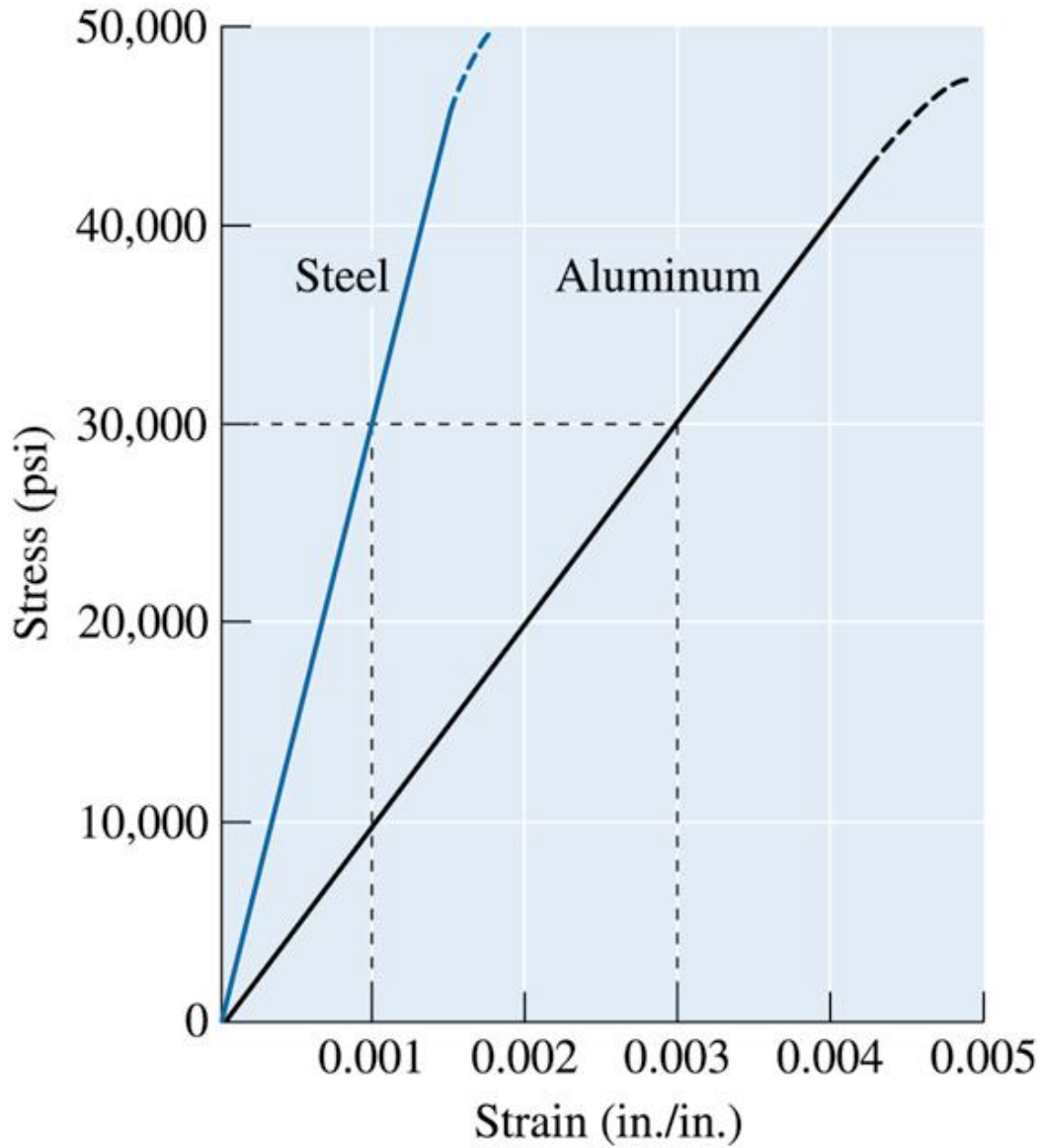
Çekme testi esnasında sünek malzemenin lokalize deformasyonu, boyun verme bölgesi. Kırılmış örnekte boyun bölgesinin görünümü.



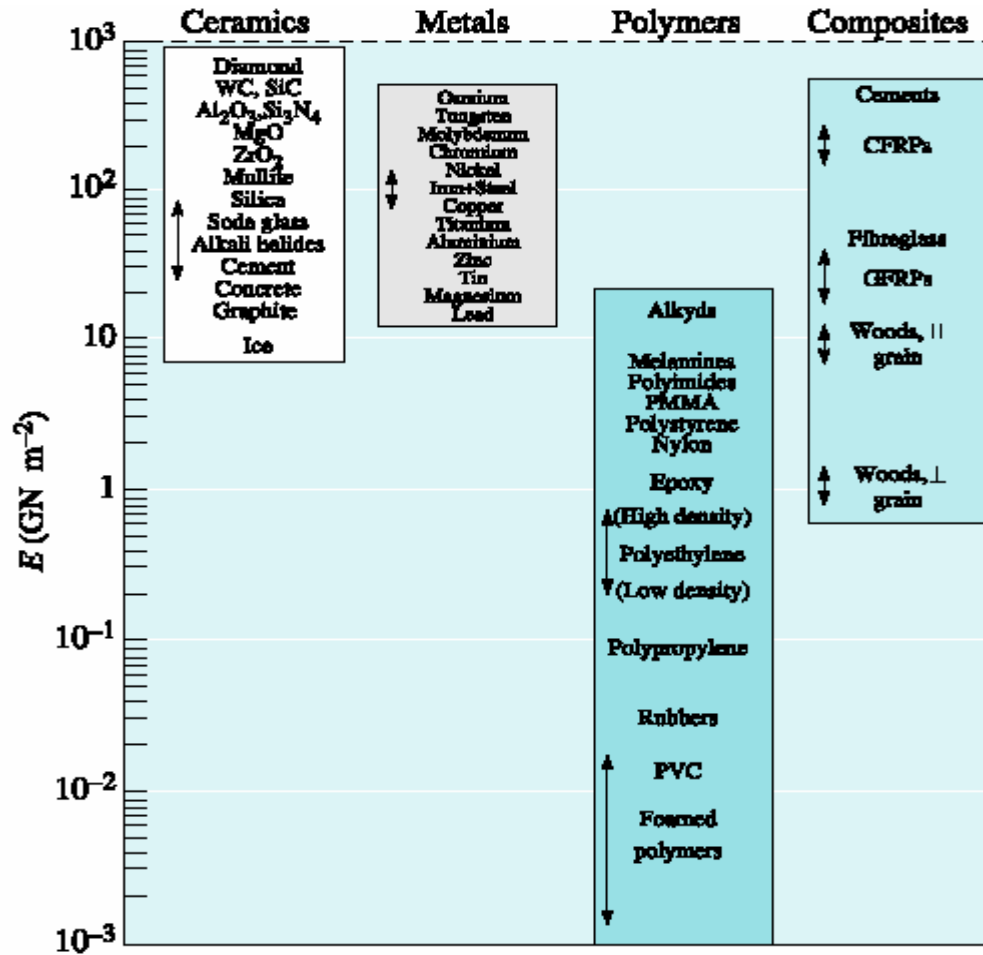
Değişik mühendislik malzemeleri için tipik akma mukavemetleri.

TABLE 6-3 ■ *Elastic properties and melting temperature (T_m) of selected materials*

Material	T_m (°C)	E (psi)	Poisson's ratio (μ)
Pb	327	2.0×10^6	0.45
Mg	650	6.5×10^6	0.29
Al	660	10.0×10^6	0.33
Cu	1085	18.1×10^6	0.36
Fe	1538	30.0×10^6	0.27
W	3410	59.2×10^6	0.28
Al ₂ O ₃	2020	55.0×10^6	0.26
Si ₃ N ₄		44.0×10^6	0.24



Çelik ve alüminyumun elastik davranışlarının karşılaştırılması. Belirli bir gerilim için alüminyum çelikten üç kez fazla elastik olarak deforme olur.



Değişik mühendislik malzemelerinin elastik modülleri.



Örnek 6.3. Al Alaşımının Elastisite Modülü

Örnek 6.1'deki veriyi kullanarak alüminyum alaşımının elastik modülünü hesaplayınız? Bu modülü kullanarak 50 inç'lik bir çubuğun deformasyon sonrası uzunluğunu bulunuz? Gerilim olarak 30000 psi uygulandığını göz önüne alınız.

ÇÖZÜM

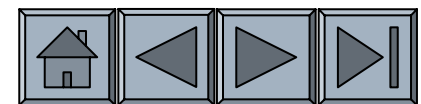
When a stress of 35,000 psi is applied, a strain of 0.0035 in./in. is produced. Thus:

$$\text{Modulus of elasticity} = E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{35,000 \text{ psi}}{0.0035} = 10 \times 10^6 \text{ psi}$$

From Hooke's law:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{30,000 \text{ psi}}{10 \times 10^6} = 0.0003 = \text{in./in.} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

$$l = l_0 + \varepsilon l_0 = 50 + (0.003)(50) = 50.15 \text{ in.}$$





Örnek 6.4. Al Alaşımının Sünekliği

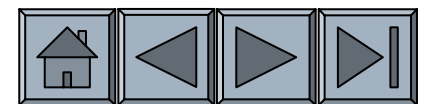
Örnek 6.1'deki alüminyum alaşımının kırılma sonrası son uzunluğunun 2.195 in. ve son çapının 0.398 in. olduğunu varsayınız. Sünekliğini hesaplayınız?

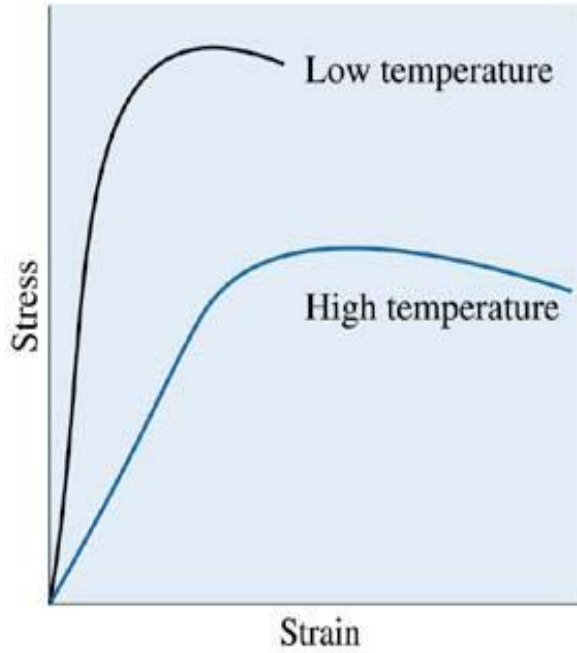
ÇÖZÜM

$$\% \text{ Elongation} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{2.195 - 2.000}{2.000} \times 100 = 9.75\%$$

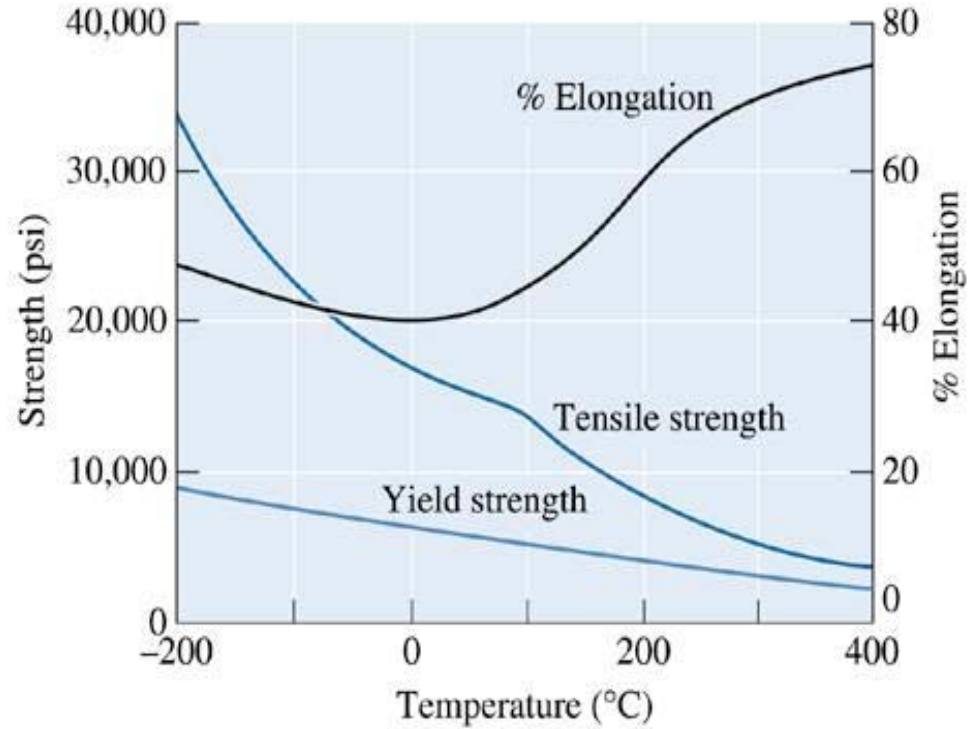
$$\begin{aligned} \% \text{ Reduction in area} &= \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \\ &= \frac{(\pi/4)(0.505)^2 - (\pi/4)(0.398)^2}{(\pi/4)(0.505)^2} \times 100 \\ &= 37.9\% \end{aligned}$$

The final length is less than 2.205 in. (see Table 6-1) because, after fracture, the elastic strain is recovered.





(a)



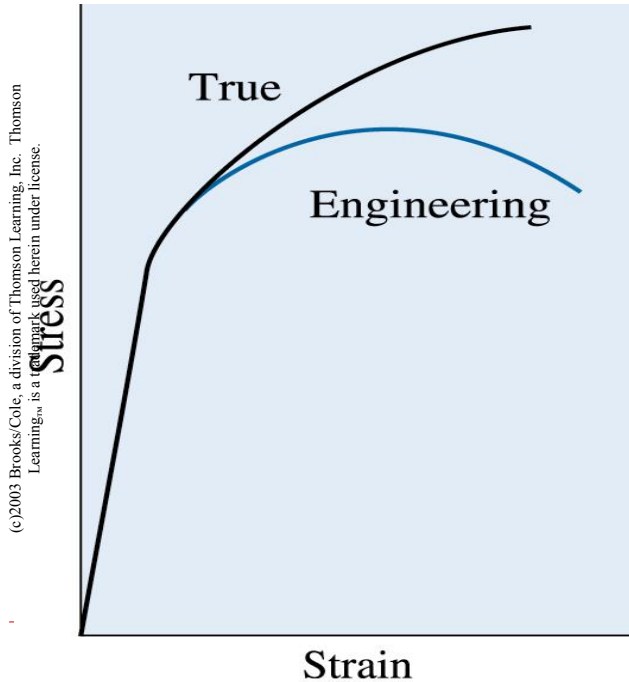
(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[™] is a trademark used herein under license.

Sıcaklığın (a) gerilim-gerinim eğrisi üzerine (b) alüminyumun mekanik özellikleri üzerine etkisi.

Bölüm 6.5. Gerçek Gerilim ve Gerçek Deformasyon

- **Gerçek gerilim** Numuneye o anda uygulanan yükün o andaki kesite bölümü ile elde edilen gerilimdir. **True Gerilim/deformasyon** Gerçek boyutları kullanarak hesaplanan gerilimdir. $\epsilon_t \ln(l/l_0)$.



Gerçek gerilim-gerinim diyagramı ve mühendislik gerilim gerinim diyagramı.

Örnek 6.5. Gerçek Gerilim ve Gerçek Deformasyon Hesaplaması



Örnek 6.1'deki alüminyum alaşımı için gerçek gerilim – mühendislik gerilim ve gerçek deformasyon mühendislik deformasyon miktarlarını (a) maksimum yük ve (b) kopma anında hesaplayınız? Maksimum yükte çap 0.497 in. ve kopma anında 0.398 in'dir.

ÇÖZÜM

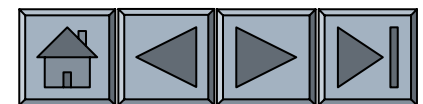
(a) At the tensile or maximum load:

$$\text{Engineering stress} = \frac{F}{A_0} = \frac{8000 \text{ lb}}{(\pi/4)(0.505 \text{ in.})^2} = 40,000 \text{ psi}$$

$$\text{True stress} = \frac{F}{A} = \frac{8000}{(\pi/4)(0.497)^2} = 41,237 \text{ psi}$$

$$\text{Engineering strain} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{2.120 - 2.000}{2.000} = 0.060 \text{ in./in.}$$

$$\text{True strain} = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{2.120}{2.000}\right) = 0.058 \text{ in./in.}$$



ÇÖZÜM (devamı)

(b) At fracture:

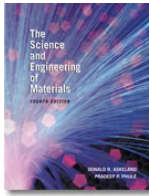
$$\text{Engineering stress} = \frac{F}{A_0} = \frac{7600 \text{ lb}}{(\pi/4)(0.505 \text{ in.})^2} = 38,000 \text{ psi}$$

$$\text{True stress} = \frac{F}{A} = \frac{7600}{(\pi/4)(0.398 \text{ in.})^2} = 61,090 \text{ psi}$$

$$\text{Engineering strain} = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0.205}{2.000} = 0.1025 \text{ in./in.}$$

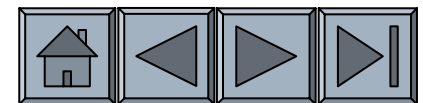
$$\begin{aligned} \text{True strain} &= \ln\left(\frac{A_0}{A_f}\right) = \ln\left[\frac{(\pi/4)(0.505)^2}{(\pi/4)(0.398)^2}\right] \\ &= \ln(1.610) = 0.476 \text{ in./in.} \end{aligned}$$

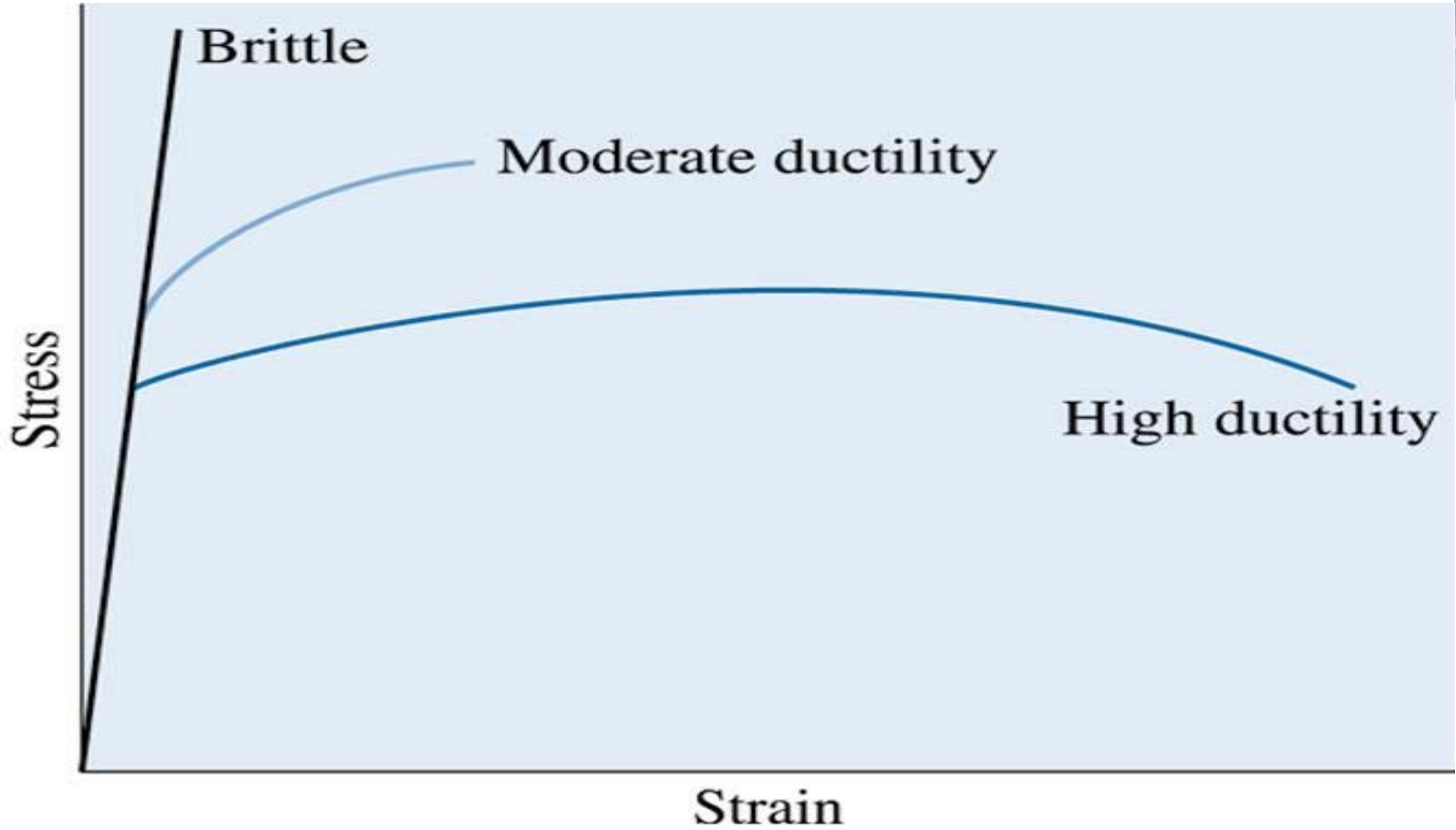
The true stress becomes much greater than the engineering stress only after necking begins.



Bölüm 6.6. Gevrek Malzemelerde Eğme Testi

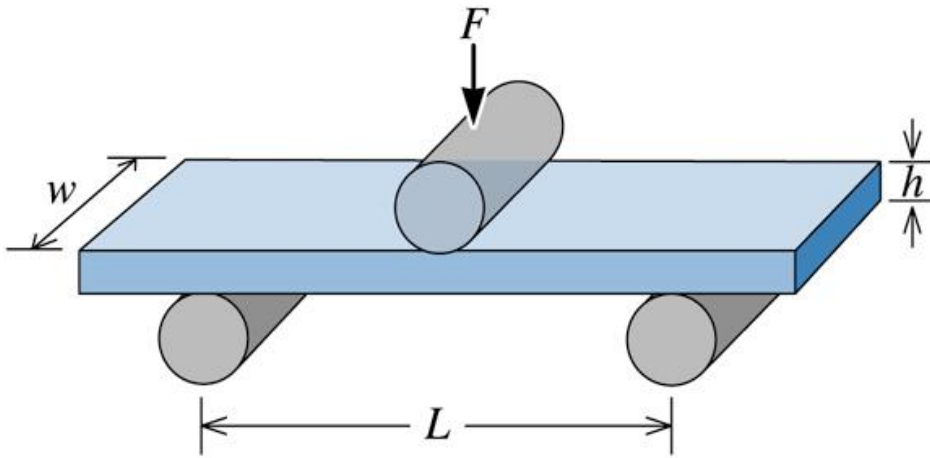
- **Eğme testi** – Malzemenin statik veya yavaş uygulanan yüke gösterdiği direnci ölçer. Malzeme iki ucundan desteklenerek yük malzemenin ortasına uygulanır.
- **Flexural mukavemet veya kırılma modülü** –Eğme testinde numunenin kırılması için gerekli gerilim.
- **Flexural modul** – Eğme testi sonuçlarından hesaplanan elastisite modülüdür. Bu gerilim-defleksiyon eğrisinin eğimidir.



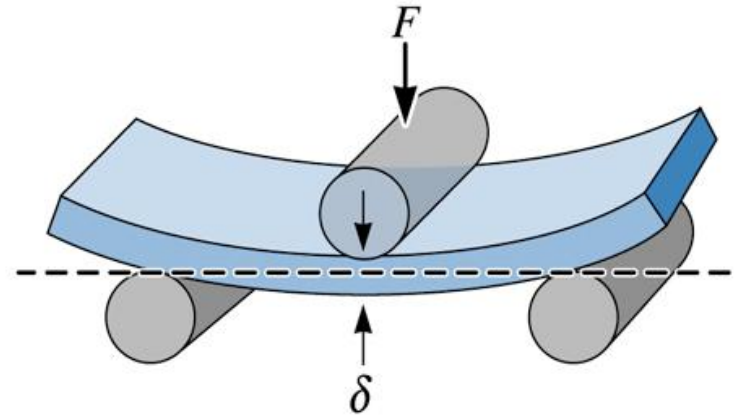


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

Gevrek malzemelerin gerilim-gerinim eğrilerinin sünek malzemelerle karşılaştırması.



