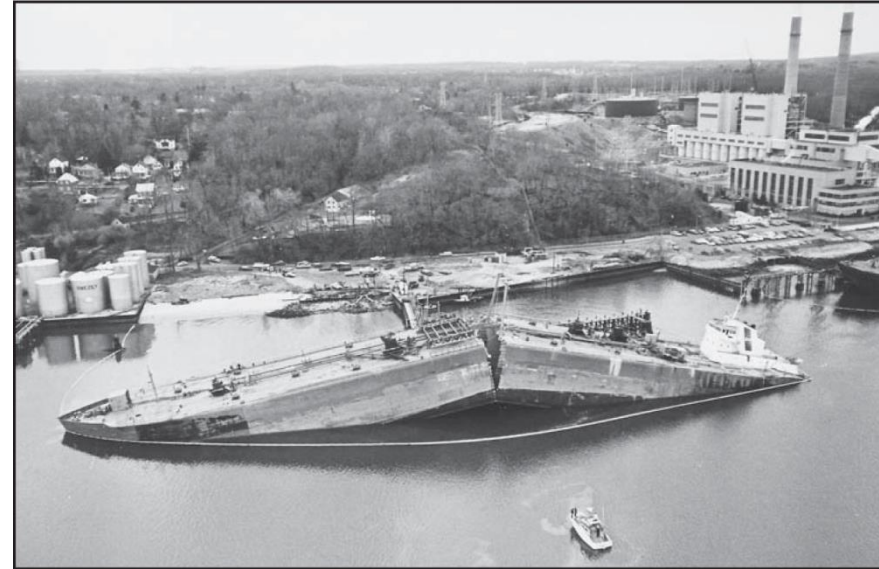


Bölüm 8 Hasar



(a)



(b)



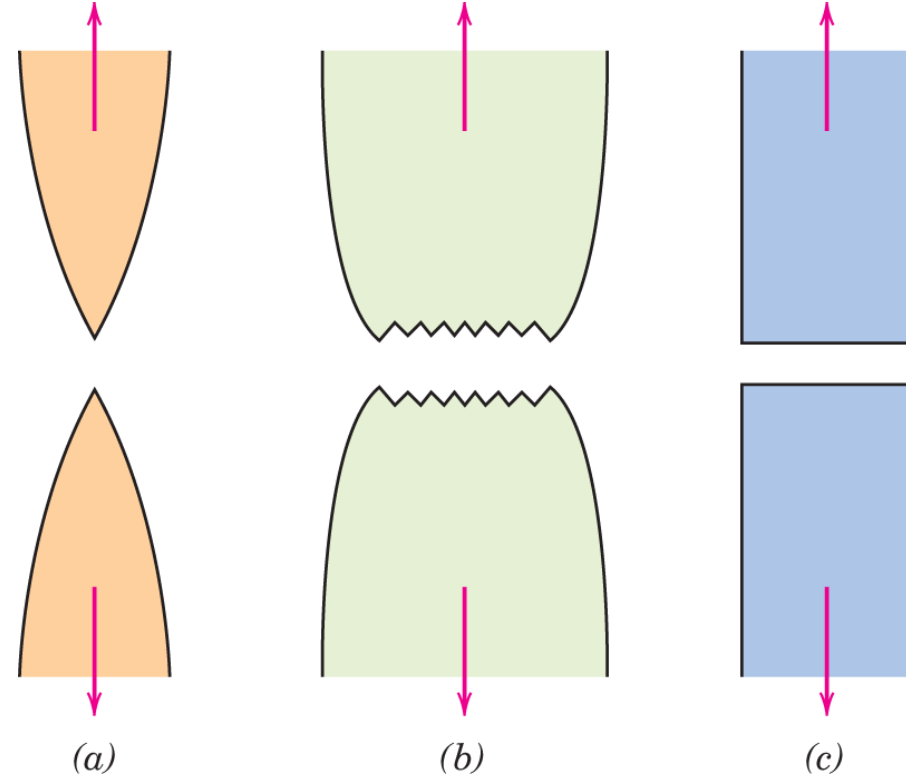
(c)