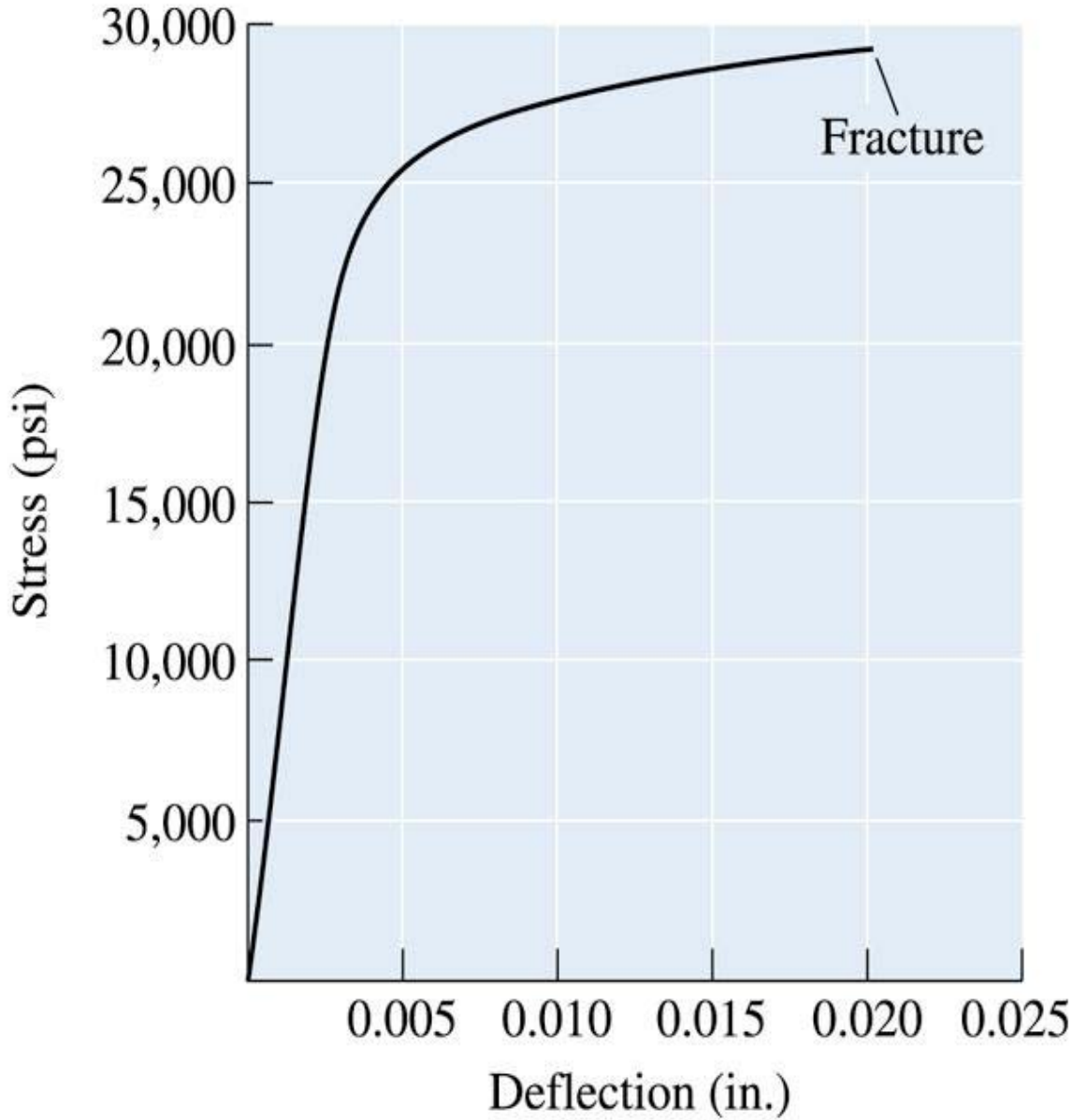
(a)



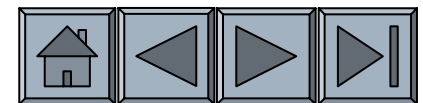
(b)

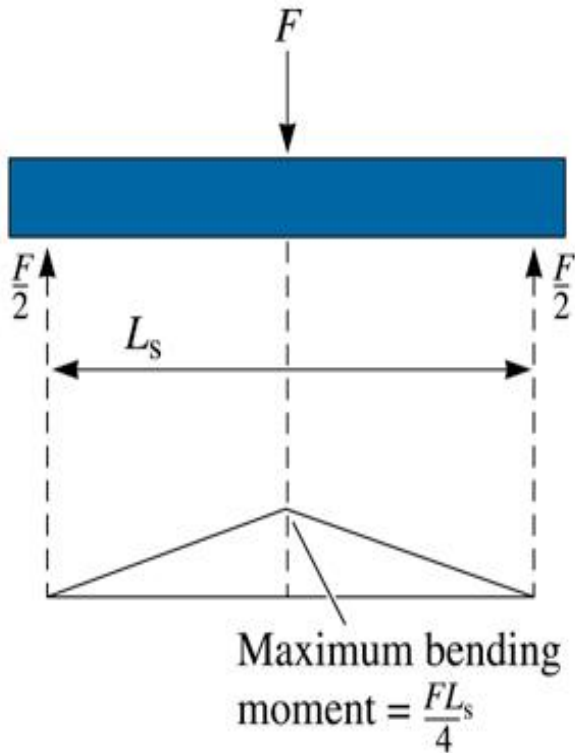
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

(a) Gevrek malzemelerin gerilimini ölçmede kullanılan eğme testi (b) eğme testi ile bulunan defleksiyon δ .

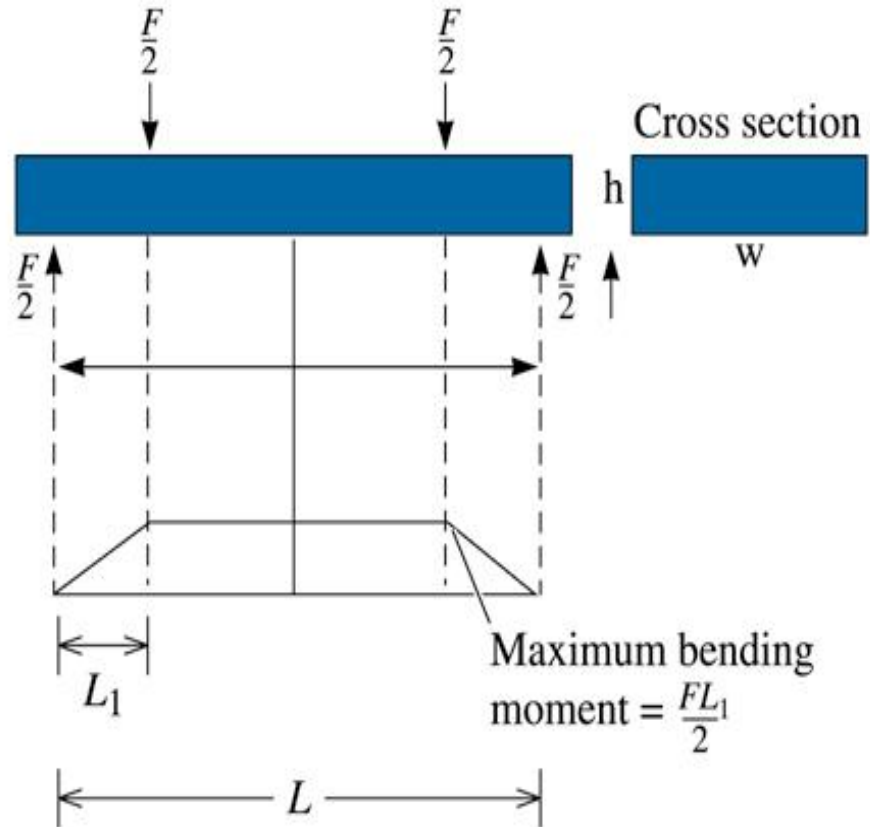


**MgO' nun
eğme
testinden elde
edilen gerilim
defleksiyon
eğrisi.**





(a)



(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

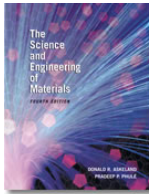
(a) Üç nokta ve (b) dört nokta eğme testi

TABLE 6-4 ■ Comparison of the tensile, compressive, and flexural strengths of selected ceramic and composite materials

Material	Tensile Strength (psi)	Compressive Strength (psi)	Flexural Strength (psi)
Polyester—50% glass fibers	23,000	32,000	45,000
Polyester—50% glass fiber fabric	37,000	27,000 ^a	46,000
Al ₂ O ₃ (99% pure)	30,000	375,000	50,000
SiC (pressureless-sintered)	25,000	560,000	80,000

^a A number of composite materials are quite poor in compression.

Örnek 6.6. Kompozit Malzemelerin Flexural Mukavemeti



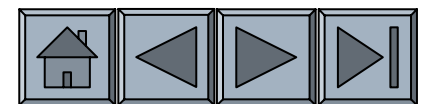
Cam fiberlerle güçlendirilmiş kompozit malzemenin flexural mukavemeti 45,000 psi ve flexural modülü 18×10^6 psi'dir. Örnek, 0.5 in. genişliğinde, 0.375 in. yüksekliğinde, ve 8 in. uzunluğunda, 5 in. aralıkla iki çubuk ile desteklenmiştir. Hiç plastik deformasyon olmadığını düşünerek malzemeyi koparmak için gerekli yükü ve kopma anındaki defleksiyonu hesaplayınız?

ÇÖZÜM

Based on the description of the sample, $w = 0.5$ in., $h = 0.375$ in., and $L = 5$ in. From Equation 6-15:

$$45,000 \text{ psi} = \frac{3FL}{2wh^2} = \frac{(3)(F \text{ lb})(5 \text{ in.})}{(2)(0.5 \text{ in.})(0.375 \text{ in.})^2} = 106.7F$$

$$F = \frac{45,000}{106.7} = 422 \text{ lb}$$



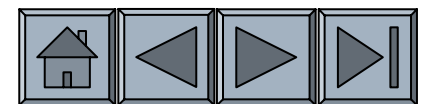


ÇÖZÜM

Therefore, the deflection, from Equation 6-14, is:

$$18 \times 10^6 \text{ psi} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta} = \frac{(5 \text{ in.})^3 (422 \text{ lb})}{(4)(0.5 \text{ in.})(0.375 \text{ in.})^3 \delta}$$
$$\delta = 0.0278 \text{ in.}$$

In this calculation, we did assume that there is no viscoelastic behavior and a linear behavior of stress versus strain.[8]



Bölüm 6.7. Malzemelerin Sertliği

- **Sertlik Testi** – Malzemenin yüzeyinin keskin bir obje ile delinmeye olan direncini ölçer.
- **Makro sertlik** – Malzemelerin genel sertlikleridir. >2 N büyük yük kullanılır.
- **Mikrosertlik**- 2N'un altında yük uygulanarak yapılan sertlik testidir. Ör: Knoop (HK).
- **Nano-sertlik** - 1–10 nm uzunluk skalasındaki malzemelerin çok düşük yükler kullanılarak (~ 100 μ N) sertliklerinin alınmasıdır.

Sertlik Deneyinin Yapısı

- Sertlik testinde sert bir nesne malzeme yüzeyine batırılmak istendiğinde, malzemenin gösterdiği direnç ölçülür.
- En çok kullanılan sertlik testleri Rockwell ve Brinell sertlik testleridir.

Brinell Sertlik Testi

- Genellikle 10 mm çapında sert çelik bir küre malzeme yüzeyine bastırılır.

$$HBN = \frac{F}{(\pi 2)D(D - \sqrt{D^2 - D_i^2})}$$

F: Uygulanan kuvvet (kg)

D: Bilyanın çapı (mm)

D_i : İzin çapı (mm)

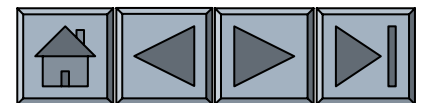
Rockwell Sertlik Testi

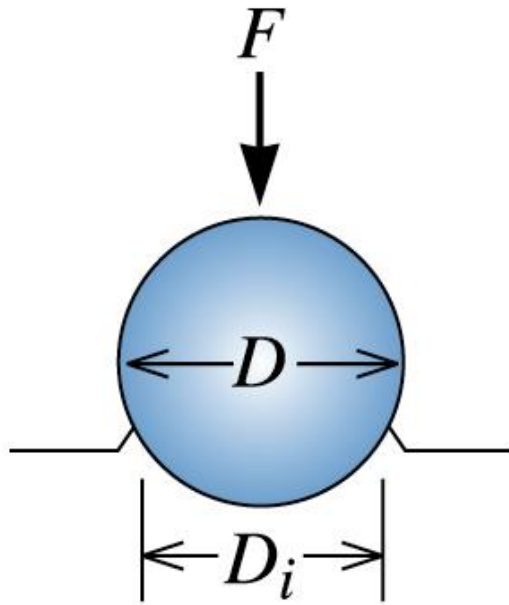
- ❑ Yumuşak malzemeler için küçük çaplı çelik küreler sert malzemeler için ise elmas koni kullanılır.
- ❑ Kürenin iz derinliği cihaz tarafından ölçülür ve Rockwell sayısına çevrilir.



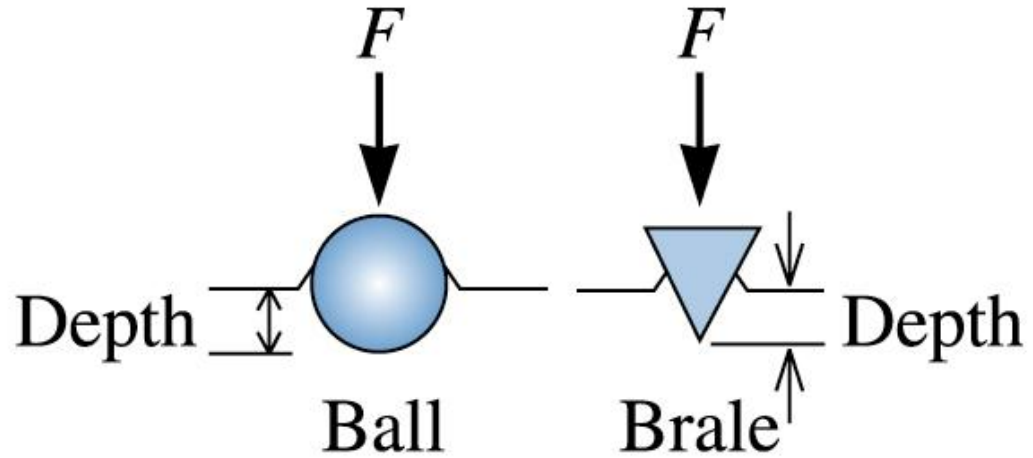
Vickers ve Knoop Sertlik Testleri

Bu testlerde çok küçük izler oluşturulur ve bu izleri ölçmek için mikroskop kullanılır.





Brinell test



Rockwell test

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Brinell ve Rockwell sertlik testleri.

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 <i>A</i>	Brale	60 kg	Very hard materials
Rockwell <i>B</i>	1/16-in. ball	100 kg	Brass, low-strength steel
Rockwell <i>C</i>	Brale	150 kg	High-strength steel
Rockwell <i>D</i>	Brale	100 kg	High-strength steel
Rockwell <i>E</i>	1/8-in. ball	100 kg	Very soft materials
Rockwell <i>F</i>	1/16-in. ball	60 kg	Aluminum, soft materials
Vickers	Diamond pyramid	10 kg	All materials
Knoop	Diamond pyramid	500 g	All materials

Bölüm 6.8. Deformasyon Hızı Etkisi ve Darbe Davranışı

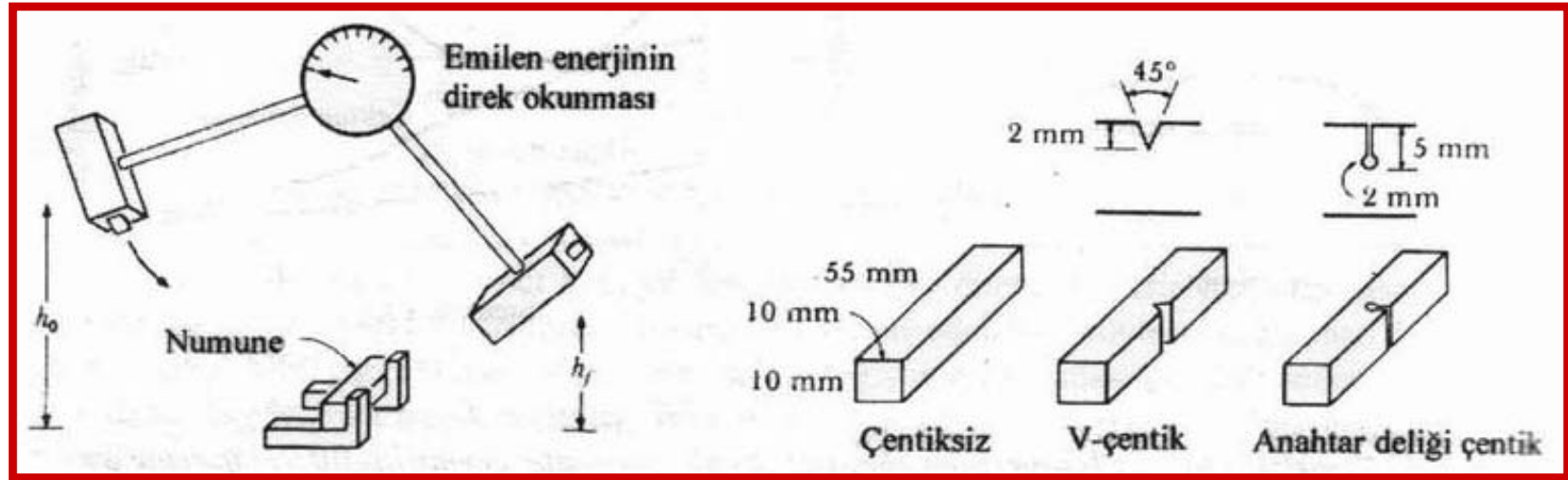
- **Darbe testi** –Malzemenin ani yük altında kırılmadan absorbe etme yeteneğini ölçer.
- **Darbe Enerjisi** – Yük aniden uygulandığında numunenin kırılması için gerekli enerjidir.
- **Darbe tokluğu** – Malzemenin (genelde çentiklenmiş numunenin) kırılma esnasında çarpma testinde absorbe edilen enerjidir.
- **Kırılma Tokluğu** – Malzemedede hatanın varlığında malzemenin kırılmaya gösterdiği dirençtir.

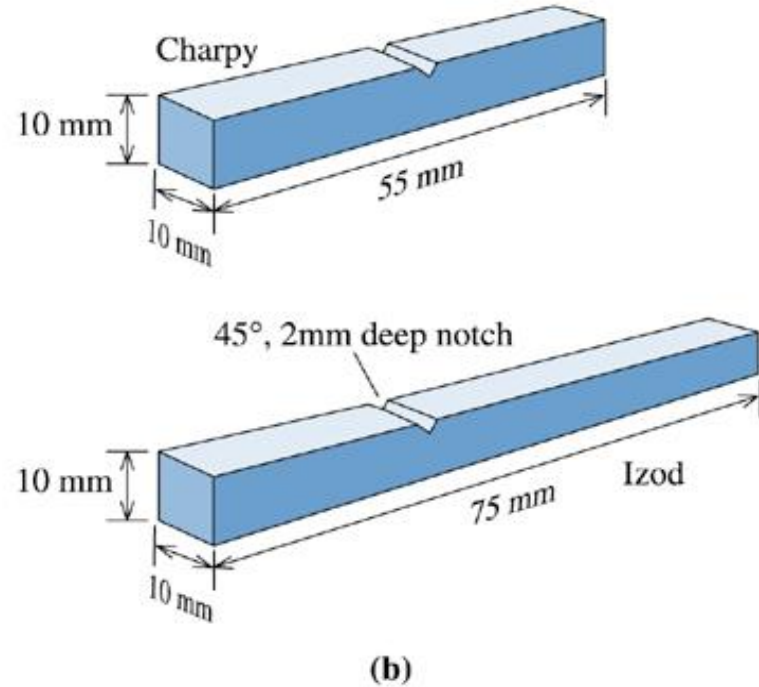
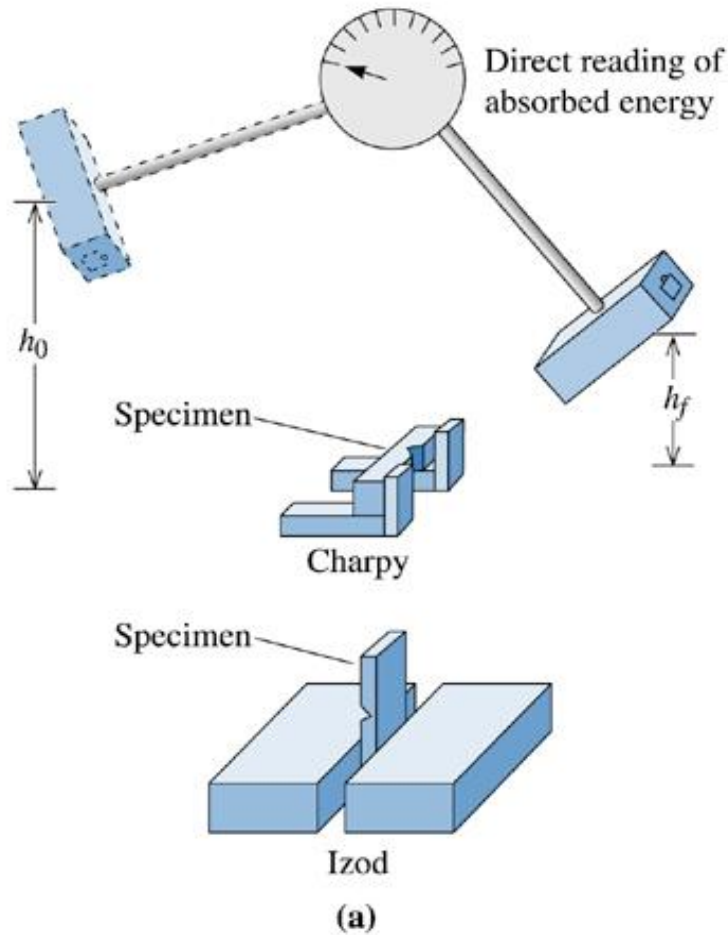
Darbe Deneyi

Darbe Deneyinin Yapısı

Ani darbelere karşı direnci iyi olan malzeme seçmek için malzemenin kopmaya karşı direnci darbe testiyle ölçülür.

Charpy Darbe Deneyi





(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning™ is a trademark used herein under license.

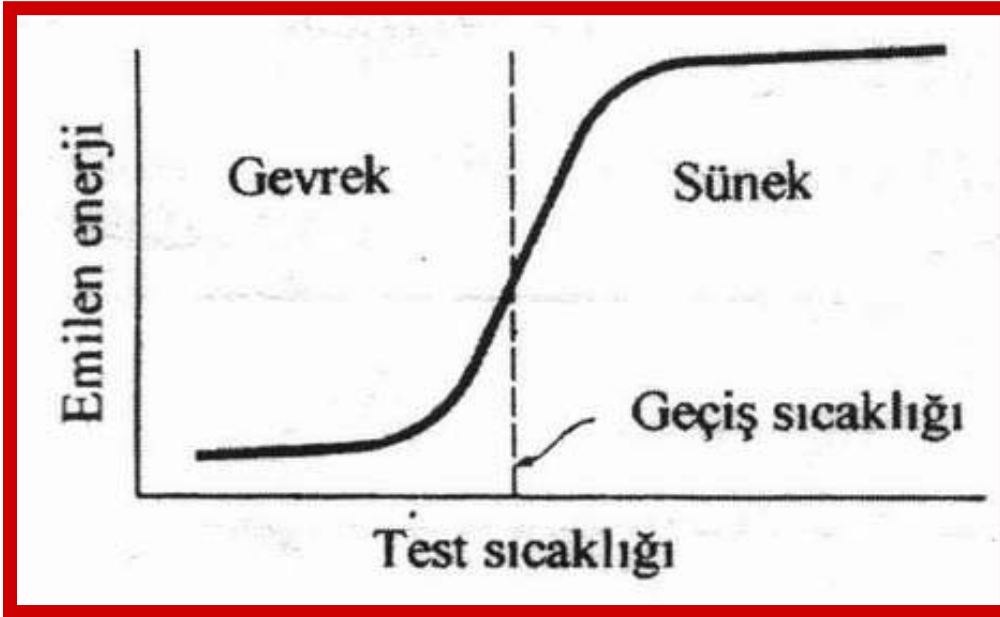
Çarpma testi (a) The Charpy ve Izod testleri, ve(b) tipik numune boyutları

Bölüm 6.9. Çarpma Testlerinden Elde Edilen Özellikler

- **Sünek gevrek geçiş sıcaklığı** – Çarpma testinde malzemenin gevrek davranış sergilediği sıcaklık değeridir.
- **Çentik duyarlılığı** – Çentik, çizik veya diğer hataların malzemenin özellikleri üzerine etkisini ölçer. Örnek: tokluk, yorulma ömrü.

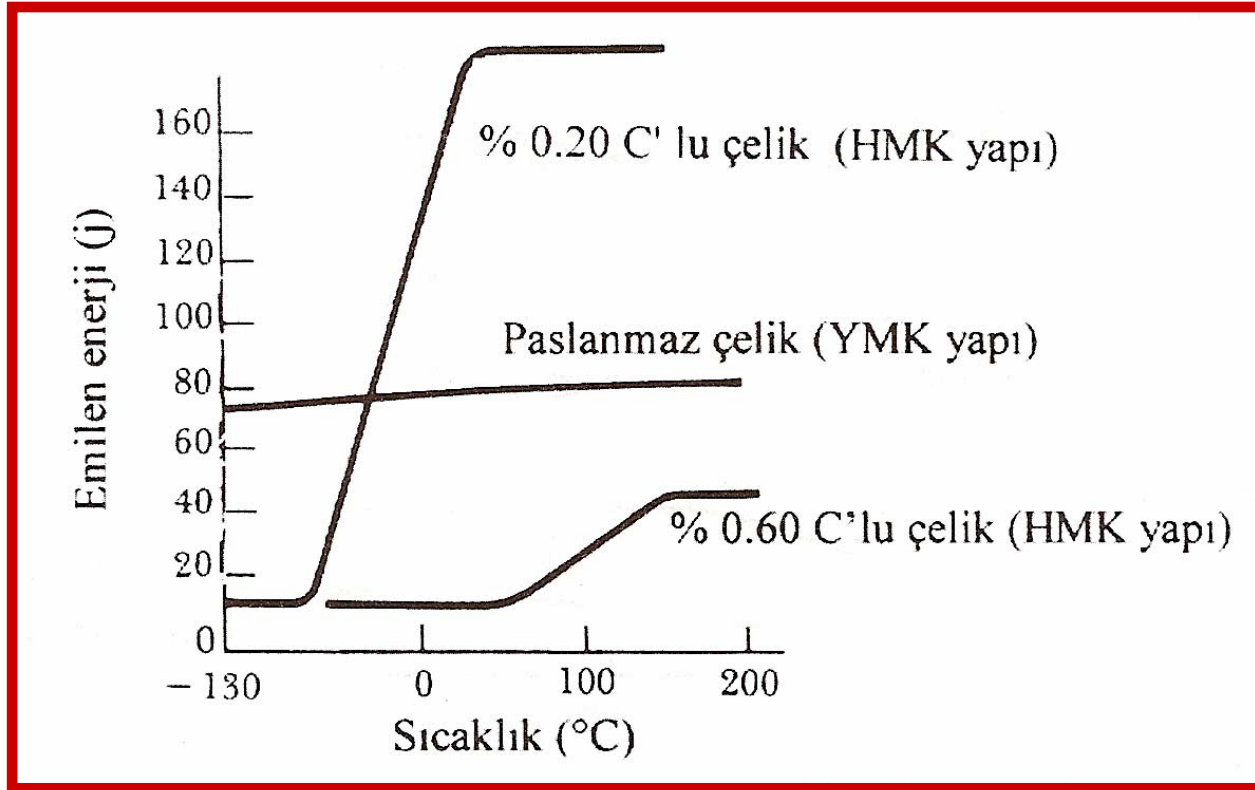
Darbe Deneyinde Sıcaklık Etkileri

❑ Kullanım sırasında ani darbeye maruz kalabilecek malzeme, malzemeyi kuşatan sıcaklığın altında bir geçiş sıcaklığına sahip olmalıdır.



- ❑ Yüksek sıcaklıklarda malzeme sünektir ve kopmadan önce gerilir.
- ❑ Düşük sıcaklıklarda malzeme gevrek ve kopma noktasında çok az şekil değişimi gözlenir.

Darbe Deneyinde Sıcaklık Etkileri

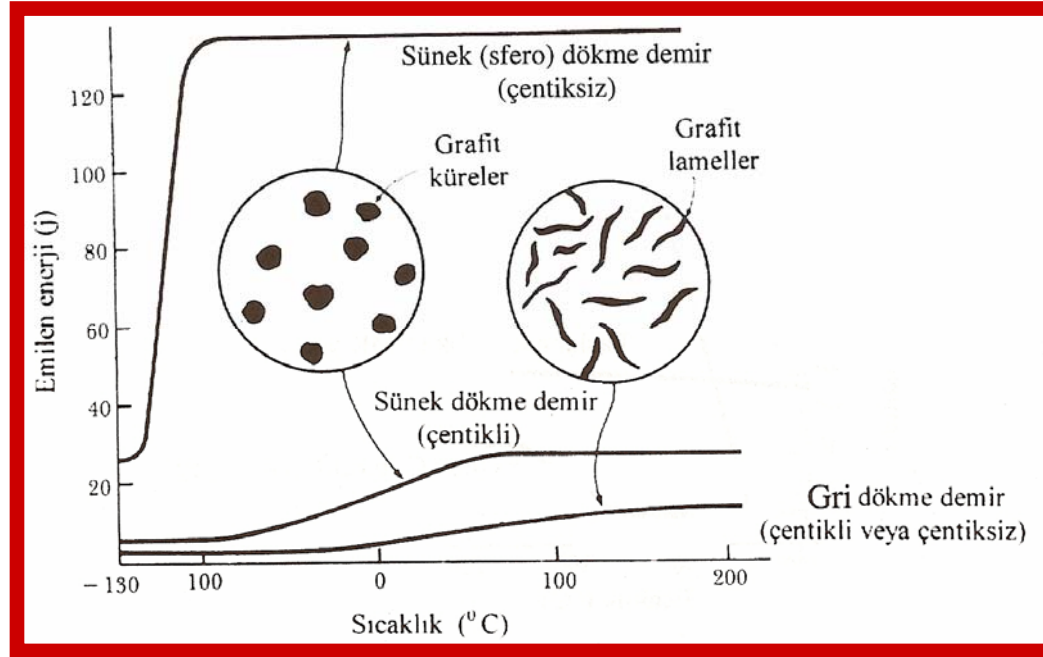


HMK metaller belirgin geçiş sıcaklığına sahipken, YMK metaller belirgin geçiş sıcaklığına sahip değildir.

Çentik Hassasiyeti

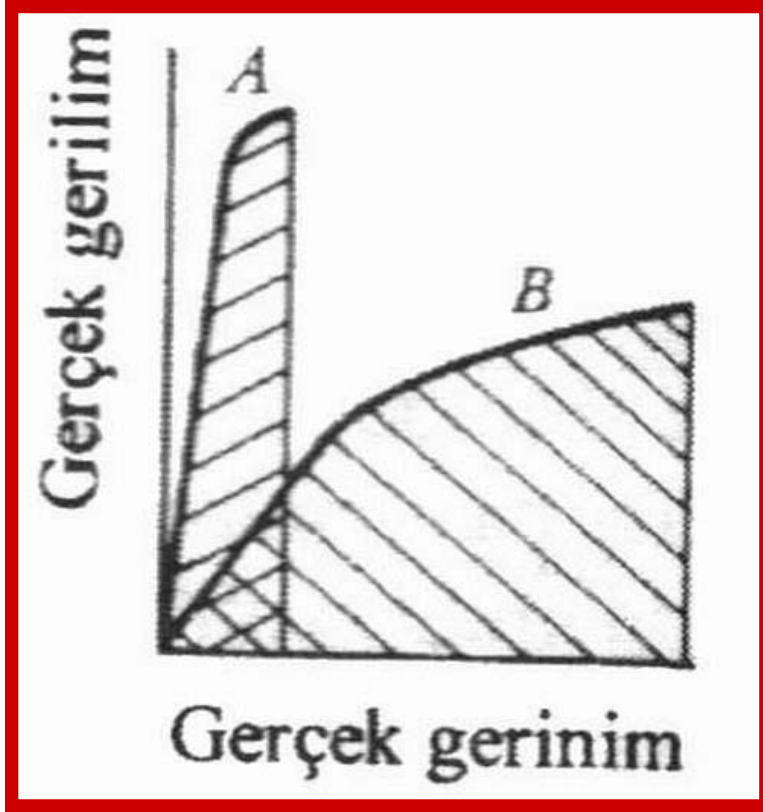
- ❑ Kötü işçilik, imalat ve tasarımın neden olduğu çentikler, gerilimlerin yoğunlaşmasına neden olur ve malzemenin tokluğunu azaltır.
- ❑ Malzemenin çentik hassasiyeti, çentikli ve çentiksiz numunelerin absorbe ettikleri enerjiler karşılaştırılarak açıklanabilir.

Çentik Hassasiyeti

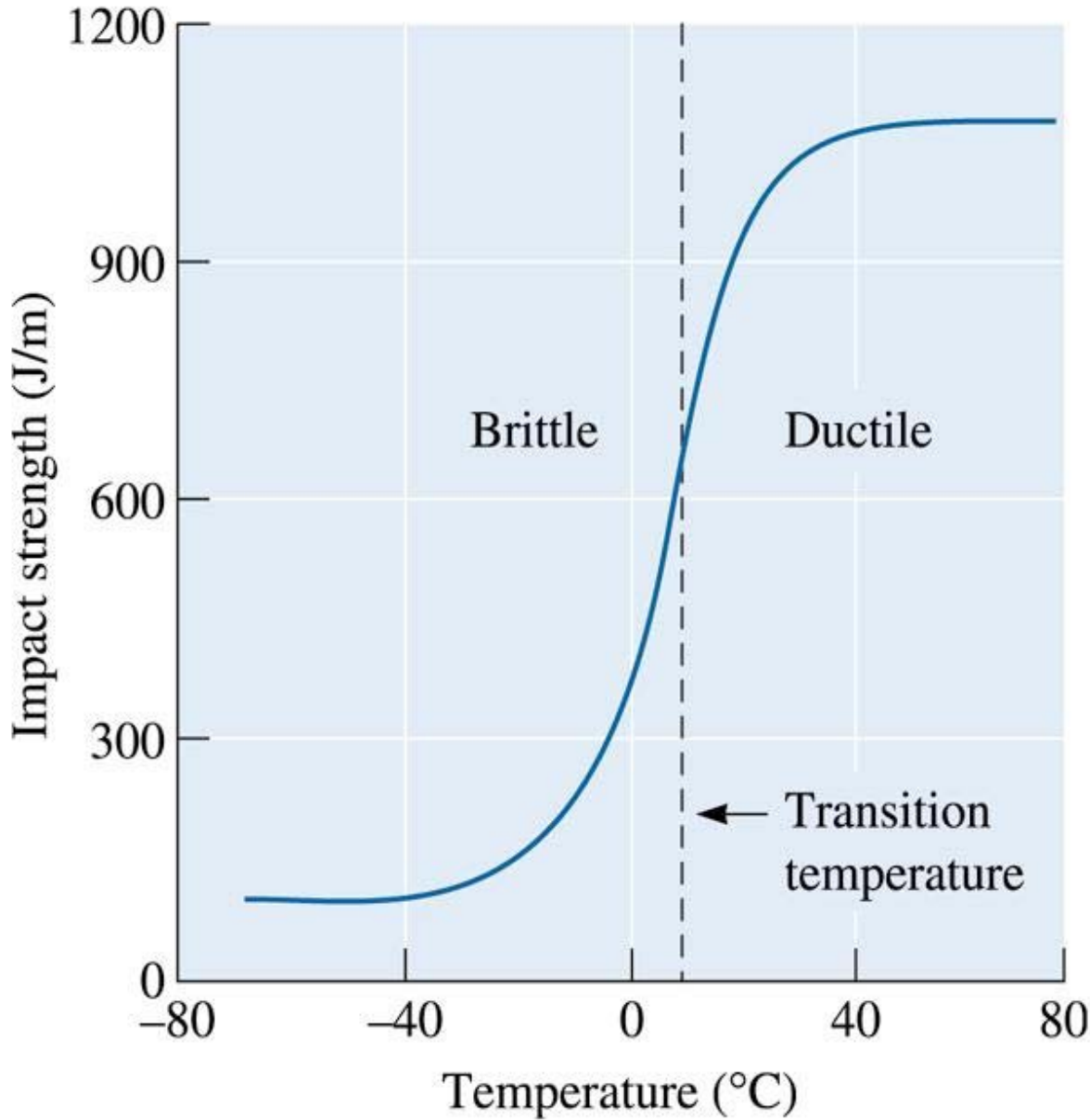


- ❑ Sünek dökme demirin yapısı çentik davranışı göstermeyen küresel grafit yumrularına sahiptir.
- ❑ Gri dökme demirin yapısı çentik gibi davranan pul lamel şeklinde keskin uçlu grafitlere sahiptir ve kırılma için düşük enerji gereklidir.

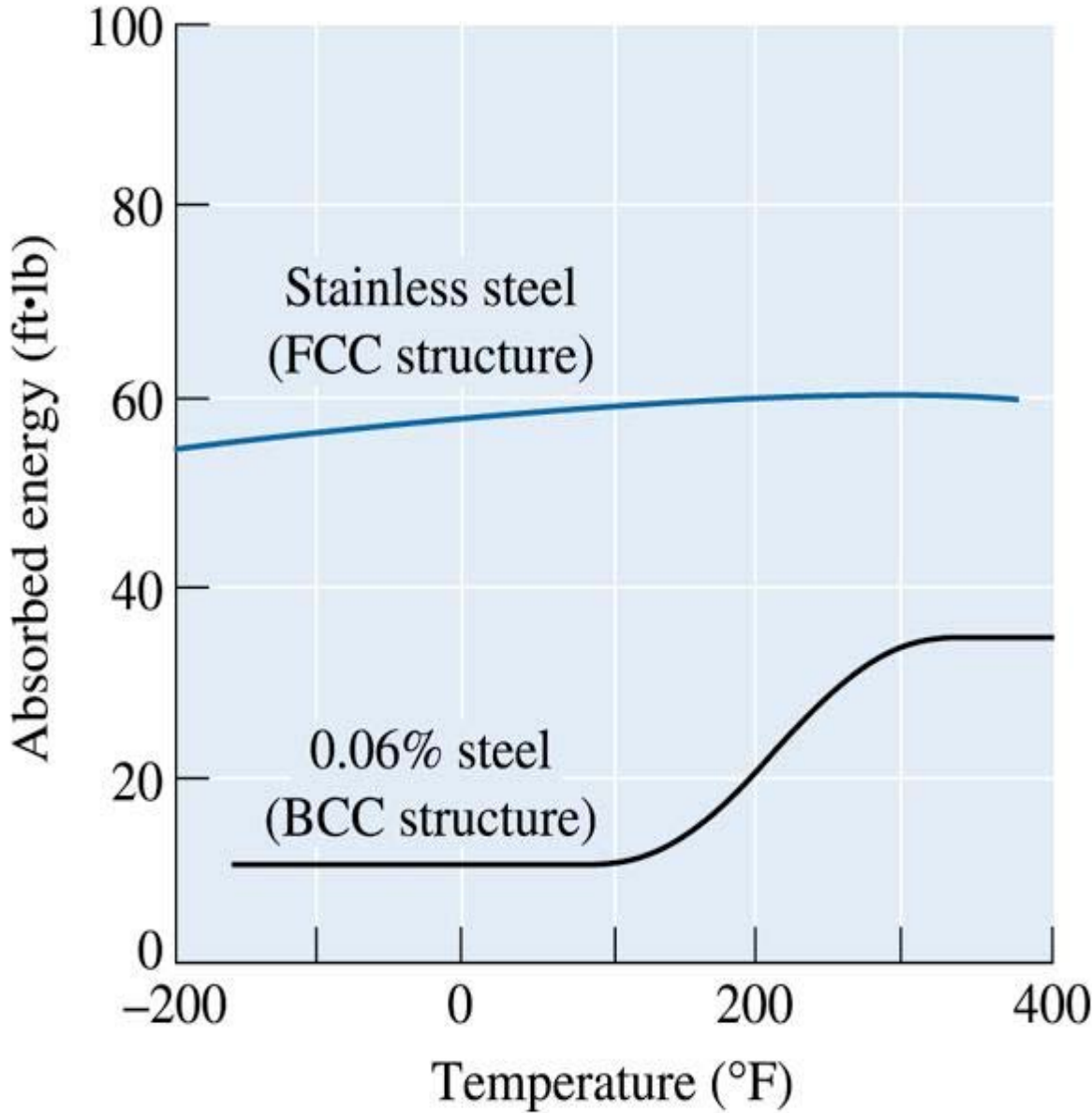
Darbe Gerilmesinin Gerçek Gerilme-Gerçek Gerinim ile İlişkisi



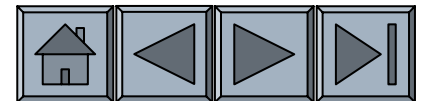
- Darbe enerjisi gerçek gerilme-gerinim diyagramının içerdiği alana karşılık gelir.
- Dayanım ve sünekliği yüksek olan malzemenin tokluğu da iyidir.

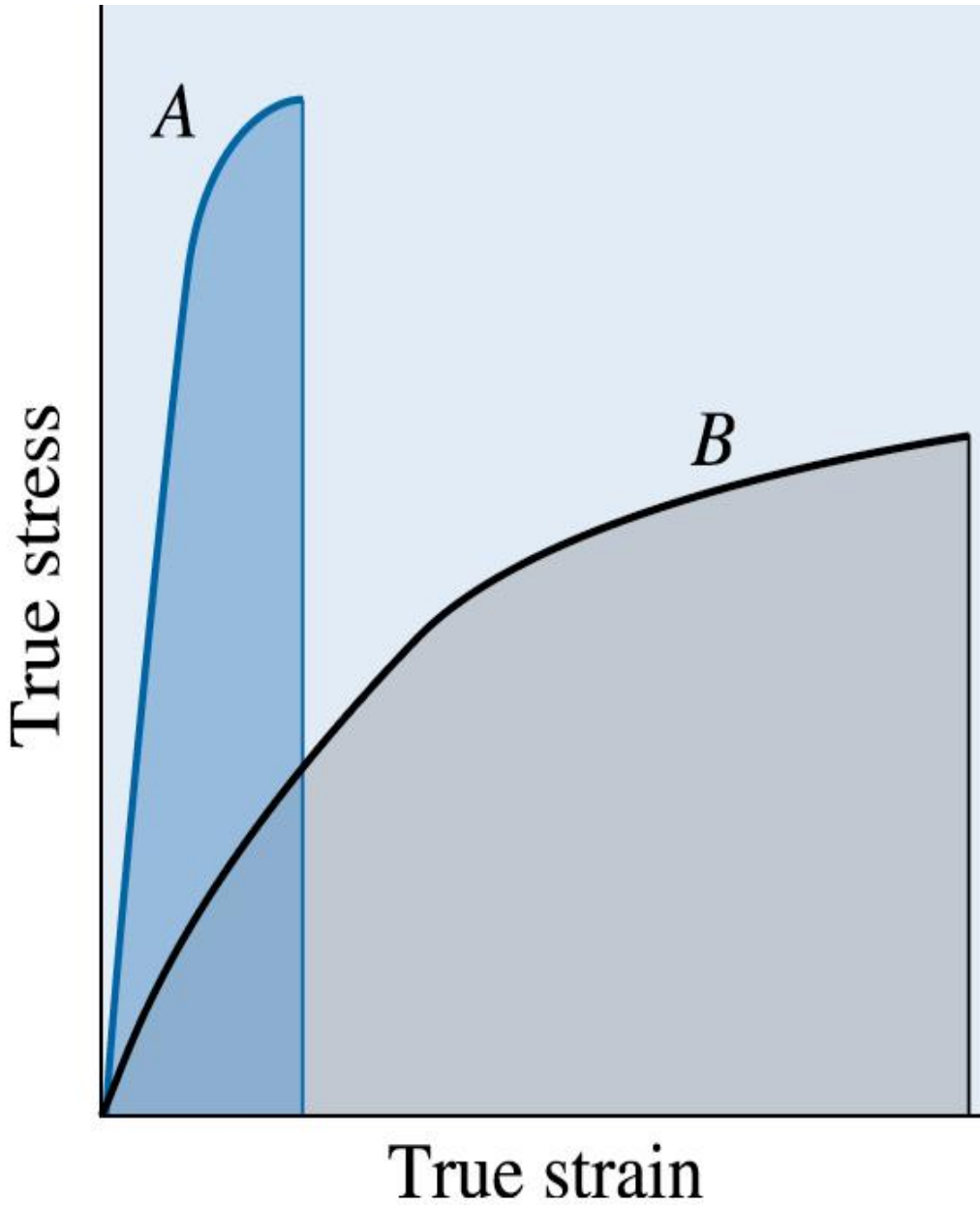


Süper- tok naylon termoplastik polimerin Izod test sonuçları.

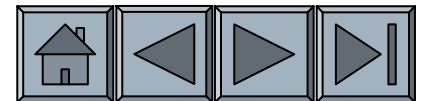


HMK karbon çeliği ve YMK paslanmaz çelik Charpy V-çentik sonuçları. YMK kristal yapı absorbe olan enerjisi yüksek ve herhangi bir geçiş sıcaklığı sergilemez.





Gerçek gerilim-gerinim eğrisi altındaki alan tokluğu verir. B malzemesi düşük akma gerilmesine sahip olmasına rağmen daha yüksek enerji absorbe eder.





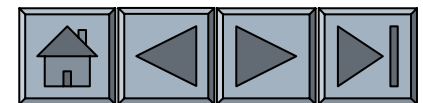
Örnek 6.7. Balyoz Tasarımı (Sledgehammer)

Cam fiberlerle güçlendirilmiş kompozit malzemelerin flexural mukavemeti 45000 psi ve flexural modülü 18×10^6 psi dir. Numune 0.5 in. genişliğinde, 0.375 in. yüksekliğinde, ve 8 in. uzunluğunda 5 in. aralıkla desteklenmiştir. . Hiç plastik deformasyon olmadığını varsayarak malzemeyi koparmak için gerekli yükü ve kırılma esnasındaki defleksiyonu hesaplayınız?