Kırılma

8.2 KIRILMANIN TEMELLERİ

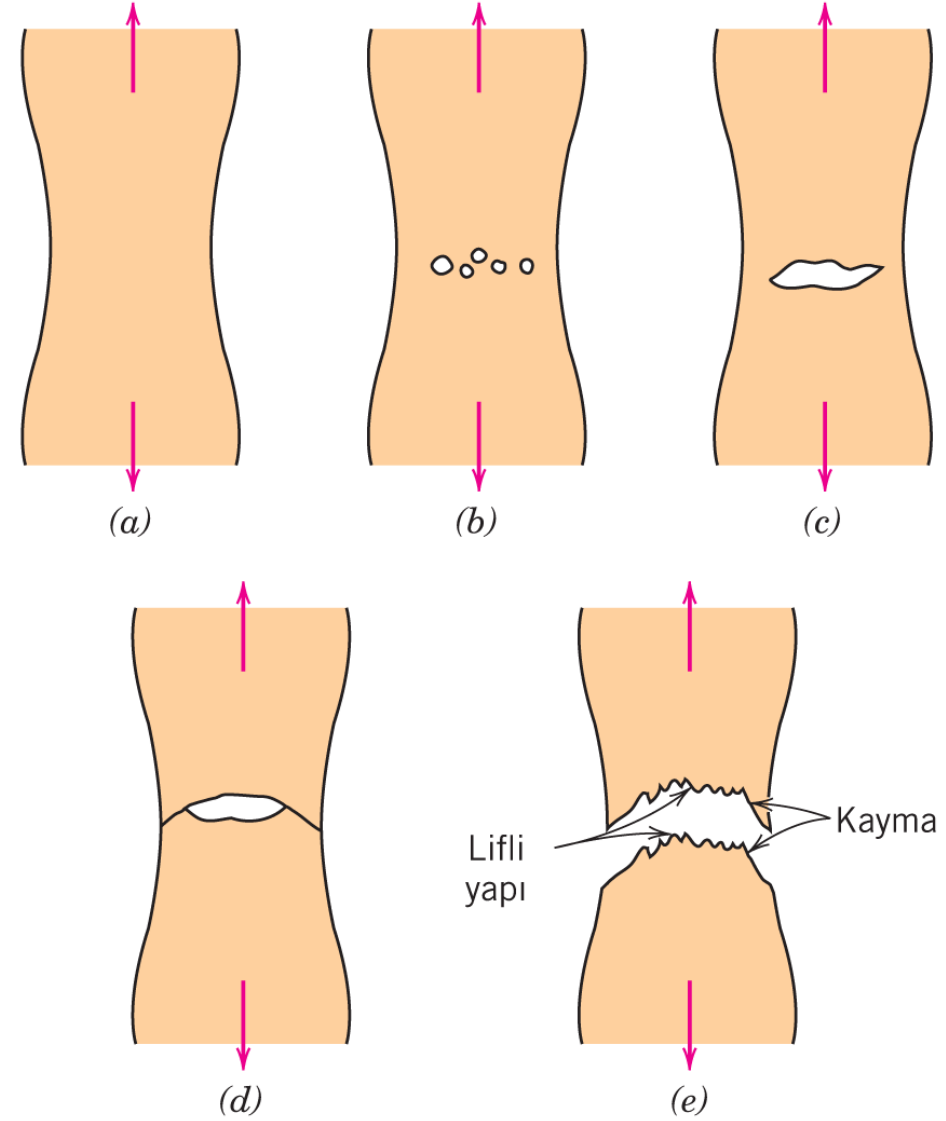
- Mühendislik malzemelerinde **sünek** ve **gevrek** olmak üzere iki kırılma şekli söz konusudur ve birbirlerinden malzemenin uğrayabileceği plastik deformasyona göre ayrılır.
- **Sünek** malzemeler tipik olarak, kırılma öncesi yüksek miktarda enerji absorbe ederek önemli oranda plastik deformasyona uğrar.
- **Gevrek kırılmada** ise genellikle çok az veya hiç plastik deformasyon oluşmadan düşük miktarda enerji absorbe edilir.

8.3 SÜNEK KIRILMA



Şekil 8.1 (a) Yüksek derecede sünek kırılma, kopma noktasına kadar süren boyun oluşumu.
(b) Kısmi boyun oluşumu sonrası sünek kırılma.
(c) Plastik deformasyon oluşmaksızın meydana gelen gevrek kırılma.

Şekil 8.2 Çanak-koni kırılmanın oluşum aşamaları. (a) Boyun verme başlangıcı. (b) Küçük boşlukların oluşması. (c) Birleşen boşlukların çatlağı oluşturması. (d) Çatlak ilerlemesi. (e) Son olarak çekme doğrultusuna 45° açıyla oluşan kayma kırılması. (K. M. Ralls, T. H. Courtney, and J. Wulff, *Introduction to Materials Science and Engineering*, p. 468 (1976). Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)





(a)



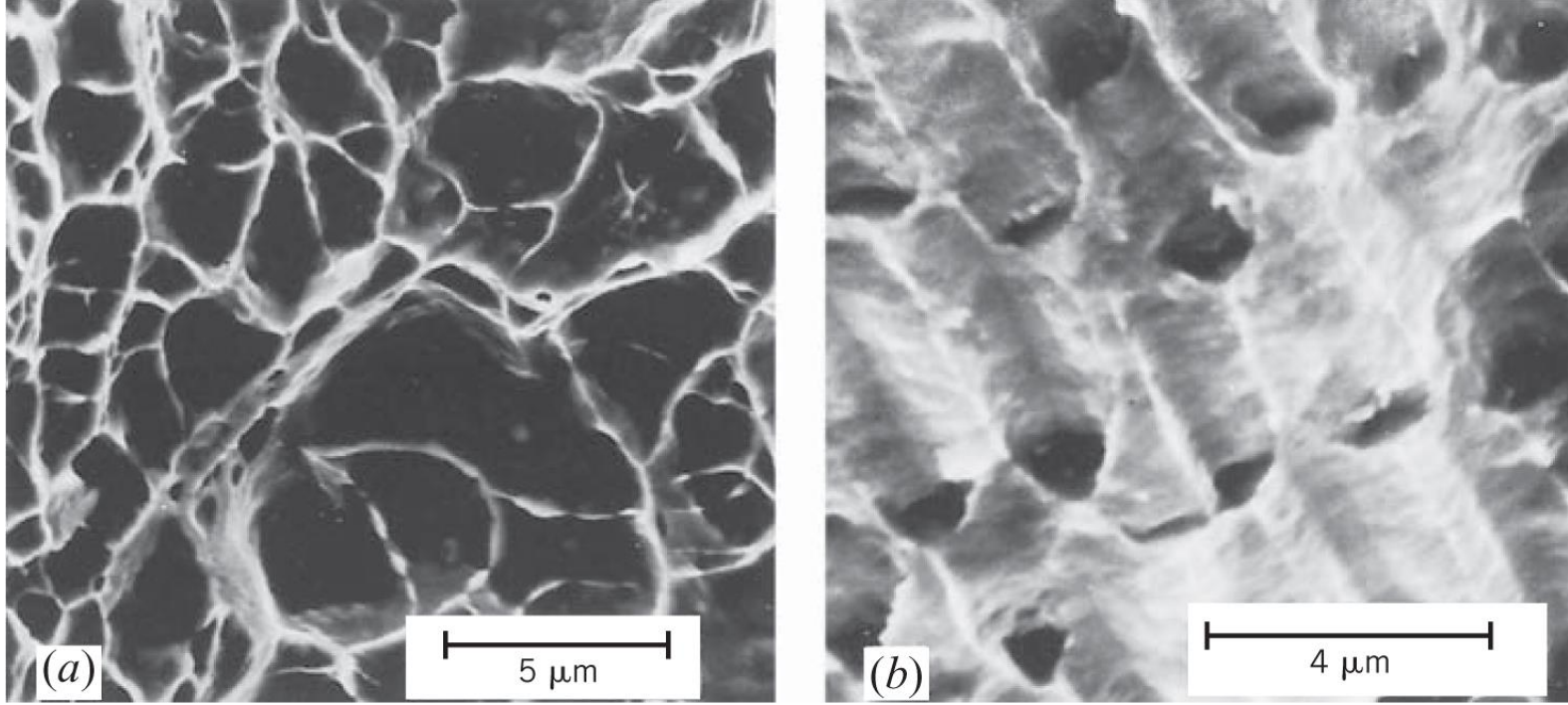
(b)

Şekil 8.3

(a) Alüminyumda
çanak-koni kırılması.