ÇÖZÜM

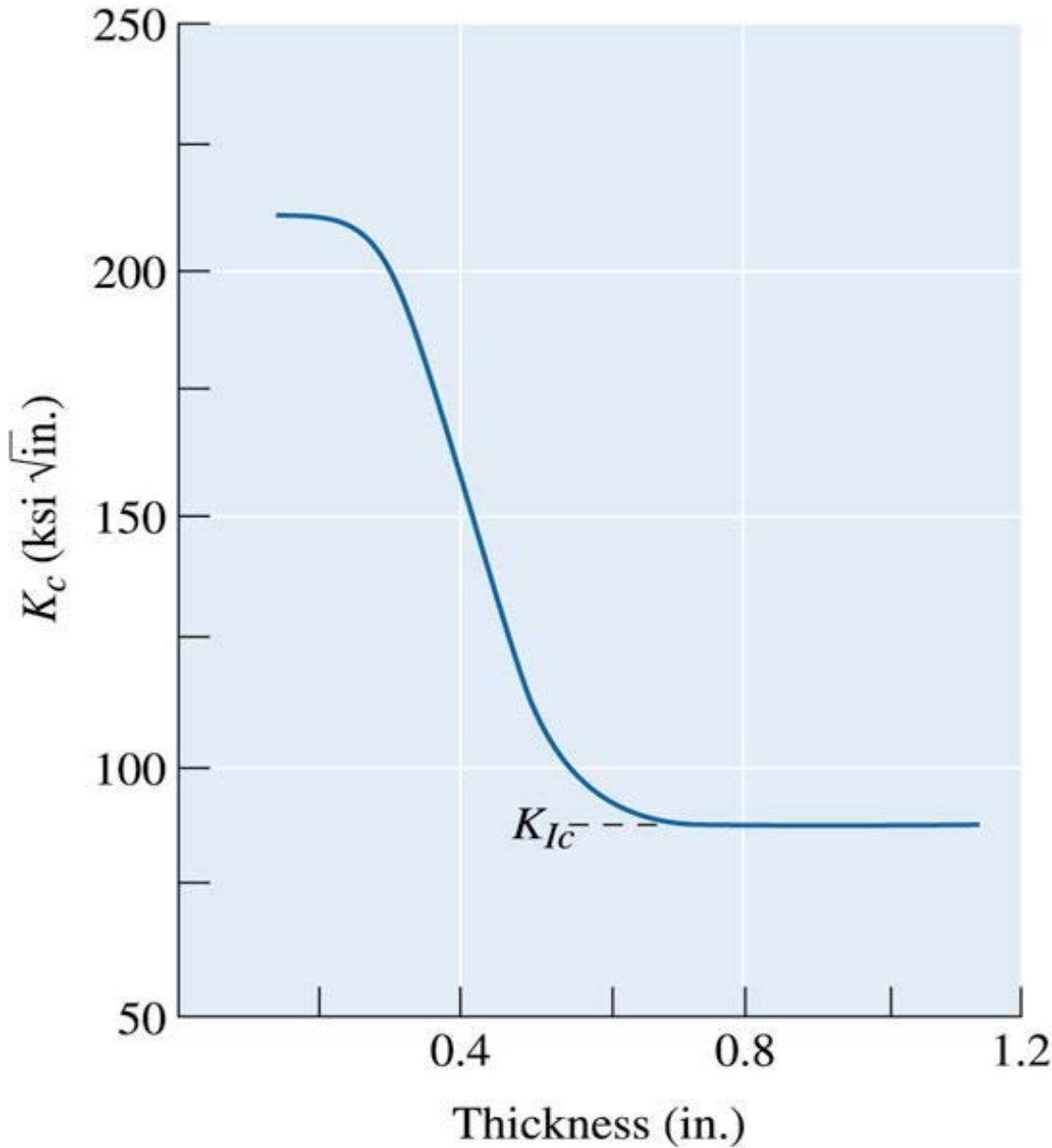
Balyozla ilgili müşteri beklentileri:

1. Tutacak bölgesi hafif olmalı ancak çabuk kırılmamalı.
2. Sıfırın altı sıcaklıklarda dahi kullanım esnasında kafa kırılmamalı veya çapak atmamalı.
3. Devamlı kullanımda kafa deforme olmamalı.
4. Kafa yeterince büyük olmalı.
5. Ucuz olmalı



Bölüm 6.10. Kırılma Mekaniği

- **Kırılma Mekaniği** - Hata var olduğunda malzemenin kırılmaya karşı gösterdiği direnci inceler.
- **Kırılma Tokluğu** - Hata var olduğunda malzemenin kırılmaya karşı gösterdiği dirençtir.



3000000psi olan kırılma tokluğu artan kalınlık ile düşmekte ve düzlemsel deformasyon kırılma tokluğunda belirli bir seviyede kalmaktadır.

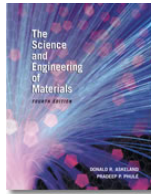
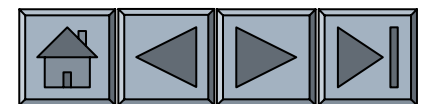
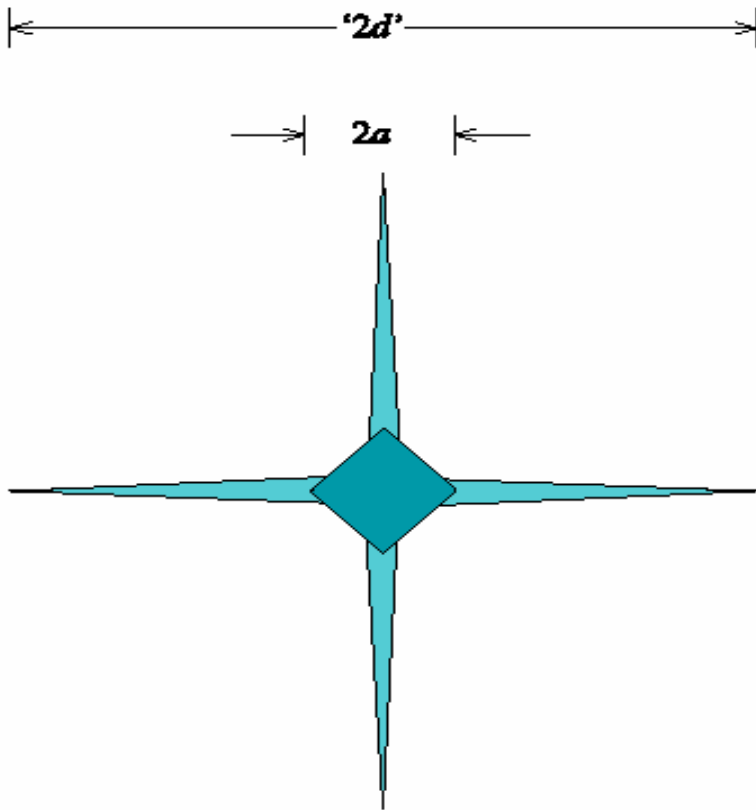


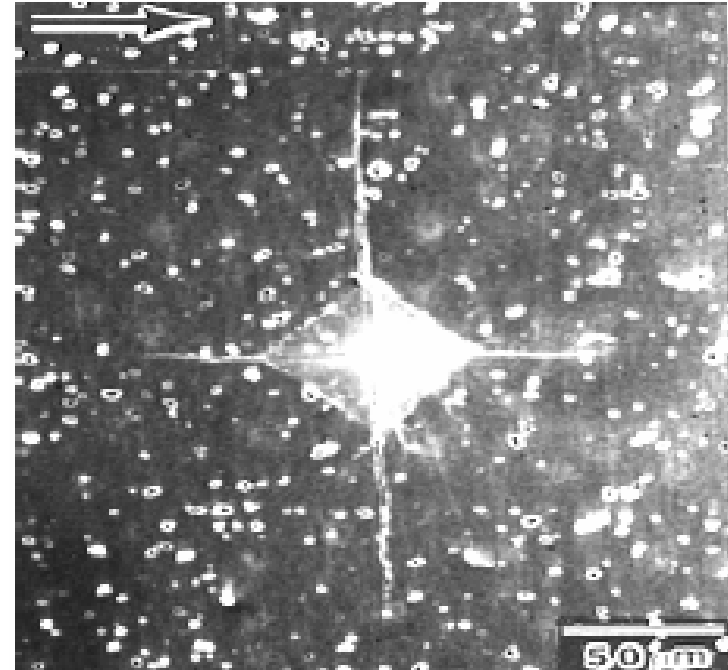
TABLE 6-6 ■ *The plane strain fracture toughness K_{Ic} of selected materials*

Material	Fracture Toughness K_{Ic} (psi $\sqrt{\text{in.}}$)	Yield Strength or Ultimate Strength (for Brittle Solids) (psi)
Al-Cu alloy	22,000	66,000
	33,000	47,000
Ti-6% Al-4% V	50,000	130,000
	90,000	125,000
Ni-Cr steel	45,800	238,000
	80,000	206,000
Al_2O_3	1,600	30,000
Si_3N_4	4,500	80,000
Transformation toughened ZrO_2	10,000	60,000
Si_3N_4 -SiC composite	51,000	120,000
Polymethyl methacrylate polymer	900	4,000
Polycarbonate polymer	3,000	8,400

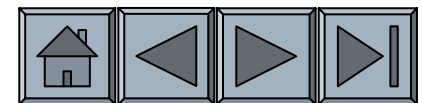


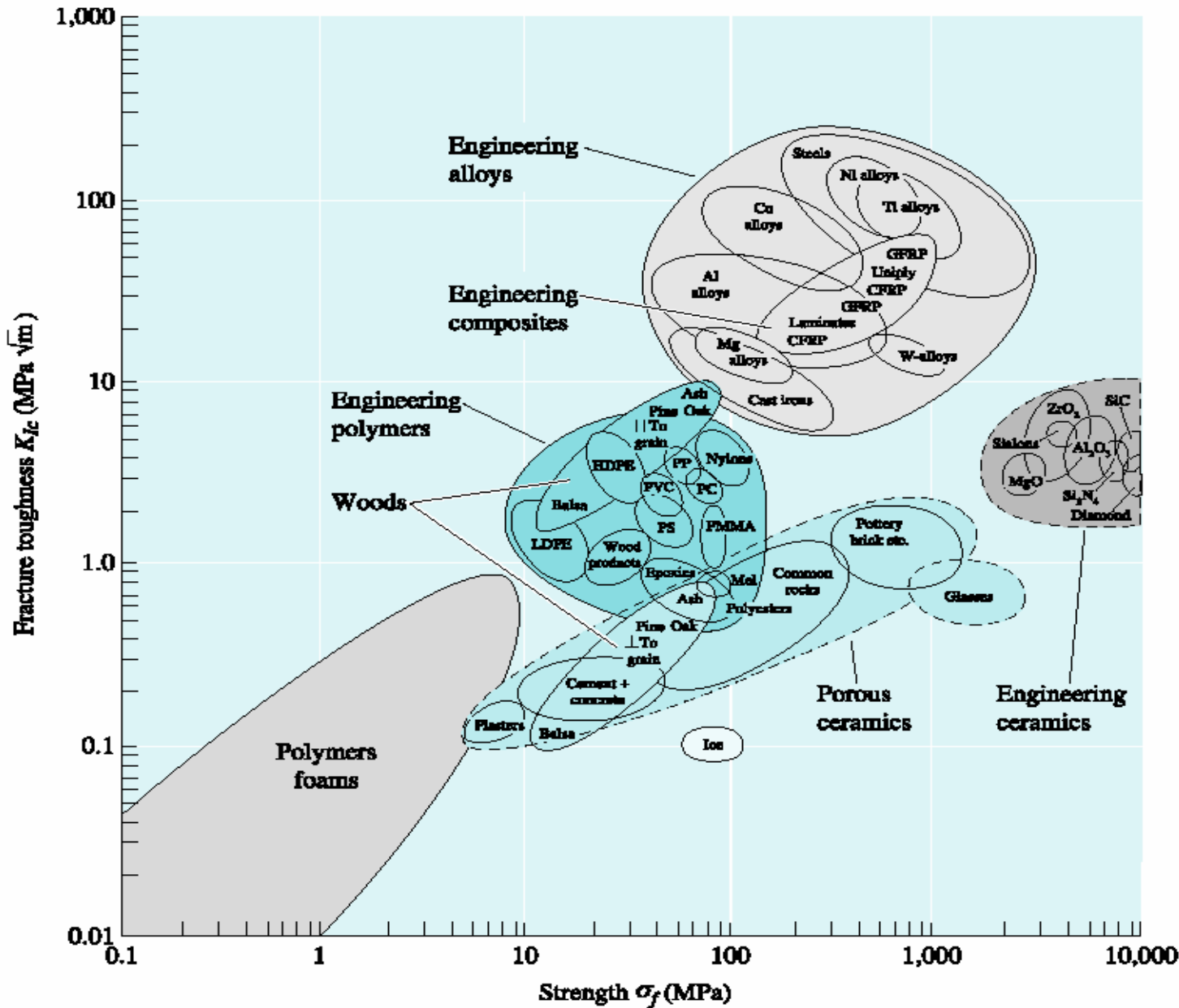
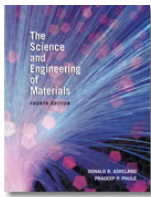


Gevrek malzemelerin kırılma tokluğunun belirlenmesinde ikincil çatlaklar kullanılabilir.

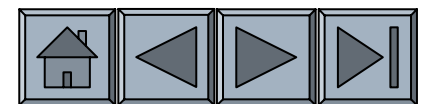


PZT seramiklerde çatlak ilerlemesini gösteren elektron mikroskobu örneği (*Courtesy of Wang and Raj N. Singh, Ferroelectrics, 207, 555–575 (1998).*)





Değişik mühendislik malzemelerin mukavemetine karşılık kırılma toklukları. (Source: Adapted from Mechanical Behavior of Materials, by T.H. Courtney, 2000, p. 434, Fig. 9-18. Copyright © 2000 The McGraw-Hill Companies. Adapted with permission.)



Bölüm 6.11. Kırılma Mekaniğinin Önemi

- Malzeme seçimi
- Bileşen tasarımı
- İmalat veya Test Methodunun Tasarımı
- Griffith hatası – Malzeme içindeki çatlak veya hata.

Örnek 6.8. Hasarsız Muayene Testinin Tasarımı

Nükleer reaktörde kullanılan çelik plakanın düzlemsel deformasyon kırılma tokluğu değeri 80,000 psi olup 45,000 psi'lık bir mukavemete maruz kalmaktadır. Plakadaki çatlakları katastropik bir hata olmaksızın dedekte etmek için gerekli test prosedürünü tasarlayınız?

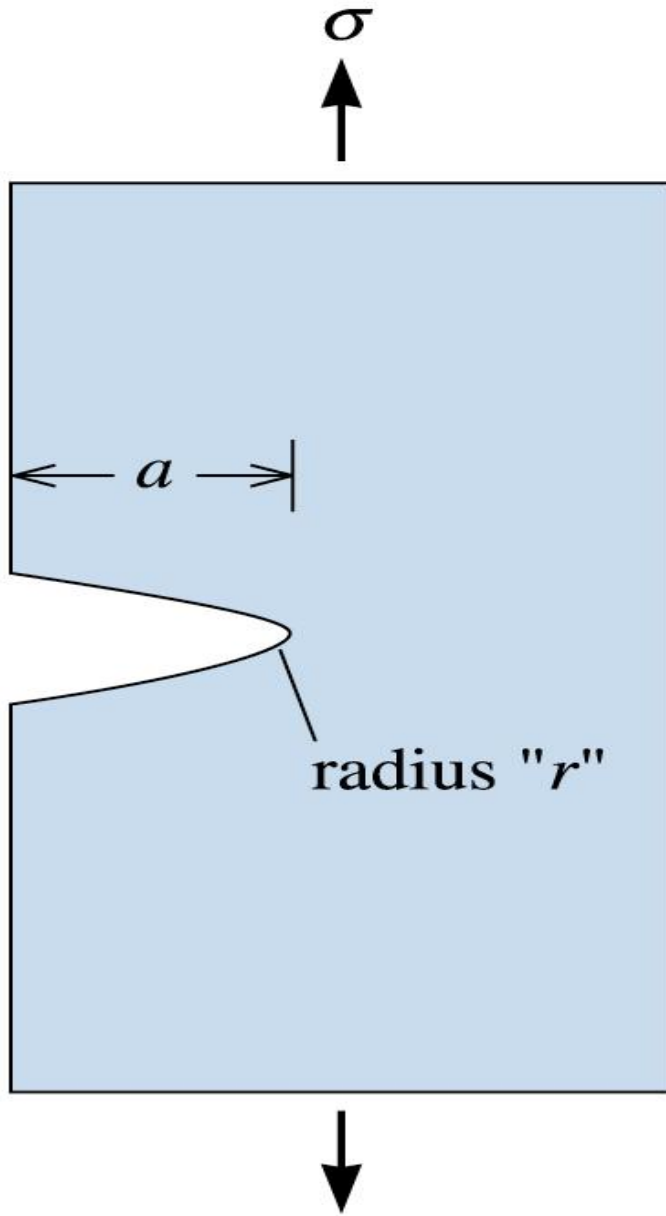
ÇÖZÜM

We need to determine the minimum size of a crack that will propagate in the steel under these conditions. From Equation 6-18, assuming that $f = 1.12$:

$$K_{Ic} = f\sigma\sqrt{a\pi}$$

$$80,000 = (1.12)(45,000)\sqrt{a\pi}$$

$$a = 0.8 \text{ in.}$$



Seramik malzemedeki Griffith hatasının gösterimi.



Örnek 6.9. SiAlON Seramiklerinin Özellikleri

İleri teknoloji seramiği olarak bilinen sialon (silisyum, alüminyum, oksinitrid) 60,000 psi'lık bir çekme mukavemetine sahiptir. Bu değer hatasız bir seramik için geçerli olduğunu düşünelim. 0.01 in. derinlikteki ince çatlak test edilmeden önce görülmüş olsun. Bu parça beklenmedik bir şekilde 500 psi'da kırılsın. Bu çatlağın yarıçapını tahmin ediniz.

Example 6.9 SOLUTION

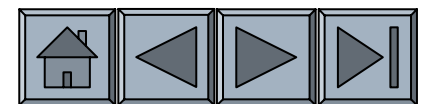
The failure occurred because the 500-psi applied stress, magnified by the stress concentration at the tip of the crack, produced an actual stress equal to the tensile strength. From Equation 6-21:

$$\sigma_{\text{actual}} = 2\sigma\sqrt{a/r}$$

$$60,000 \text{ psi} = (2)(500 \text{ psi})\sqrt{0.01 \text{ in.}/r}$$

$$\sqrt{0.01/r} = 60 \quad \text{or} \quad 0.01/r = 3600$$

$$r = 2.8 \times 10^{-6} \text{ in.} = 7.1 \times 10^{-6} \text{ cm} = 710 \text{ \AA}$$





Örnek 6.10. Seramik Desteğin Tasarımı

3 inç kalınlıkta bir plakanın SiAlON'dan yapıldığını varsayın. Kırılma tokluğu 9,000 psi ve 40,000 lb'lik bir çekme yüküne dayanabilir. Parçayı hasara ulaştırabilecek hata boyutunu hesaplayınız?

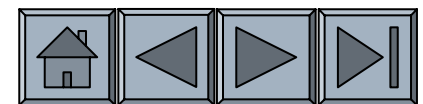
ÇÖZÜM

From our fracture toughness equation, assuming that $f = 1$:

$$\sigma_{\max} = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{\pi a}} = \frac{F}{A}$$

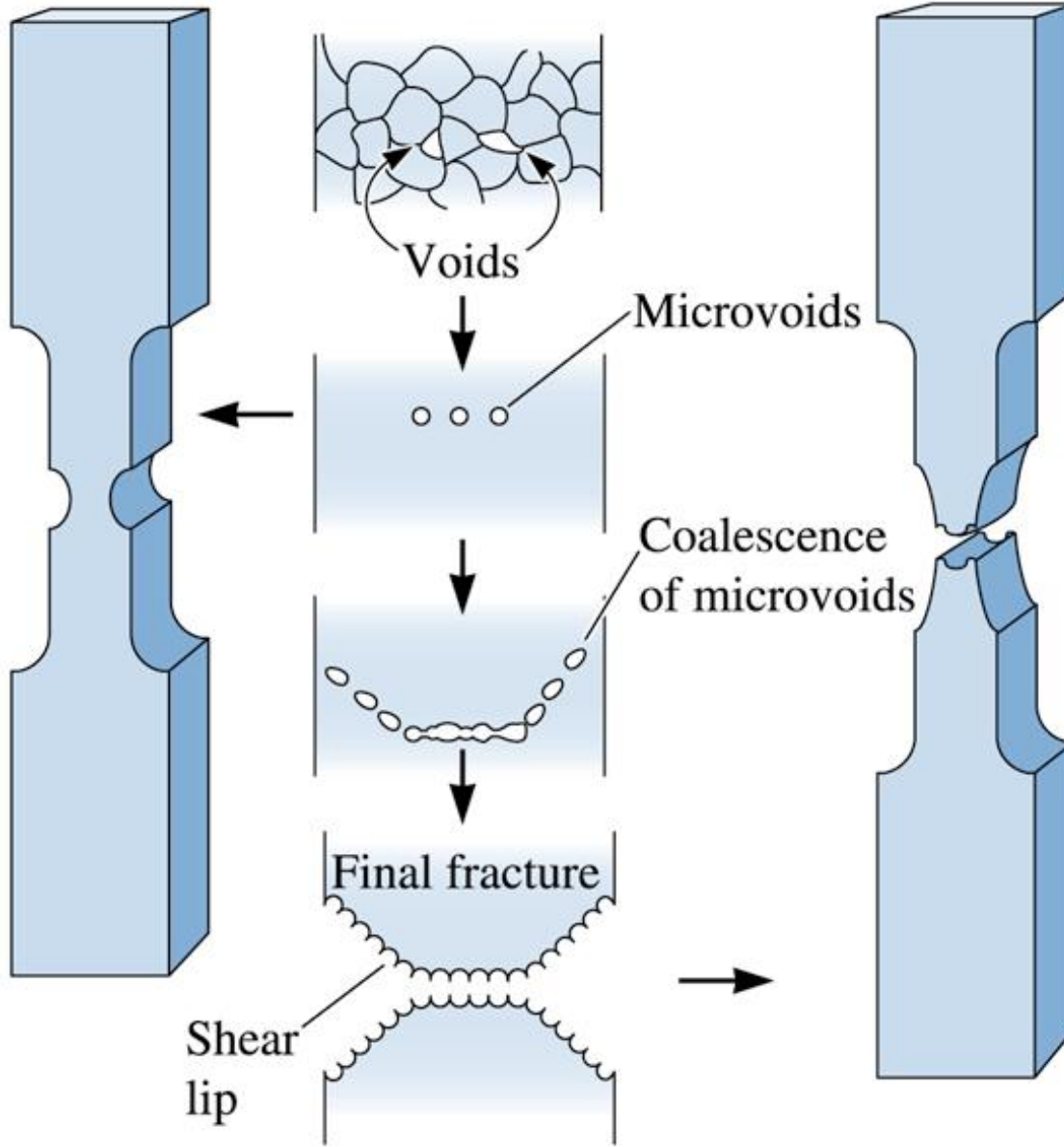
$$A = \frac{F\sqrt{\pi a}}{K_{Ic}} = \frac{(40,000)(\sqrt{\pi})(\sqrt{a})}{9,000}$$

$$A = 7.88\sqrt{a} \text{ in.}^2 \quad \text{and} \quad \text{thickness} = (7.88 \text{ in.}^2 / 3 \text{ in.})\sqrt{a} = 2.63\sqrt{a}$$

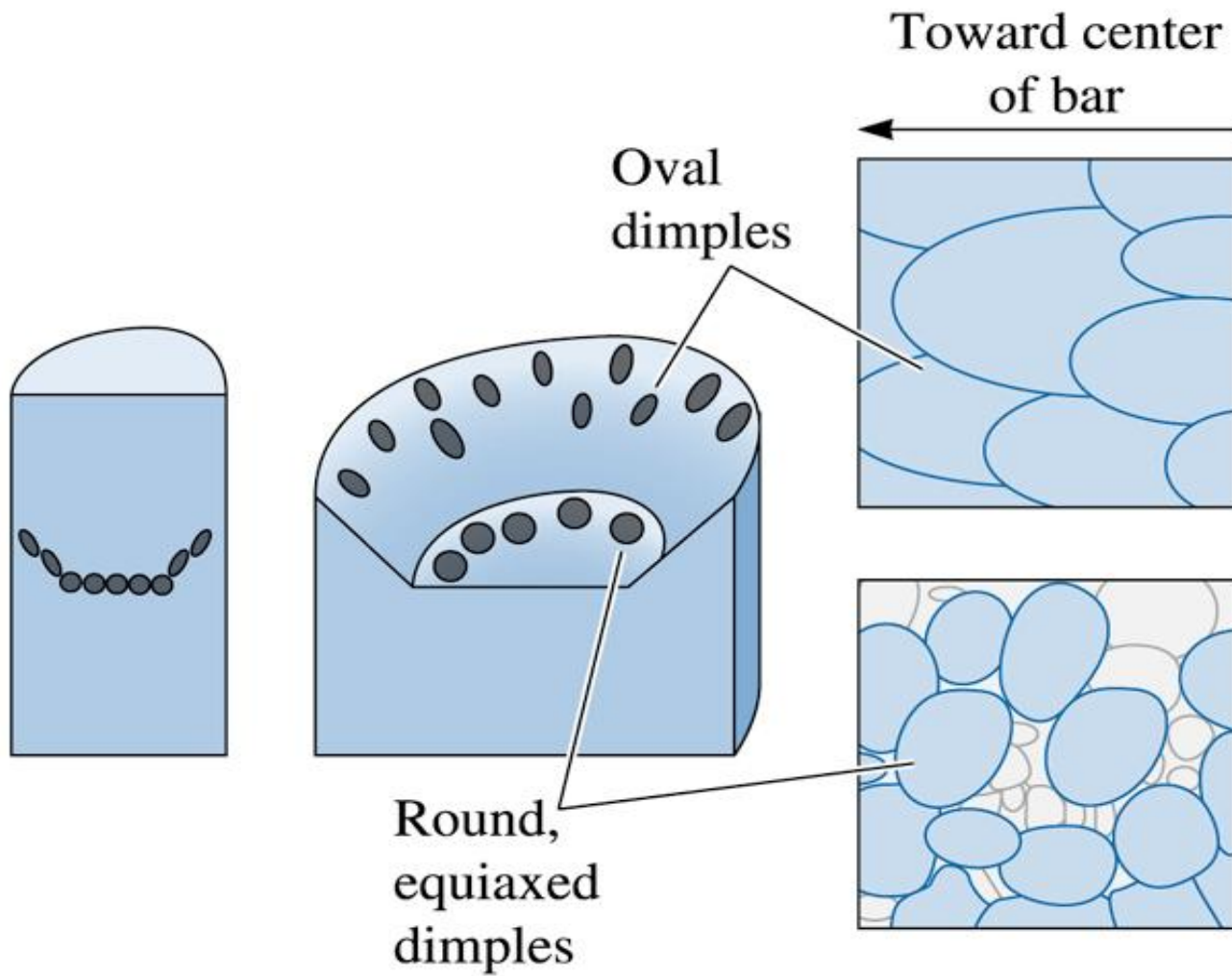


Bölüm 6.12. Metalik Malzemelerde Kırılmanın Mikroyapısal Özellikleri

- **Tane içi (Transgranular)** – Tane boyunca oluşan kırılmalar.
- **Mikroboşluk** – Malzemede küçük boşlukların oluşması.
- **Tanelerarası** – Tanelerarası veya tane sınırları boyunca oluşan kırılmalar.
- **Chevron paterni**- Ayrı çatlakların malzemelerde değişik seviyelerde ilerlemesi.

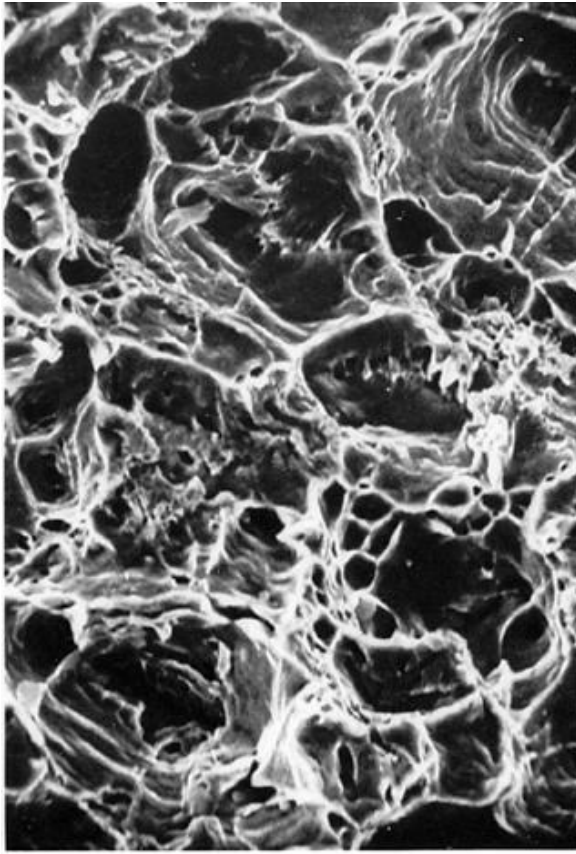


Sünek malzeme çekildiğinde önce boyun verme başlar ve boşluklar tane sınırları veya safsızlık yakınlarında oluşur. Deformasyon devam ettiğinde 45° 'de kayma dudakları (lip) oluşur ve huni şeklindeki kırılma ile malzeme kopar.



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, Inc. is a trademark used herein under license.

Sünek kırılma esnasında oluşan oyuklar. Eş eksenli oyuklar mikro oyukların büyüdüğü merkezde oluşur. Uzamış oyuklar kırılmanın başlangıcını işaret ederler ve kayma dudaklarında oluşurlar.



(a)

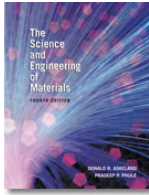


(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[™] is a trademark used herein under license.

Tavlanmış 1018 çeliğinin sünek kırılmayı işaret eden elektron mikroskobu görüntüleri. (a) Eş eksenli oyuklar kopan yüzeyin ortasında görüntülenmiş ve (b) kayma dudaklarındaki uzamış oyuklar (x 1250)

Örnek 6.11. Zincir Kopma Analizi



Ağır yük taşımada kullanılan zincirlerde kopma öncesi boyun verme olayının gerçekleştiği görülmüştür. Olası hata sebeplerini sıralayınız?

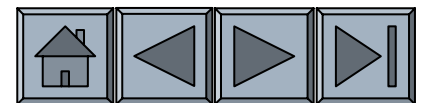
ÇÖZÜM

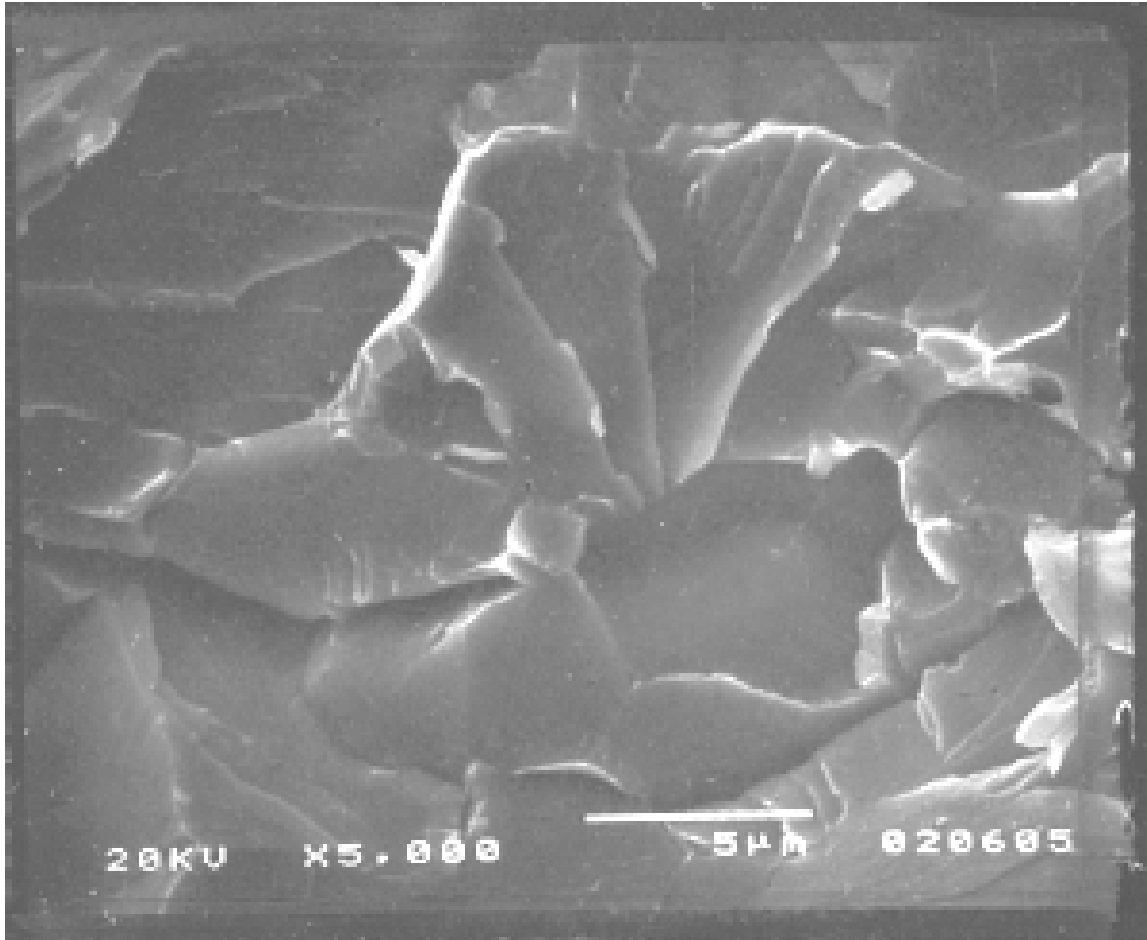
1. Zincir taşıyacağı yükten fazla yüklenmiştir.

Böylece yüklemekten kaynaklanan gerilim malzemenin akma mukavemetini aşmış ve hataya sebep olmuştur.

2. Zincir malzemesi yanlış seçilmiştir veya yanlış ısıl işlem görmüştür.

Sonuç olarak akma mukavemeti istenen mukavemetten düşüktür.



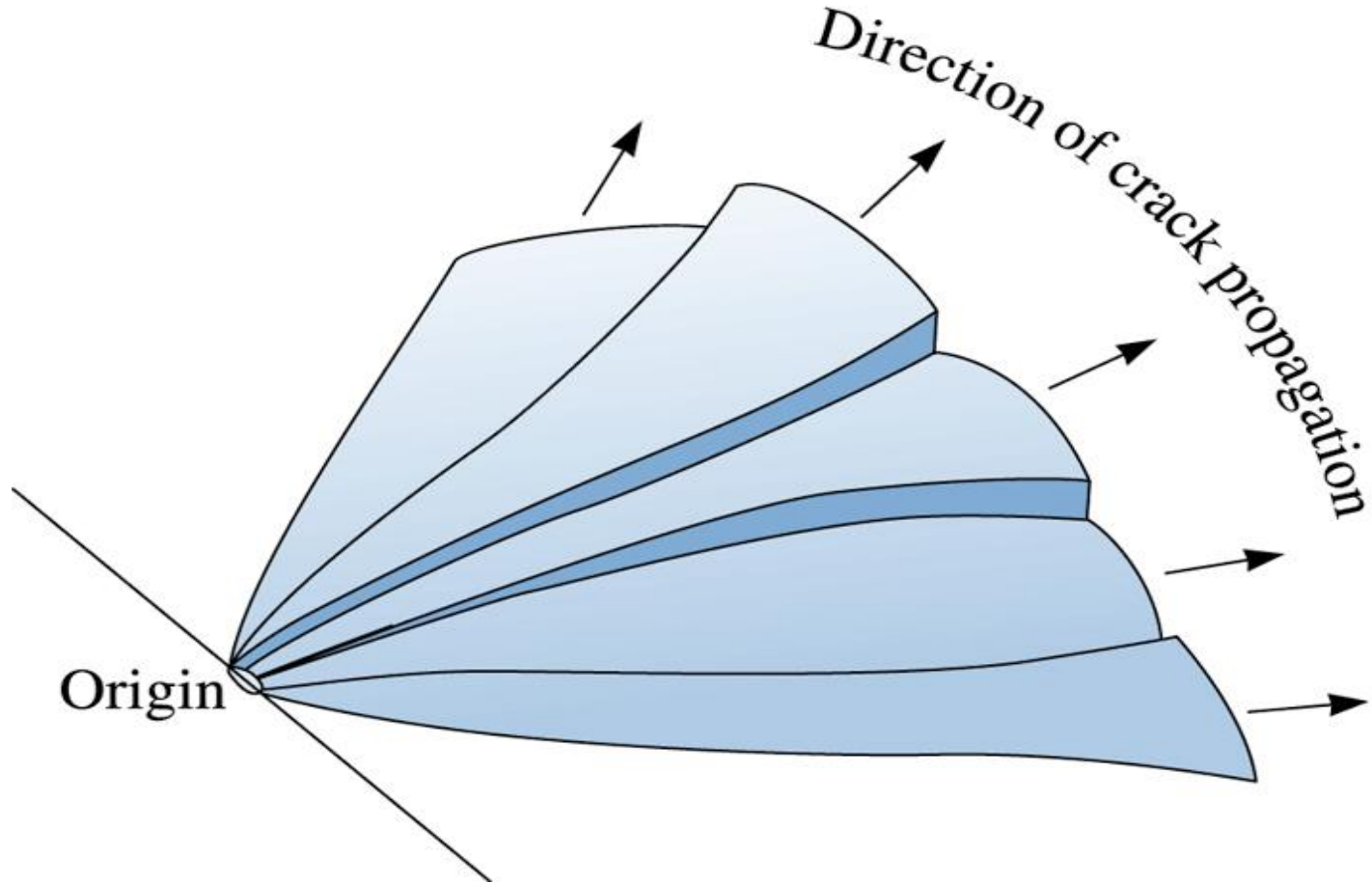


Su verilmiş 1010 çeliğinin gevrek olarak kırılmış yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü. (x 5000). (Courtesy of C.W. Ramsay.)



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning™ is a trademark used herein under license.

Chevron paterni. 0.5-in. apındaki su verilmiş 4340 çeliğinin görüntüsü.

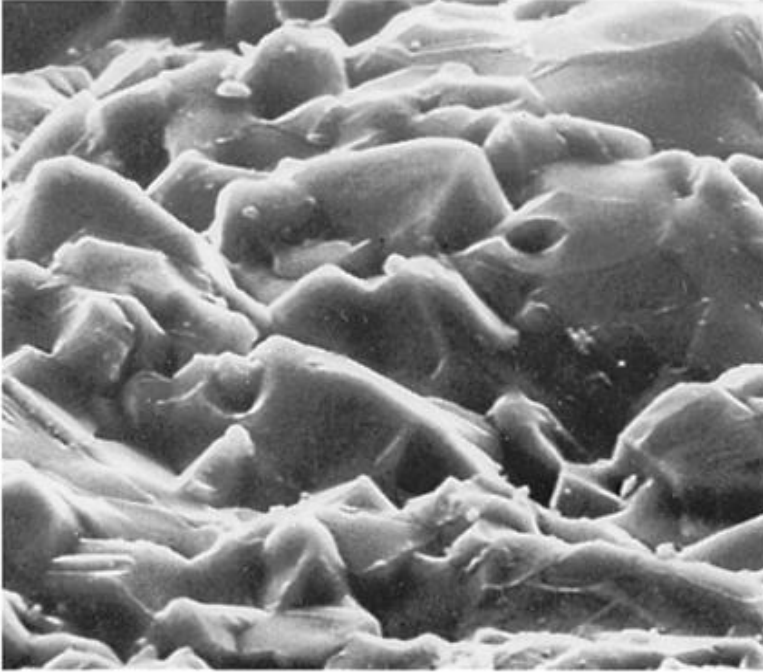


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

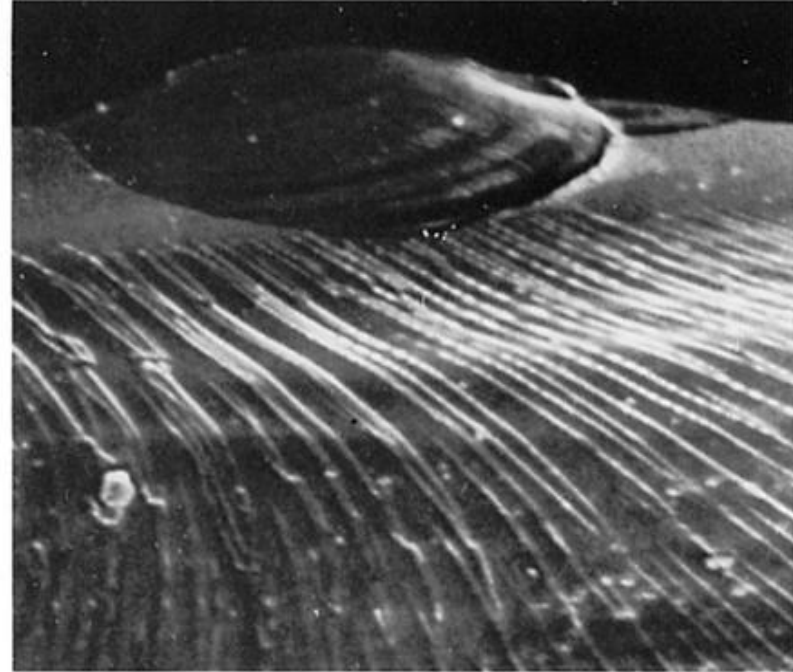
Chevron paterni çatlak ilerlemesinin tek başlangıçtan değişik seviyelerde olduğu paterndir.

Bölüm 6.13. Seramik, Cam ve Kompozitlerde Kırılmanın Mikroyapısal Özellikleri

- **Yorulma Kırılması** – Kırılma yüzeyi başlangıca yakın pürüzsüz ayna zonu ile kalan yüzeylerde çizgilerden oluşur.
- **Ayrılma (Delamination)** – Kompozit malzemelerde tabakanın ayrılmasıdır.



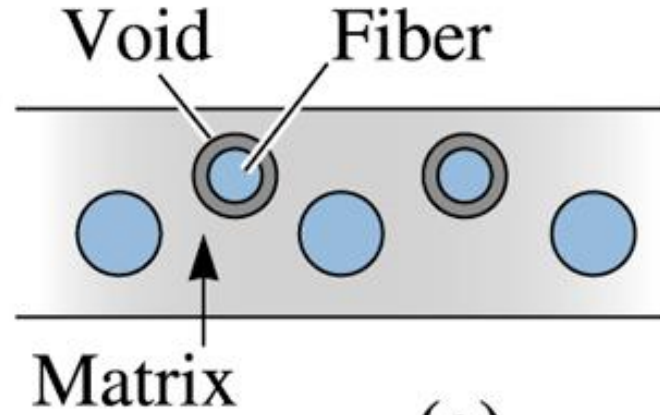
(a)



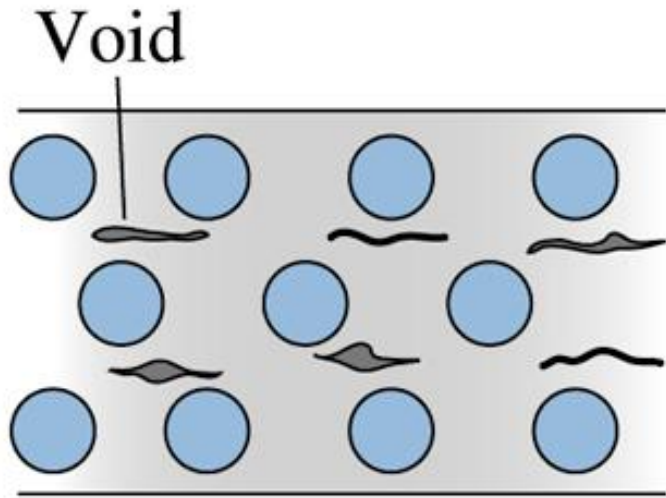
(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Seramiklerde kırılma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri. (a) Al_2O_3 (x 1250), ve (b)cam yüzeyi yorulma kırılması görüntüleri (x 300)

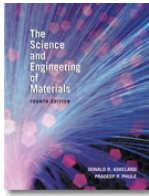


(a)



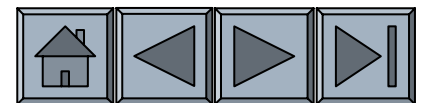
(b)

Fiber ile güçlendirilmiş kompozitler değişik mekanizmalar ile hasar görürler. (a) Matris ve fiberler arasındaki zayıf bağlanma ile aralarında boşluklar oluşur ve hasara uğrarlar. (b) bazı katmanların zayıf bağlanması ile matris boşluklar oluşturarak ayrılır.



Bölüm 6.14. Yorulma

- **Yorulma** akma mukavemetinin altında veya üstünde tekrar eden gerilim nedeniyle malzemenin hasar görmesi veya mukavemetinin azalmasıdır.
- **Sürünme** - Zamana bağlı, yüksek sıcaklıkta kalıcı deformasyondur. Sabit yük ve gerilimde oluşur.
- **Midye kabuğu işaretleri** - Yorulmaya maruz kalan bileşenlerde görülen paternlerdir.
- **Dönen kriş testi**- Eski yorulma testidir.
- **S-N eğrisi (Wöhler curve)** - Yorulma devir sayılarının fonksiyonu olarak mukavemeti gösteren grafikdir.