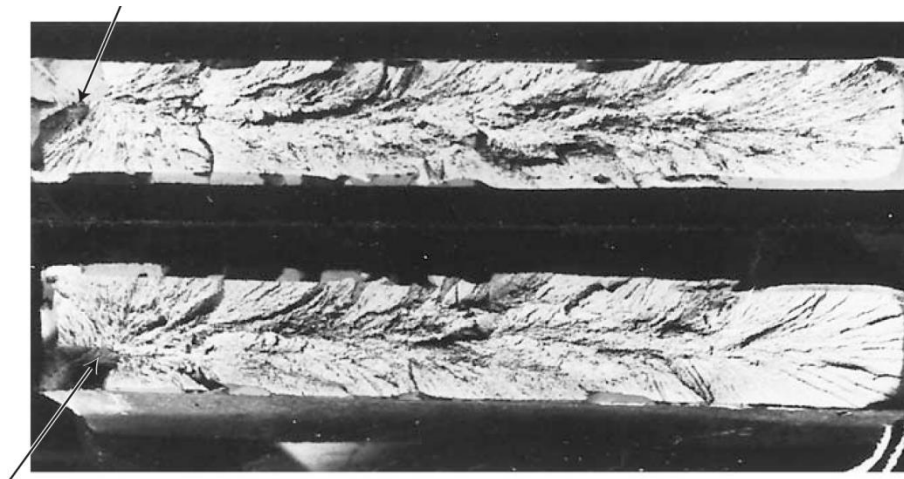
(b) Çelikte gevrek
kırılma.

Kırık Yüzeyi İncelemeleri

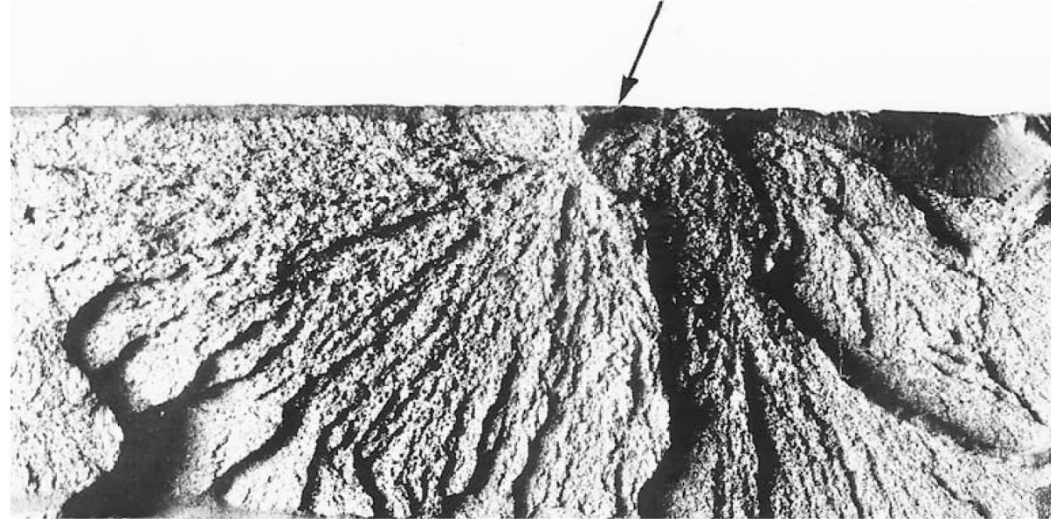


Şekil 8.4 (a) Tek eksenli çekme zorlanması etkisi altında oluşmuş sünek kırılmaya özgü küresel çukurcukları gösteren elektron mikroskobu görüntüsü $\times 3300$. (b) Kayma zorlanması etkisi altında oluşmuş sünek kırılmaya özgü parabolik şekilli çukurcukları gösteren elektron mikroskobu görüntüsü. $\times 5000$. (R. W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition (1989). Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