Yorulma Deneyinin Yapısı

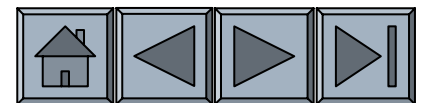
Bir malzemenin akma dayanımının altında tekrarlanan gerilmeye (dönme, eğilme, titreşim sonucu olabilir) maruz kalması sonucu kopmasına yorulma denir.

$$\sigma = 10,18 \frac{LF}{d^3}$$

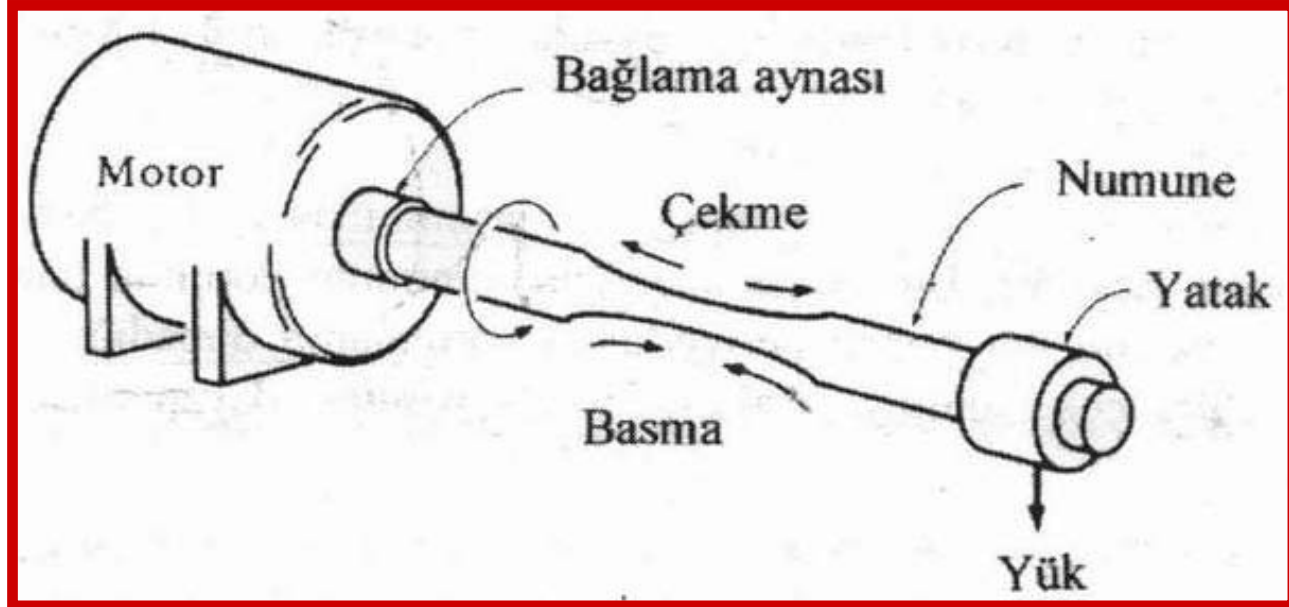
L: Çubuğun boyu

F: Yük

d: Çap



Destekli Kiriş Testi



Yorulma Deneyinin Sonuçları

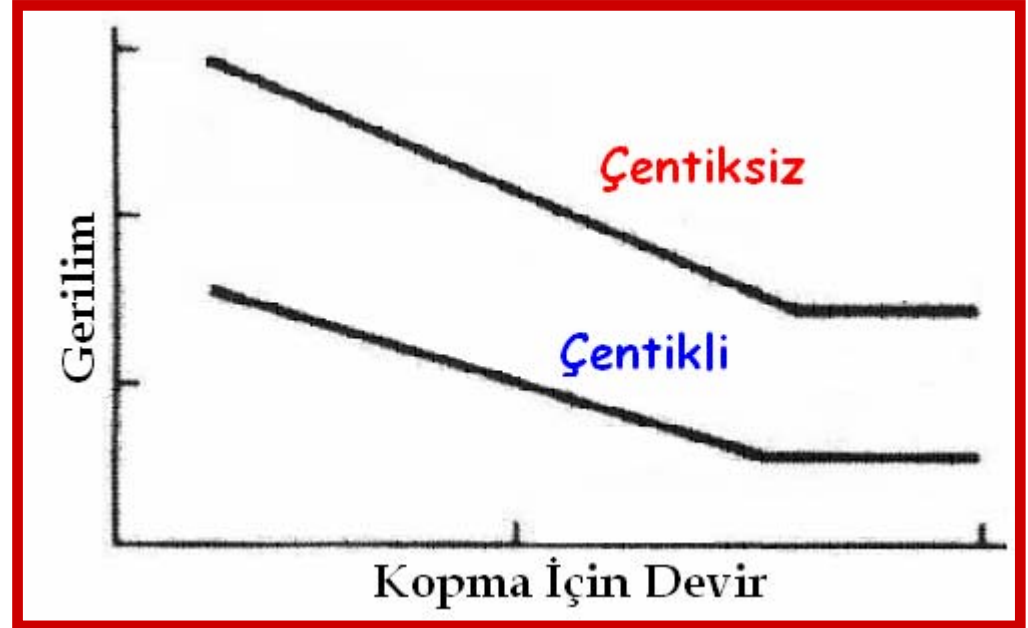
Yorulma testi bir parçanın ne kadar süreyle dayanabileceğini veya kopma olmaksızın uygulanabilecek maksimum yüklemeleri belirler.

- Yorulma ömrü
- Yorulma sınırı
- Yorulma dayanımı

Yorulma Özelliklerini Etkileyen Faktörler

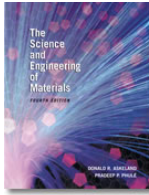
Çentik Hassasiyeti:

❑ Gerilmeye maruz malzemede yorulma çatlakları, gerilmenin en yüksek olduğu yüzeyde başlar.



❑ Yüzeydeki herhangi bir tasarım veya üretim hatası gerilmeleri yoğunlaştırır ve yorulma çatlaklarının oluşmasını kolaylaştırır.

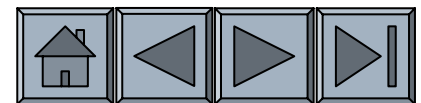
Yorulma Özelliklerini Etkileyen Faktörler



Yorulma Oranı:

$$\text{Yorulma Oranı} = \frac{\text{Yorulma Sınırı}}{\text{Çekme Dayanımı}} \sim 0,5$$

Malzemenin yüzeyinde çekme dayanımı artarsa yorulmaya karşı direnç de artar.

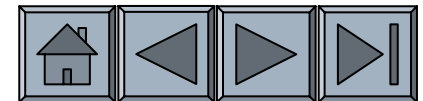


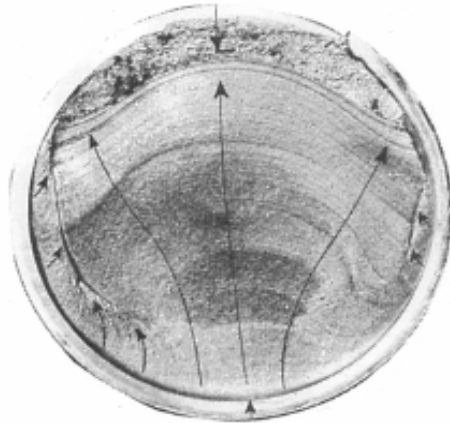


Yorulma Özelliklerini Etkileyen Faktörler

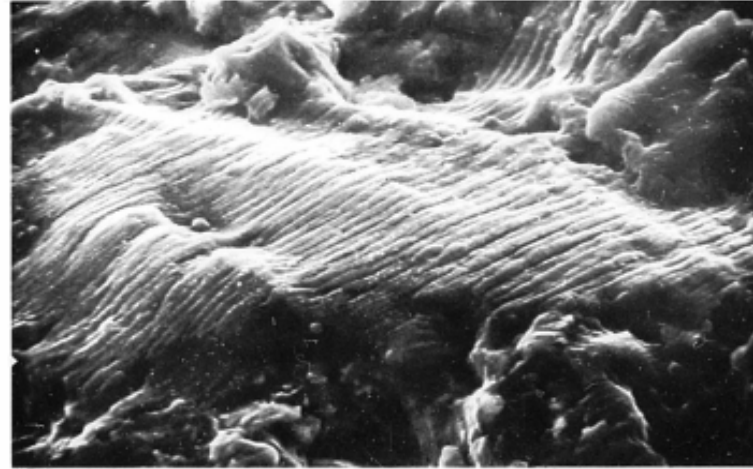
Sıcaklık Etkisi:

Sıcaklık ↑ ise Dayanım ↓, Yorulma Ömrü ve Yorulma Sınırı ↓



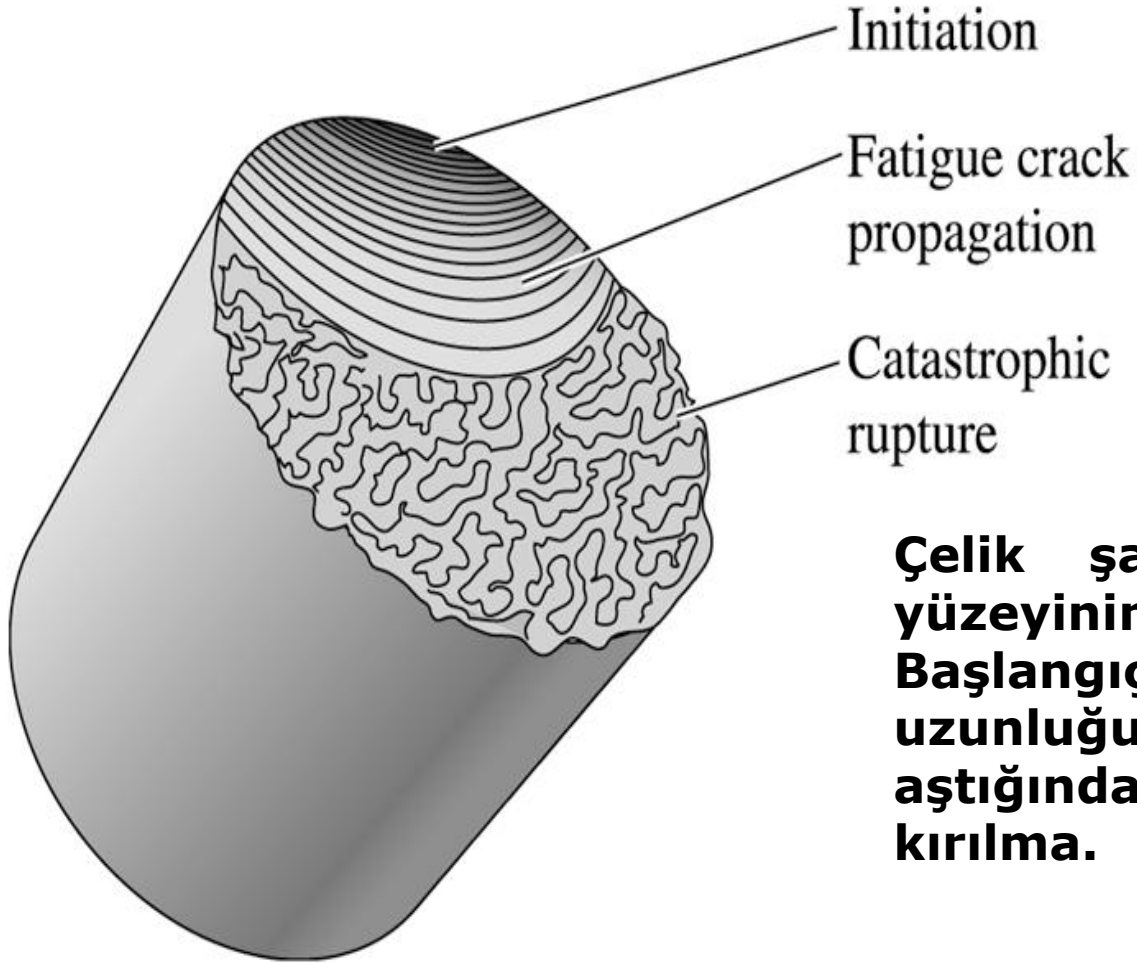


(a)

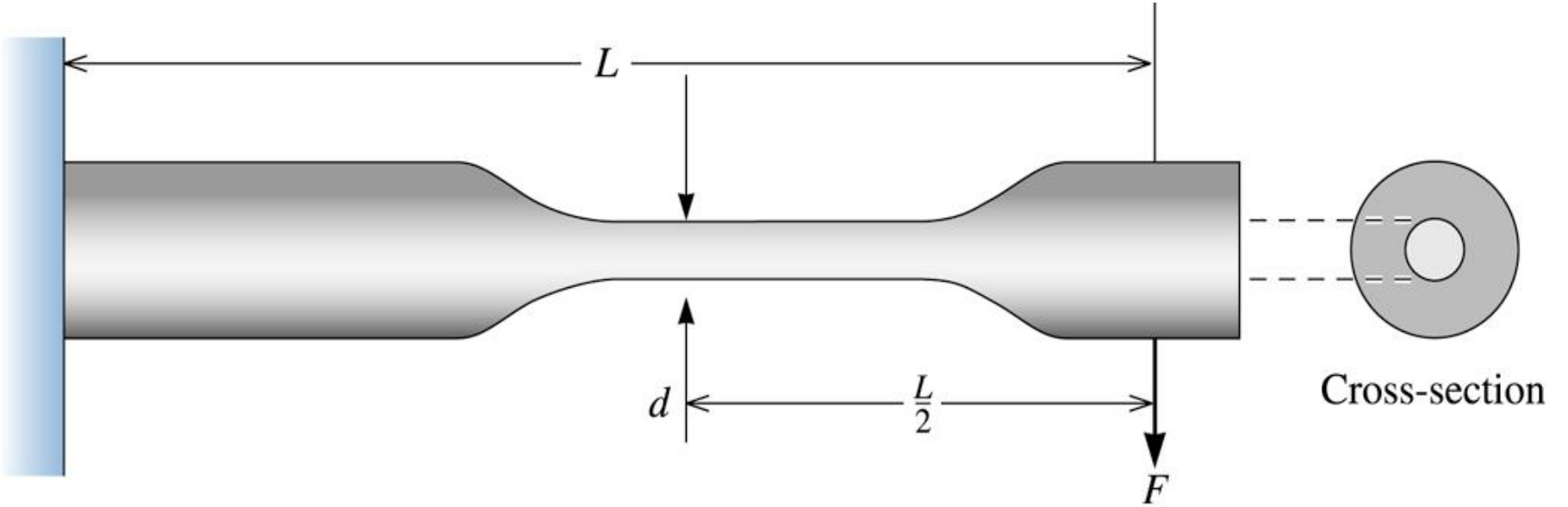


(b)

Yorulma kırık yüzeyi (a)düşük büyütme. Oklar çatlakların büyüme yönünü gösterir. (Image (a) is from C.C. Cottell, "Fatigue Failures with Special Reference to Fracture Characteristics," Failure Analysis: The British Engine Technical Reports, American Society for Metals, 1981, p. 318.) (b) Yüksek büyütme (x 1000)

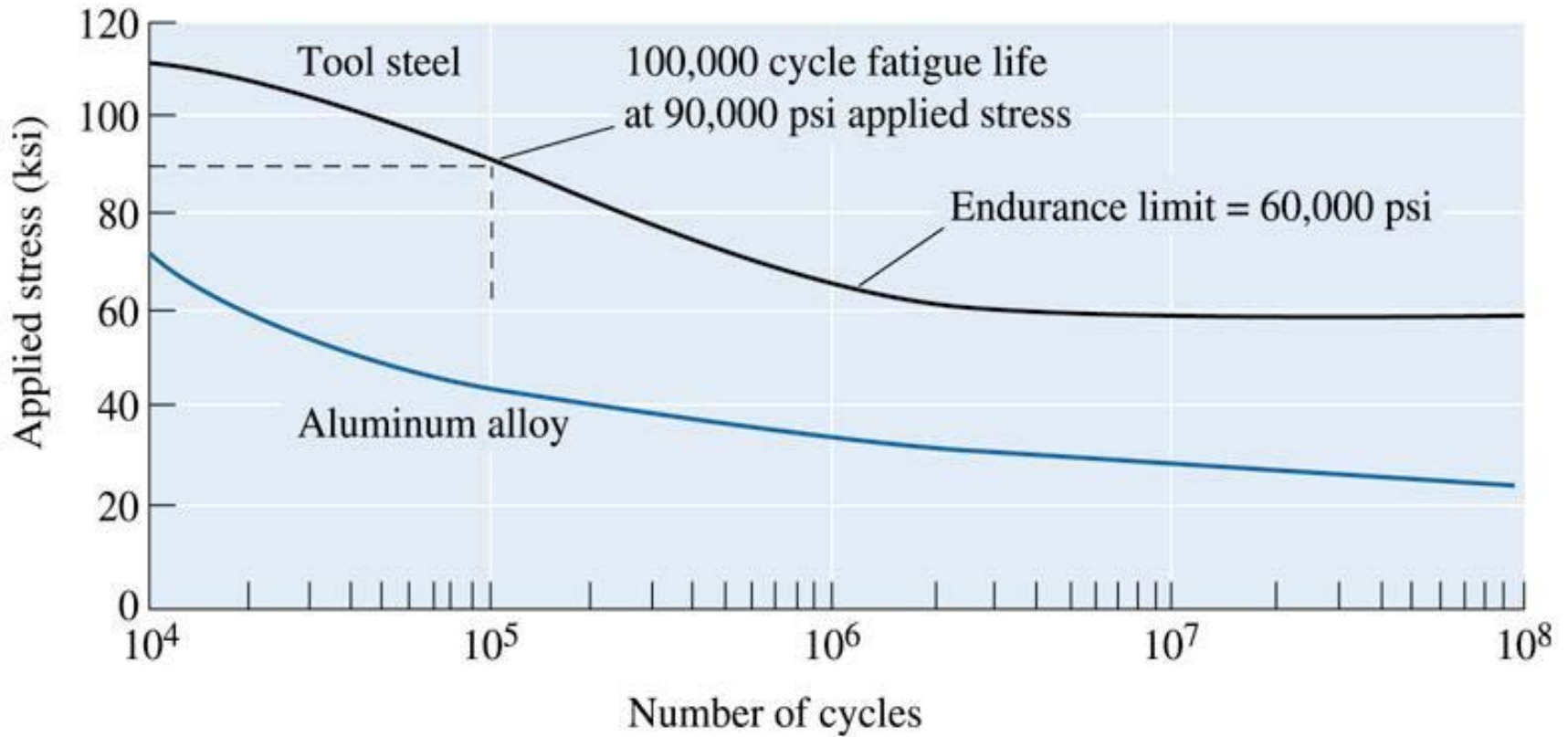


Çelik şaftta yorulma kırık yüzeyinin şematik gösterimi. Başlangıç, ilerleme ve çatlak uzunluğu belirli bir değeri aştığında oluşan katastrofik kırılma.



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning_® is a trademark used herein under license.

Dönen kriş örneğinin şematik gösterimi.



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning_™ is a trademark used herein under license.

Takım çeliği ve alüminyum alaşımları için gerilim-devir eğrisi (S-N).

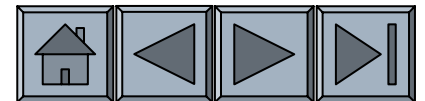
Bölüm 6.15. Yorulma Test Sonuçları

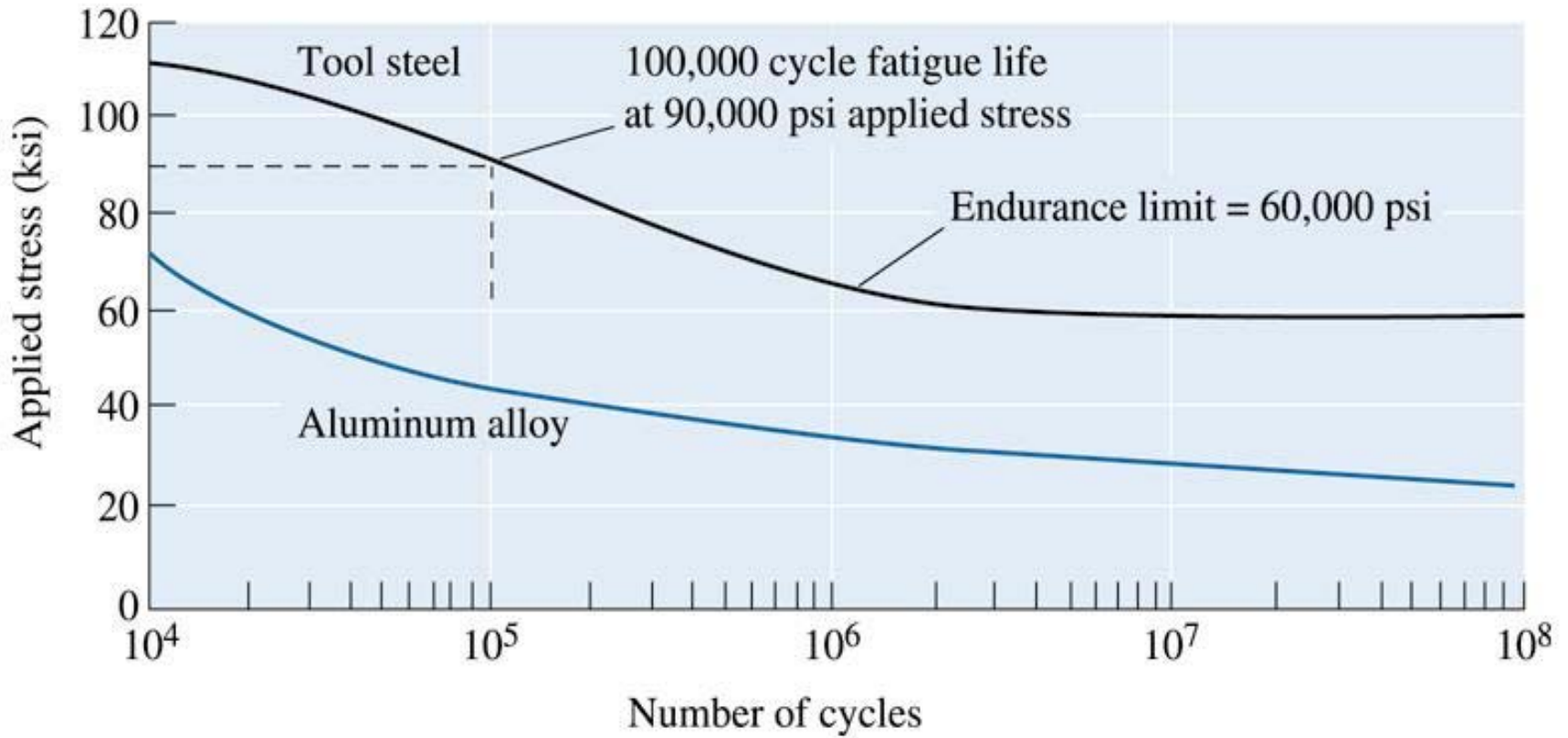
- **Yorulma dayanım sınırı** – Yorulma testinde malzemenin hasara uğramadığı gerilim değeridir.
- **Yorulma ömrü** – Belirli bir gerilim değerinde yorulma ile malzeme hasara uğramadan önce izin verilen devir sayısıdır.
- **Yorulma dayanımı** – Verilen devir adedinde yorulma ile hasara uğramak için gerekli gerilim miktarıdır.
- **Çentik hassasiyeti** – Tokluk veya yorulma ömrü değerlendirmesinde çatlak, çentik ve diğer kusurların malzeme özellikleri üzerine etkisidir.
- **Bilyalama** – Metal kürelerin/bilyaların bir parçaya fırlatılması prosesidir.



Örnek 6.18. Dönen şaft tasarımı

Çimento karıştırıcısı olarak kullanılan şaft takım çeliğinden üretilmiştir. 96 in. uzunluğunda ve 12500 lb olan yüke bir yıl dayanmalıdır. Karıştırma işlemi esnasında şaft dakikada bir dönüş yapar. Bu gerekleri sağlayacak bir şaft tasarlayınız?





(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning_™ is a trademark used herein under license.

Takım çeliği ve alüminyum için S/N eğrileri

ÇÖZÜM



From Figure 6-50, the applied stress therefore must be less than about 72,000 psi. If Equation 6-31 is appropriate, then the diameter of the shaft must be:

$$\pm\sigma = \frac{16FL}{\pi d^3} = 5.09 \frac{FL}{d^3}$$

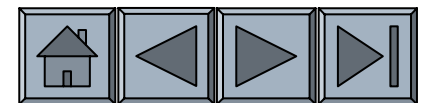
$$72,000 \text{ psi} = \frac{(5.09)(96 \text{ in.})(12,500 \text{ lb})}{d^3}$$

$$d = 4.39 \text{ in.}$$

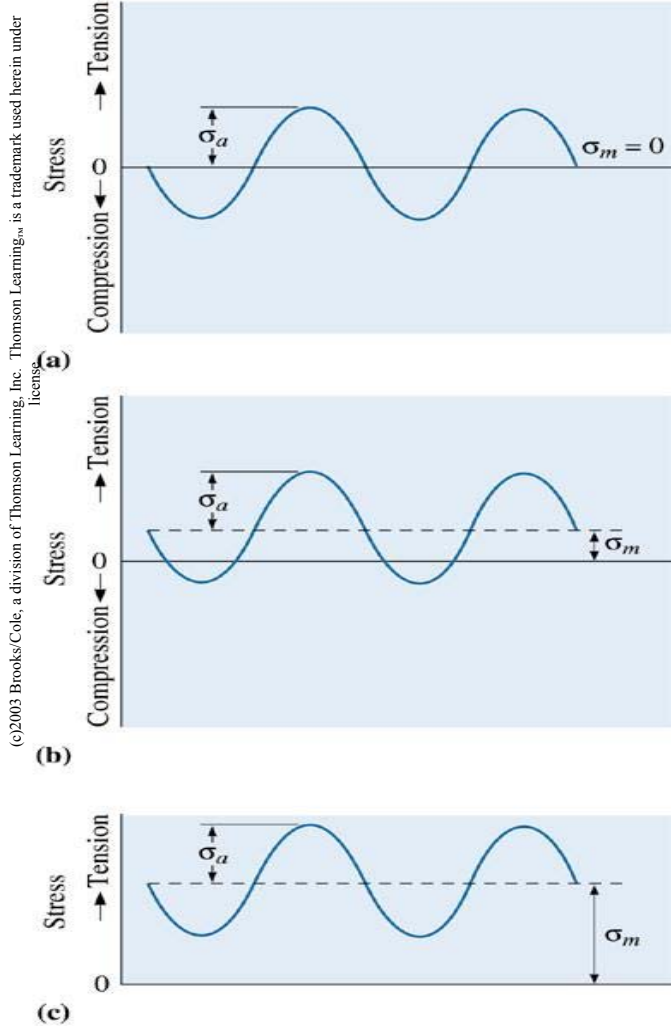
Let us assume the factor of safety to be 2 (i.e., we will assume that the maximum allowed stress level will be $72,000/2 = 36,000$ psi). The minimum diameter required to prevent failure would now be:

$$36,000 \text{ psi} = \frac{(5.09)(96 \text{ in.})(12,500 \text{ lb})}{d^3}$$

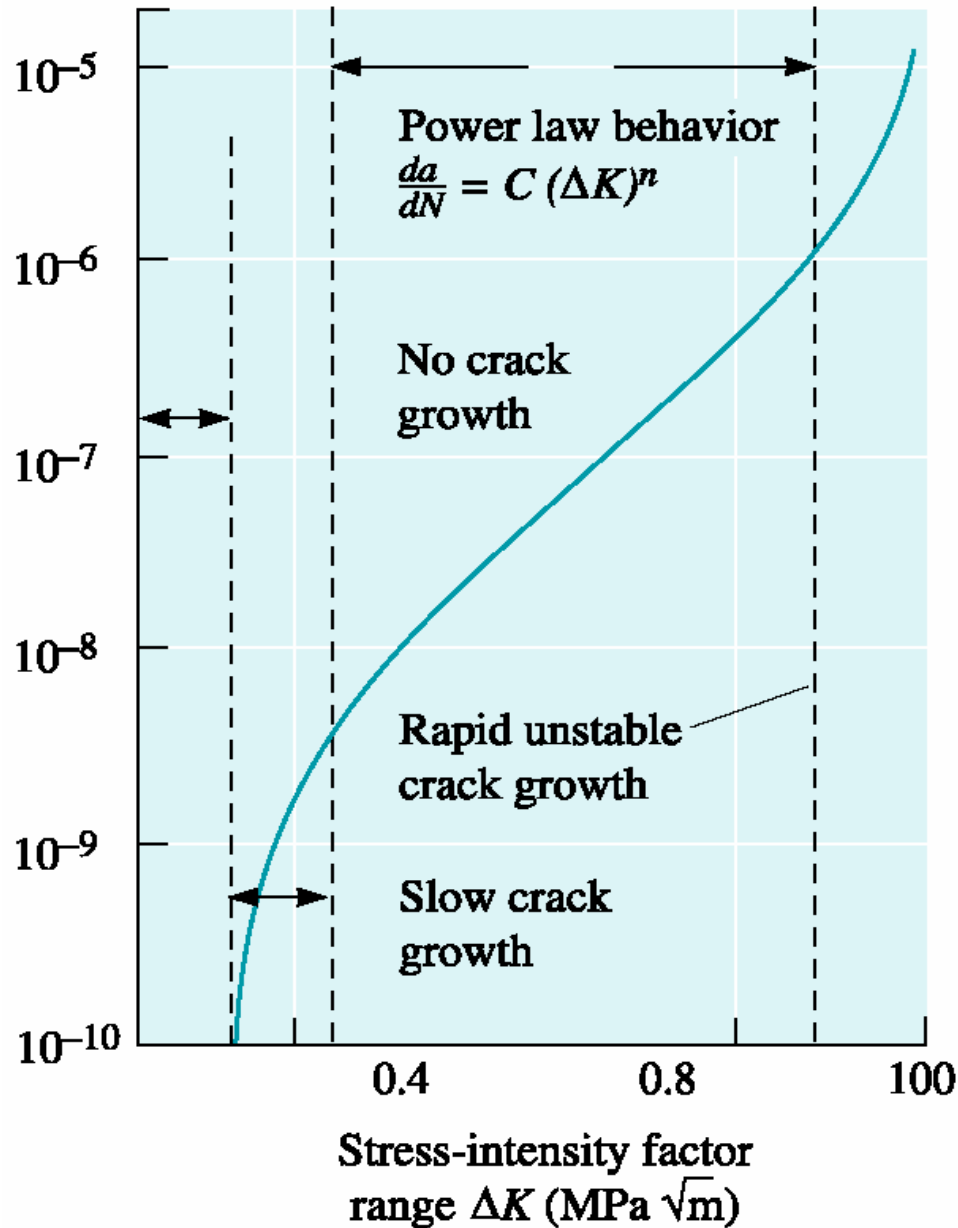
$$d = 5.53 \text{ in.}$$



Bölüm 6.16. Yorulma Testinin Uygulaması



Gerilim-Çevrim eğrilerine örnekler. (a) Eşit çekme ve basma gerilimi. (b) basma geriliminden yüksek çekme gerilimi (c) tümü çekme gerilimi

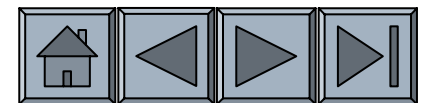


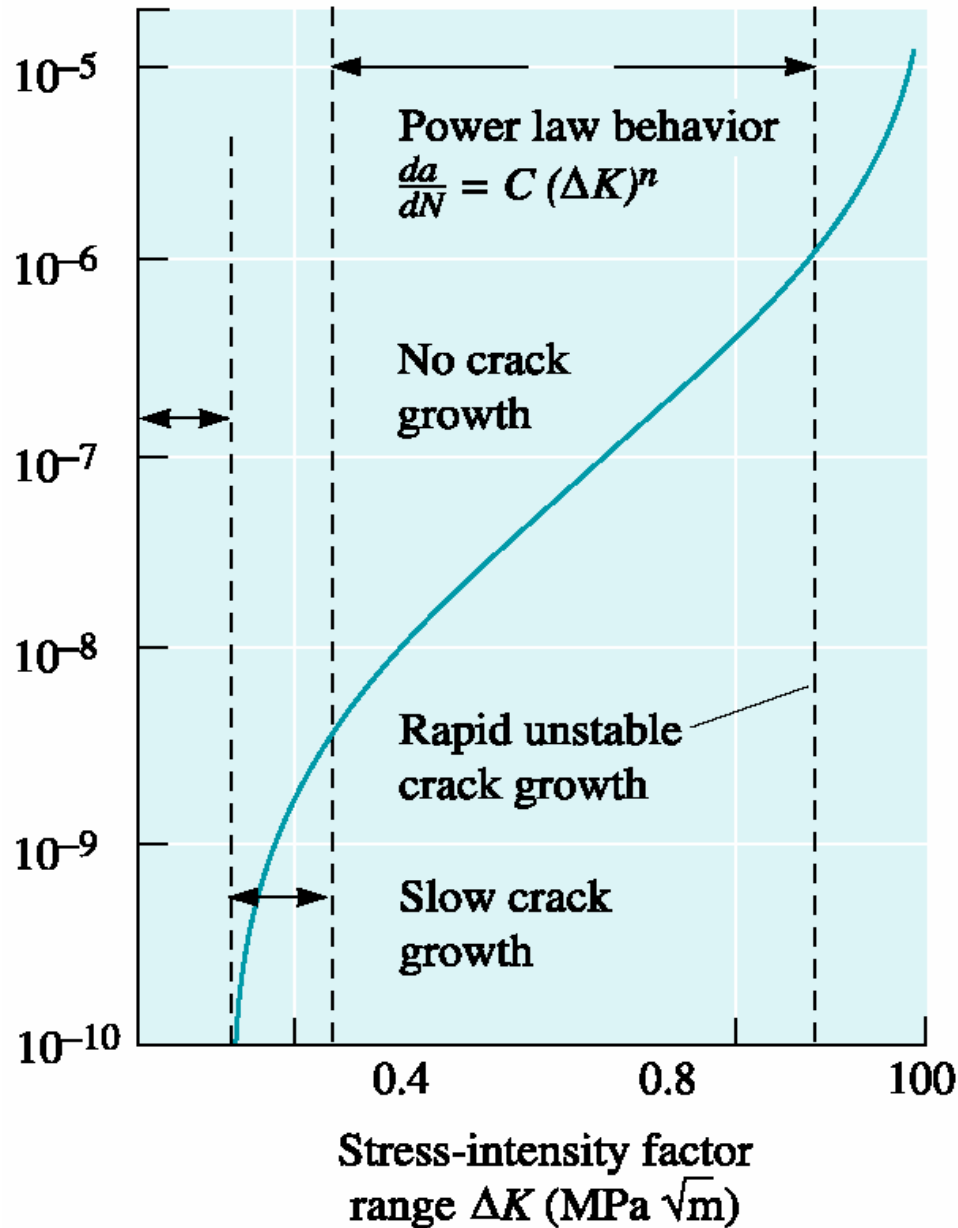
Yüksek mukavemetli çelik için çatlak ilerleme hızına karşılık gerilim yoğunluk faktörü., C = 1.62×10^{12} ve n = 3.2



Örnek 6.18. Yorulmaya Dayanımlı Plaka Tasarımı

Düzlemsel deformasyon kırılma tokluğu $80 \text{ Mpam}^{1/2}$ olan çelik levha dönüşümlü çekme 500 MPa ve basma 60 MPa gerilmelerine maruz bırakılmıştır. Bu levha ömrü 10 yıldır gerilim her 5 dakikada bir uygulanmıştır. İmalat ve test prosedürünü varsayılan ömrü tamamlayacak şekilde tasarlayınız?





Yüksek mukavemetli çelikler için çatlak ilerleme hızı-gerilim yoğunluk faktörü. $C = 1.62 \times 10^{12}$ ve $n = 3.2$

ÇÖZÜM



The critical crack size (a_c), using the fracture toughness and the maximum stress, is:

$$K_{Ic} = f\sigma\sqrt{\pi a_c}$$

$$80 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} = (1)(500 \text{ MPa})\sqrt{\pi a_c}$$

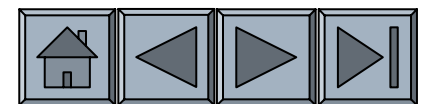
$$a_c = 0.0081 \text{ m} = 8.1 \text{ mm}$$

We need to determine the minimum number of cycles that the plate must withstand:

$$a_i = 1.82 \times 10^{-6} \text{ m} = 0.00182 \text{ mm for surface flaws}$$

$$2a_i = 0.00364 \text{ mm for internal flaws}$$

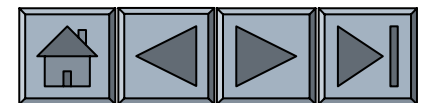
The manufacturing process must produce surface flaws smaller than 0.00182 mm in length. We can conduct a similar calculation for specifying a limit on edge cracks. In addition, nondestructive tests must be available to assure that cracks exceeding this length are not present.





Bölüm 6.18. Sürünme, Gerilim Çatlaması ve Gerilim Korozyonu

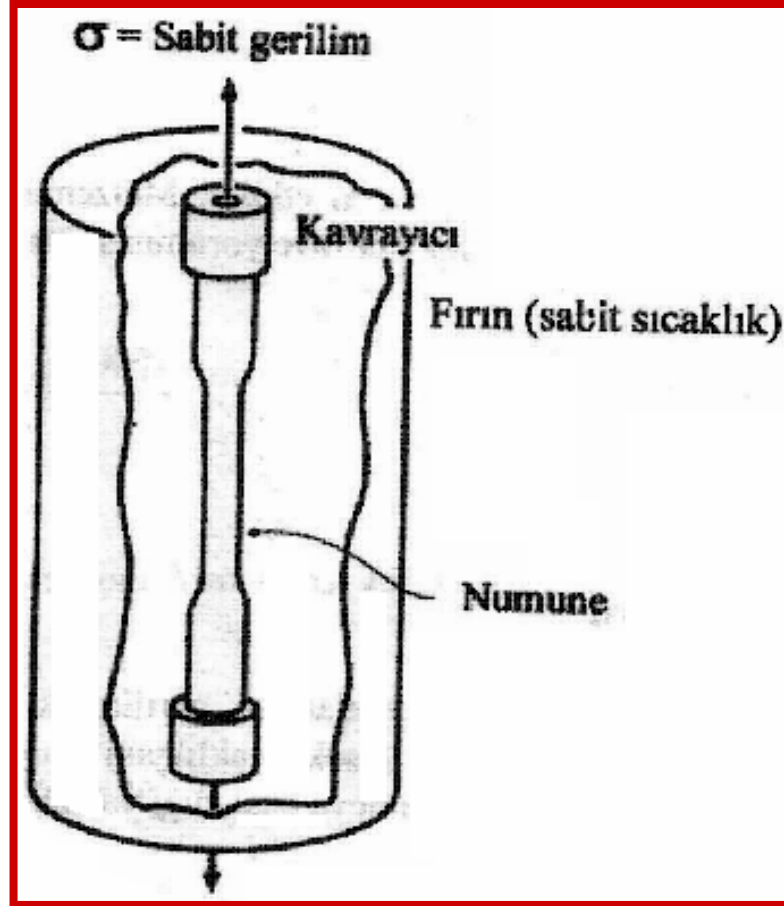
- **Gerilim-çatlama (rupture) eğrisi** – Uygulanan gerilime karşılık çatlama zamanını vererek sürünme testlerinin sonuçlarını rapor eden metoddur.
- **Gerilim-Korozyon** – Malzemelerin korozif kimyasallarla reaksiyona girerek çatlak oluşumuna ve mukavemet düşmesine sebep olmasıdır.



Sürünme Deneyinin Yapısı

- ❑ Sürünme, yüksek sıcaklıktaki plastik şekil değiştirmedir.
- ❑ Malzemeye yüksek sıcaklıkta gerilme uygulanırsa, gerilme akma dayanımının altında olsa bile malzeme gerilebilir ve kopabilir.

Sürünme deneyinde numune yüksek sıcaklıkta uygulanan sabit gerilme altında fırına yerleştirilir.



Dislokasyonların Tırmanması

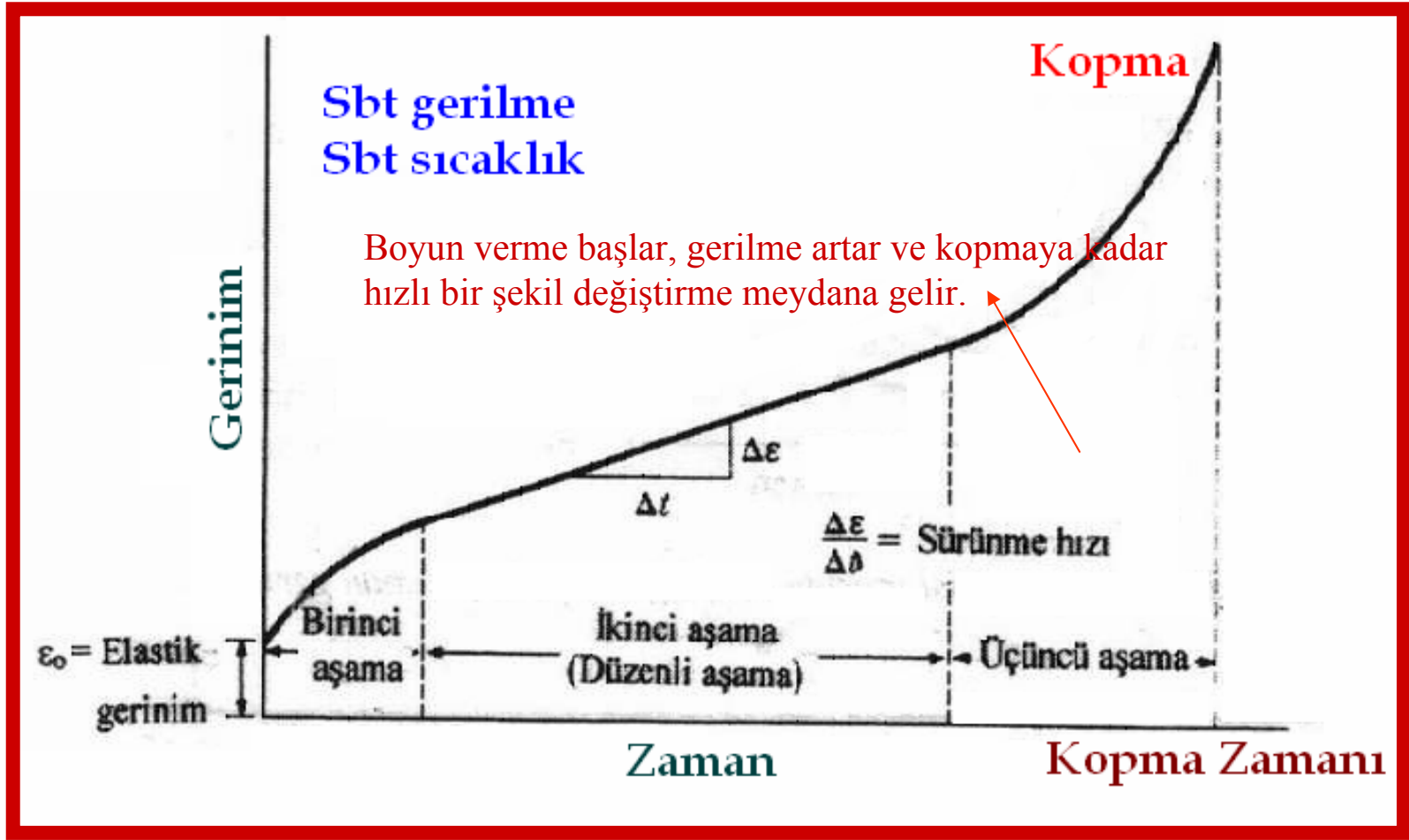
- ❑ Yüksek sıcaklıklar metalde dislokasyonların tırmanmasını sağlar.
- ❑ Dislokasyon düzensizlikten uzağa tırmandıktan sonra kaymaya devam ederek, uygulanan en düşük gerilmelerde bile numunenin şekil değiştirmesini sağlar.

Sürünme Hızı ve Kopma Zamanı

- Sürünme testi sırasında, gerinim veya uzama, zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür ve sürünme eğrisi elde etmek için çizilir.
- Sürünme eğrisinin düzenli kısmının eğimi sürünme hızını verir.

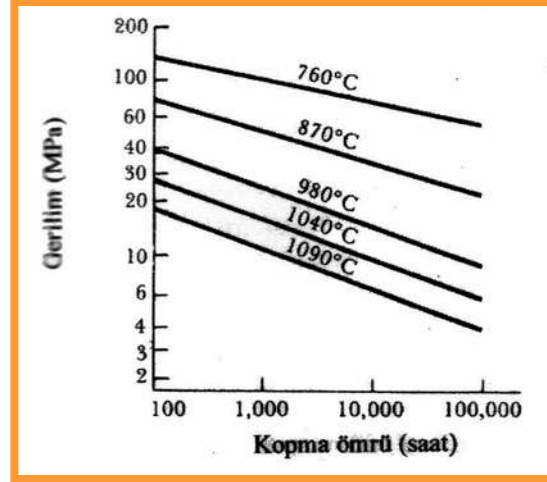
$$\text{Sürünme Hızı} = \frac{\Delta \text{Gerinim}}{\Delta \text{Zaman}}$$

Sürünme Eğrisi

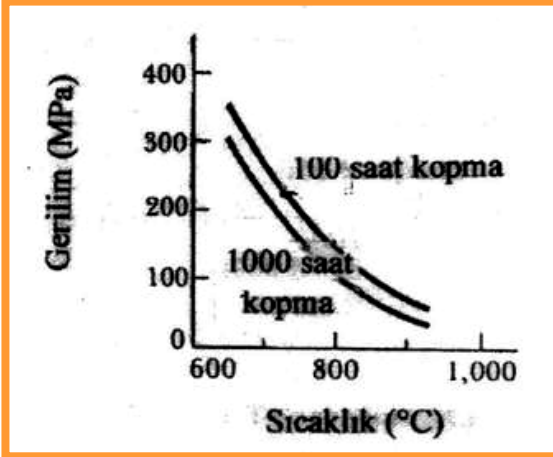


Sürünme Verilerinin Kullanımı

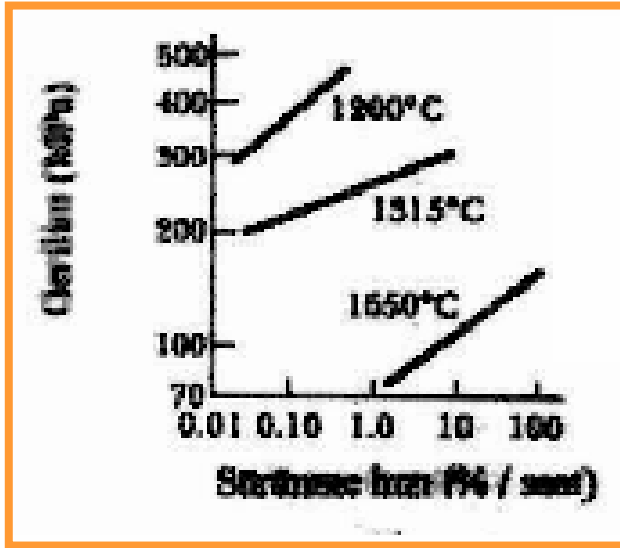
Kopma Ömrü- Gerilme eğrisi kullanılarak sıcaklık ve zaman kombine edilerek bir parçanın beklenen ömrü tahmin edilebilir.



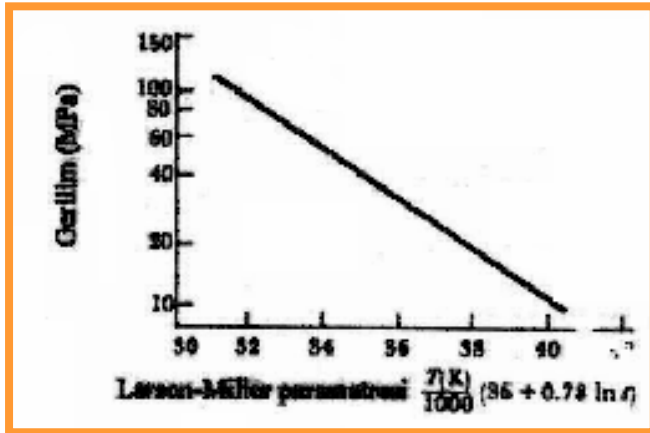
100 saat ve 1000 saatte kopmayı gösteren eğri.



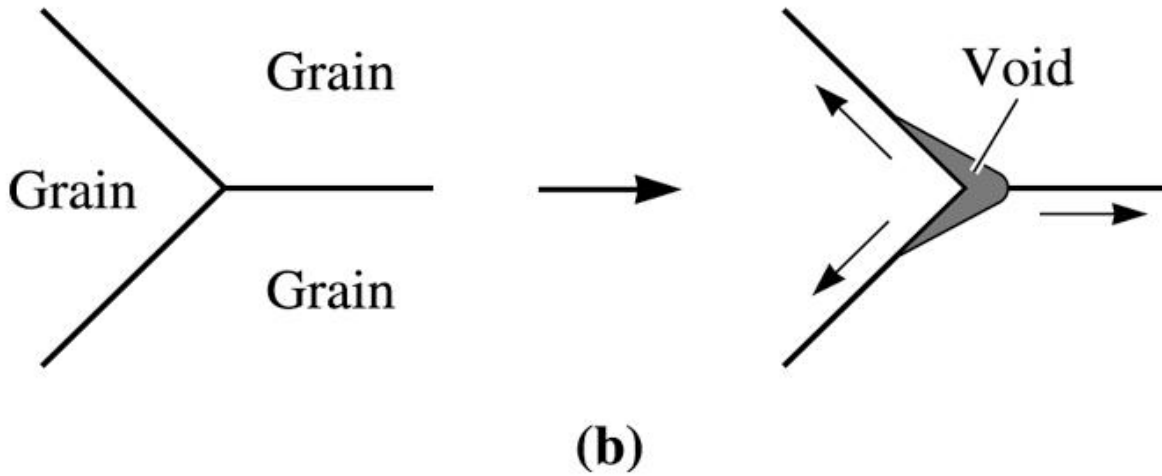
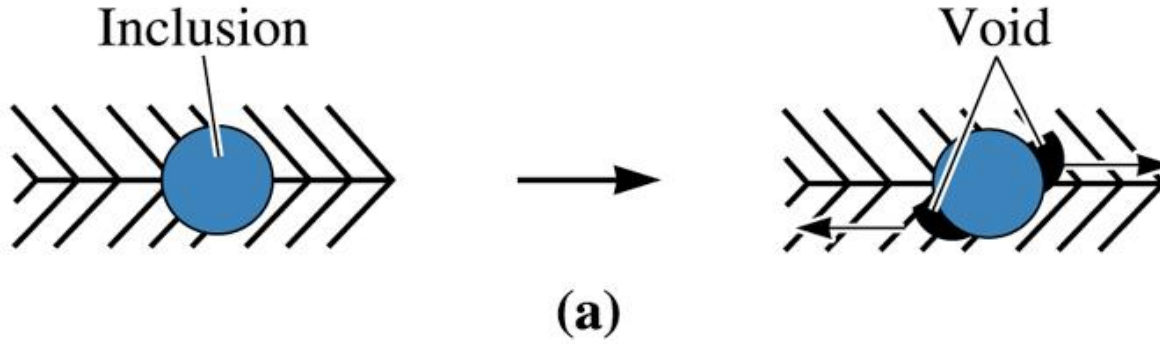
Sürünme Verilerinin Kullanımı



Uygulanan gerilme ve sıcaklığın kombinasyonu için elde edilebilecek sürünme hızını gösterir.

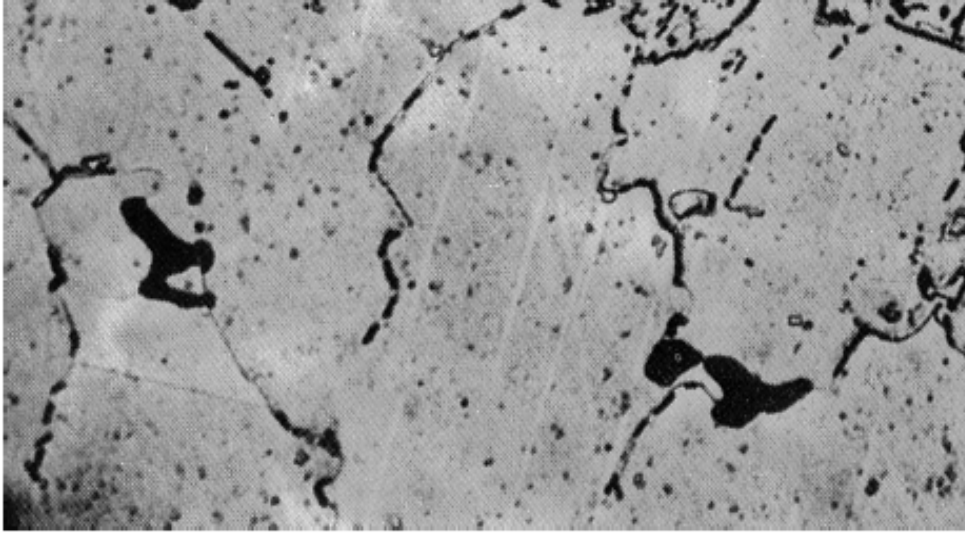


Larson-Miller parametresi, gerilme-sıcaklık-kopma zamanı ilişkisinin birlikte değerlendirilmesi için kullanılır.

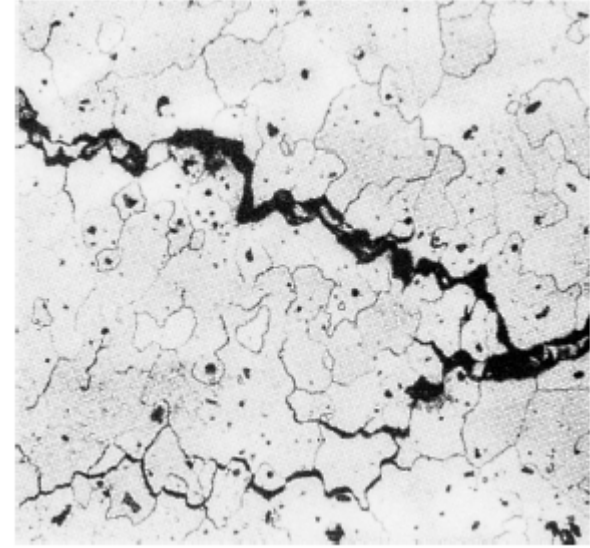


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

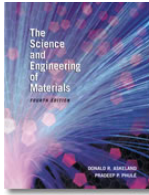
Sürünme esnasında tane sınırları kayması (a) tane sınırlarında hapsolunan inklüzyonların boşluk oluşturmalarına ve (b) üç tanenin birleştiği noktada boşluk oluşturmalarına sebep olur.



Östenitik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında oluşan sürünme boşlukları. (x 500). (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972) ASM International, Materials Park, OH 44073.)

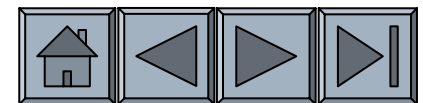


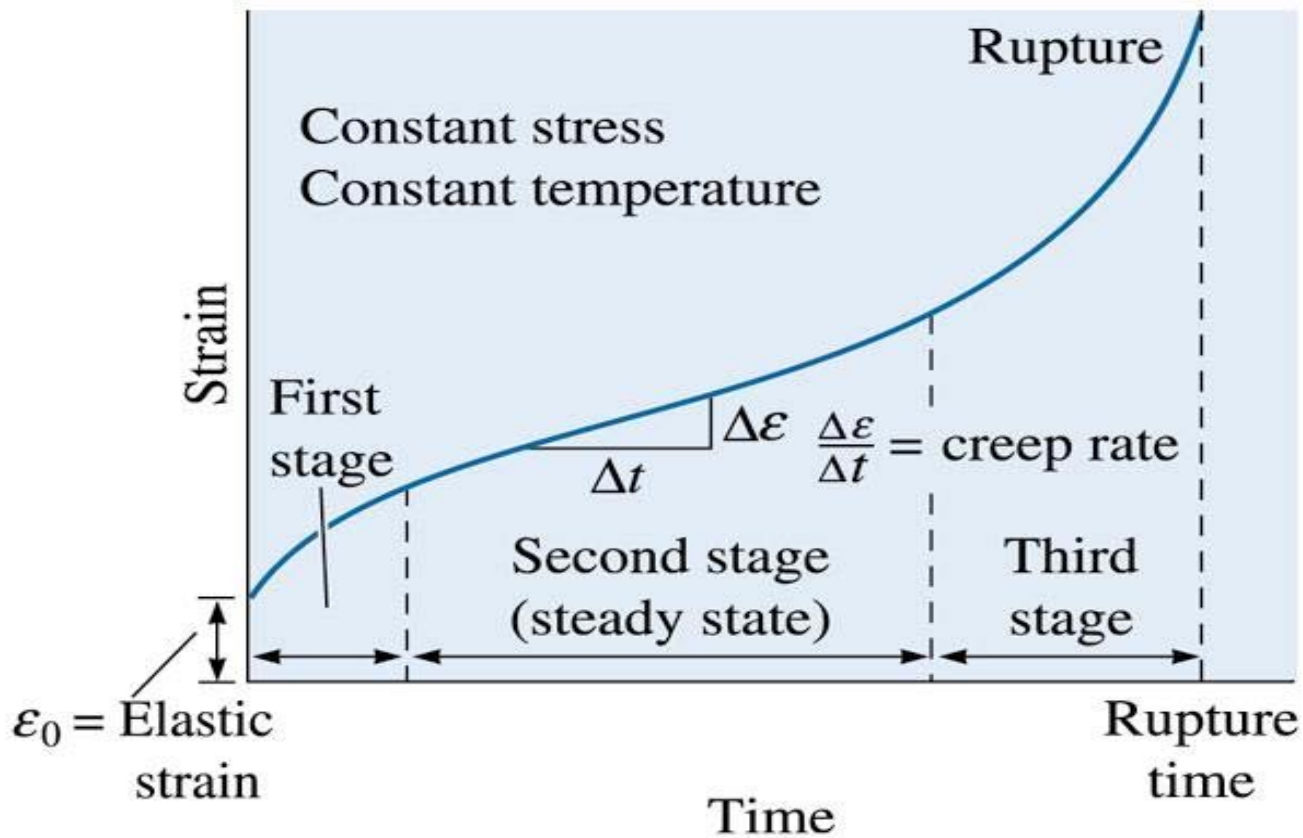
Gerilim-korozyon çatlamasının gerçekleşmesi muhtemel numune, birçok taneler arası çatlak içermektedir. (x 200). (From ASM Handbook, Vol. 7, (1972) ASM International, Materials Park, OH 44073.)



Bölüm 6.18. Sürünme Davranışının Değerlendirilmesi

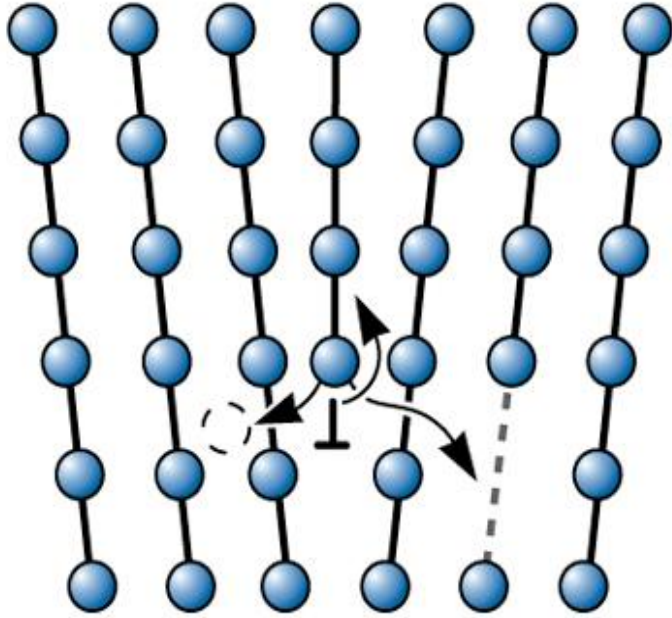
- **Sürünme Testi** – Yüksek sıcaklıkta akma gerilmesi altında malzemenin statik yüklere maruz tutularak direncini ölçen testtir.
- **Tırmanma** – Atomların difüzyonu ile veya dislokasyon çizgisi oluşturmak için dislokasyonların kayma düzlemine dik olarak hareket etmesidir.
- **Sürünme hızı** – Yüksek sıcaklıkta gerilim uygulandığında malzemenin deforme olduğu hızdır.
- **Kopma zamanı** – Numunenin belirli sıcaklık ve gerilimde sürünme ile hasar görmesi için geçen zamandır.



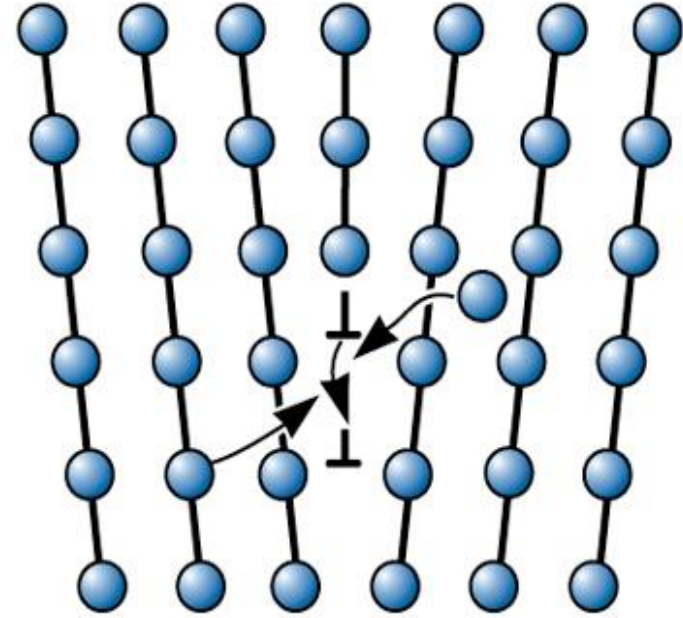


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning,™ is a trademark used herein under license.

Sabit gerilim ve sıcaklıkta zamanın fonksiyonu olarak oluşan deformasyonu gösteren tipik sürünme grafiğidir.



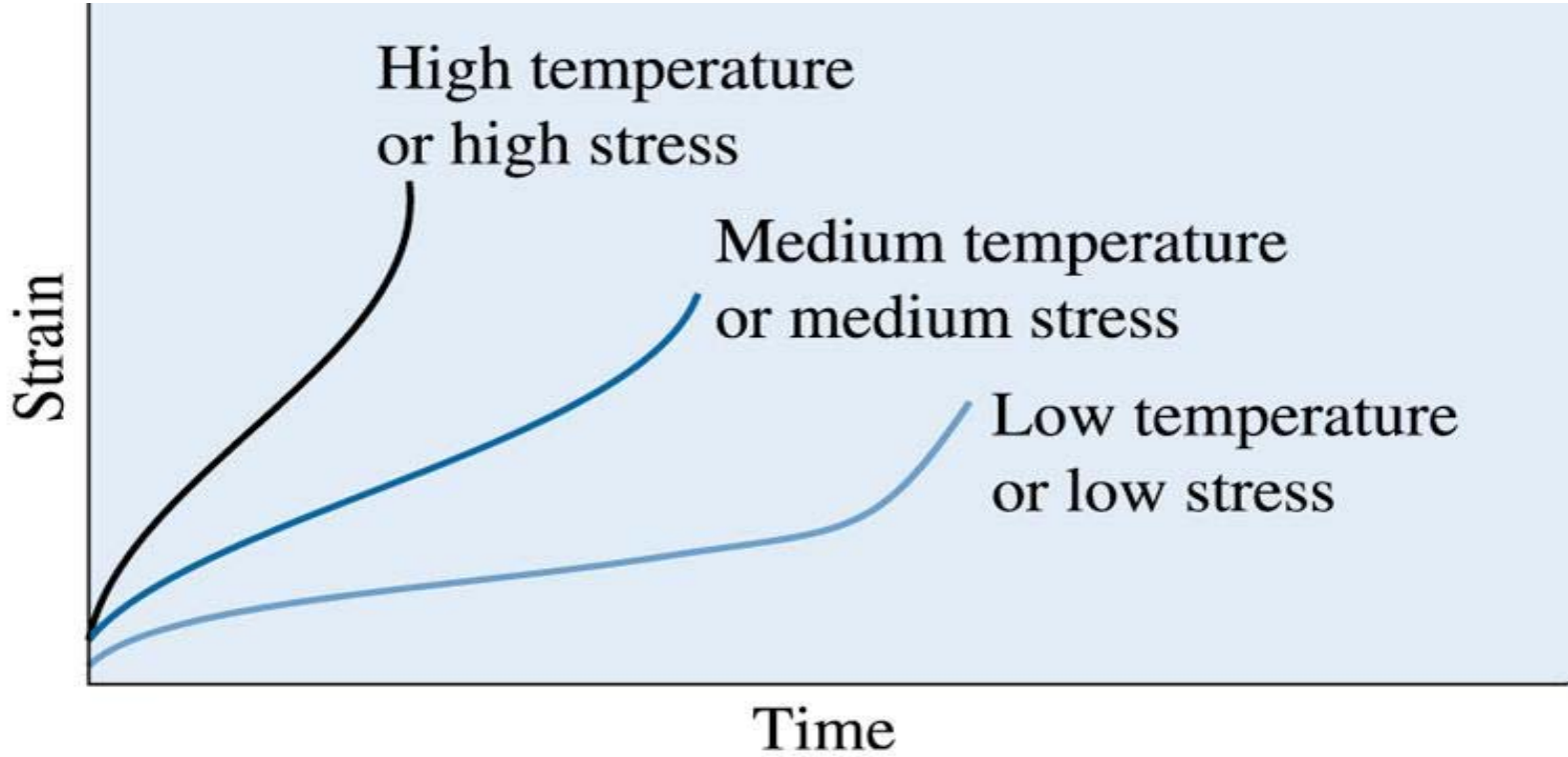
(a)



(b)

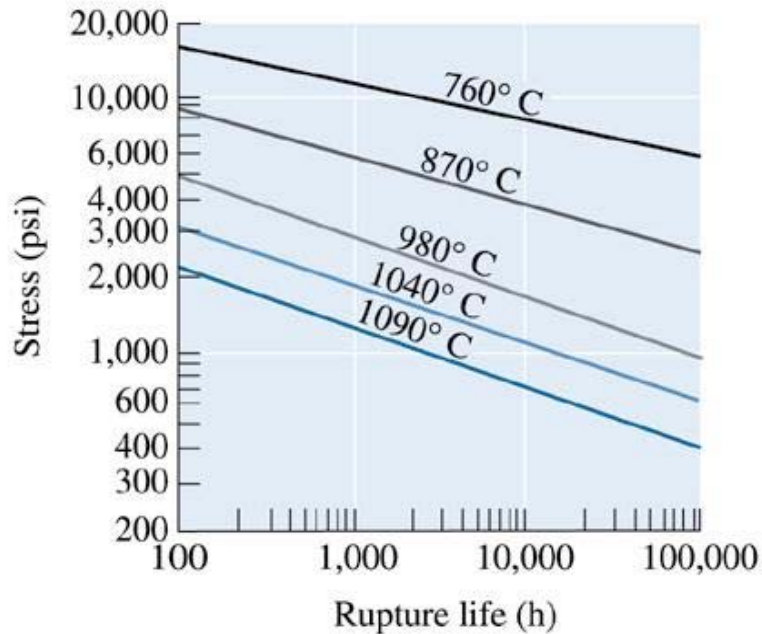
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning_{sm} is a trademark used herein under license.

Dislokasyonlar tırmanabilir (a) atom dislokasyon çizgisini arayer oluşturmak veya boşlukları doldurmak ayrıldığında (b) ya da atom boşluk oluşturarak veya arayerleri elimine ederek dislokasyon çizgisine eklenirler ve tırmanma gerçekleşir.

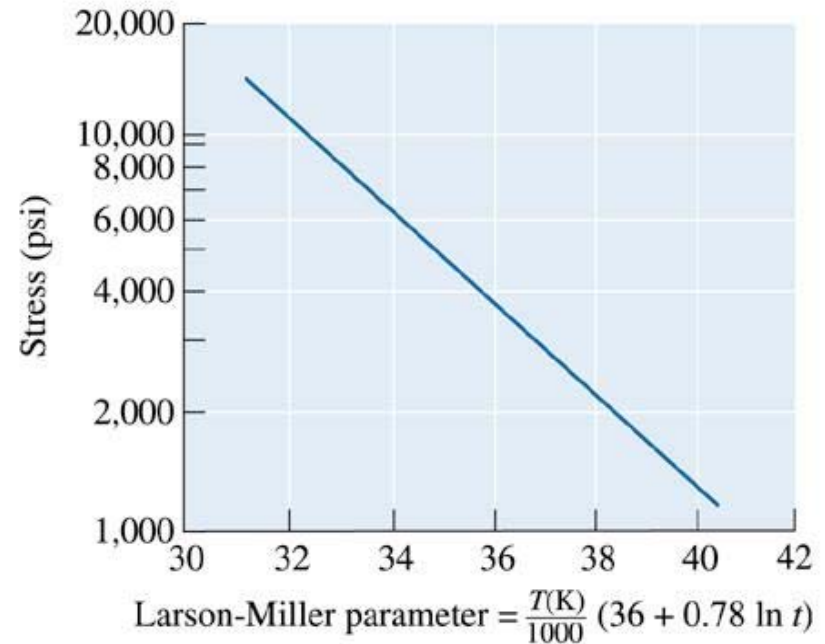


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning[™] is a trademark used herein under license.

Sürünme eğrisine uygulanan gerilim ve sıcaklığın etkisi.



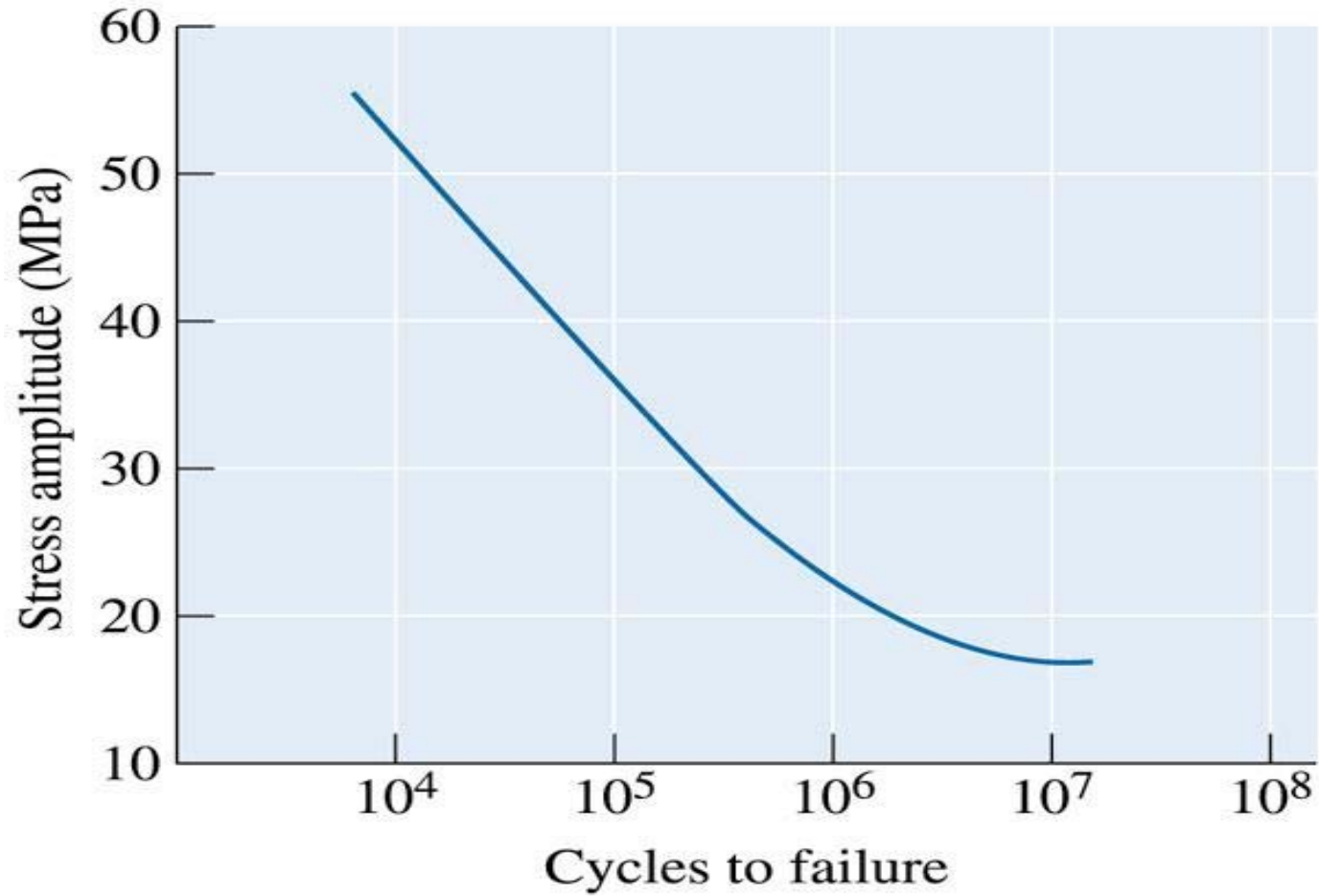
(a)



(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Results from a series of creep tests. (a) Stress-rupture curves for an iron-chromium-nickel alloy and (b) the Larson-Miller parameter for ductile cast iron



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

Polimer için S-N yorulma eğrisi