8.4 GEVREK KIRILMA



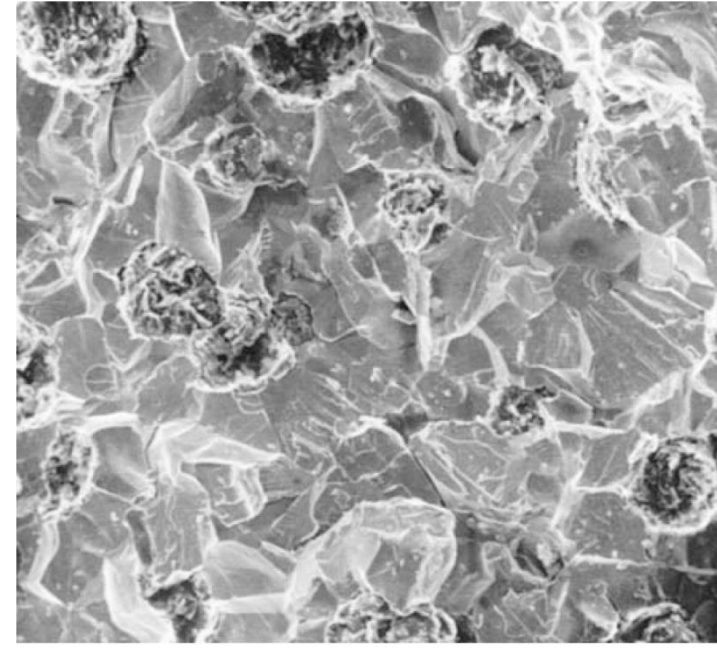
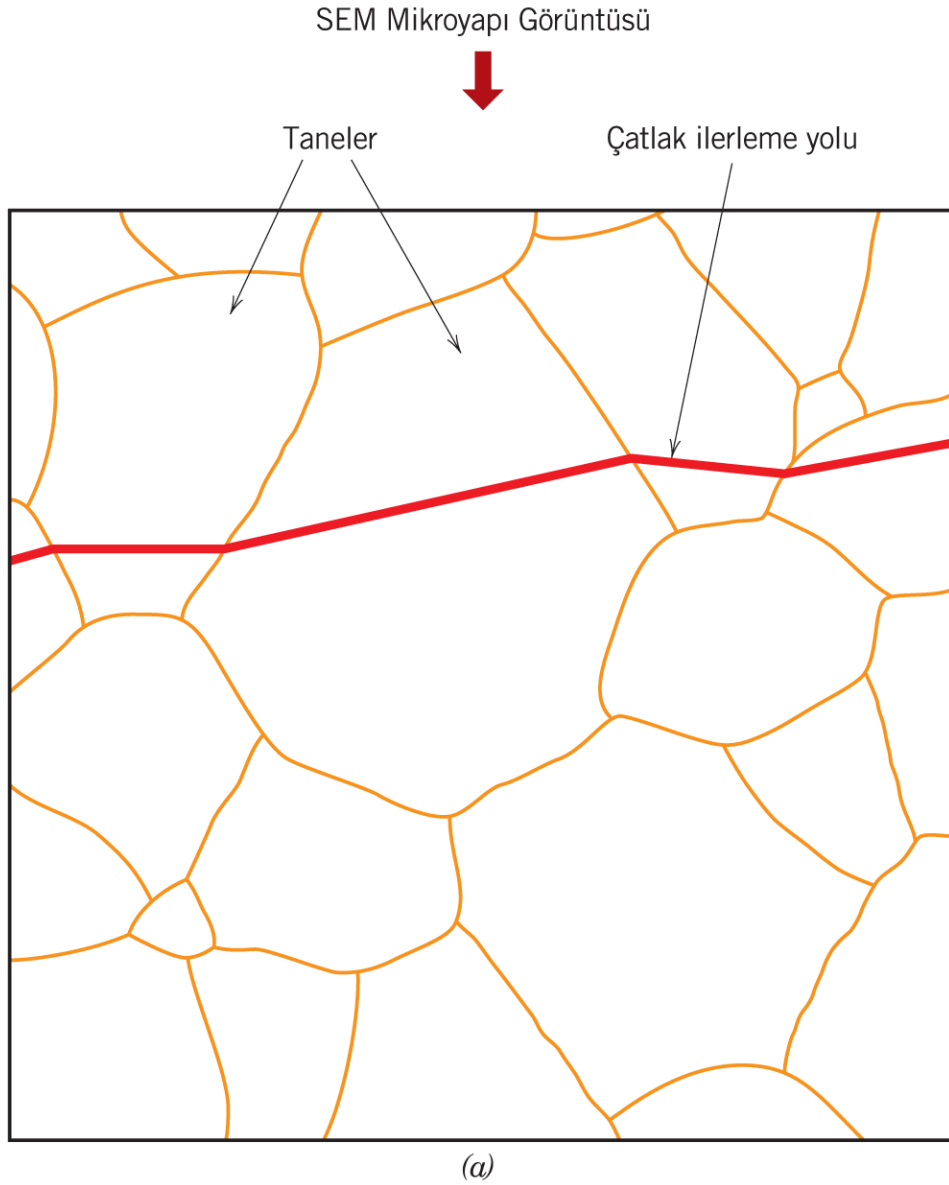
(a)



(b)

Şekil 8.5 (a) “V” şeklinde, gevrek kırılmayı işaret eden “chevron” izlerini gösteren bir fotoğraf. Oklar çatlak orijinini göstermektedir. Fotoğraf yaklaşık olarak gerçek boyutlardadır. (b) Radyal yönde fan kanatçıklarını andıran izlerin bulunduğu gevrek kırılma yüzeyine ait bir fotoğraf. Benzer şekilde burada da oklar çatlak orijinini göstermektedir.

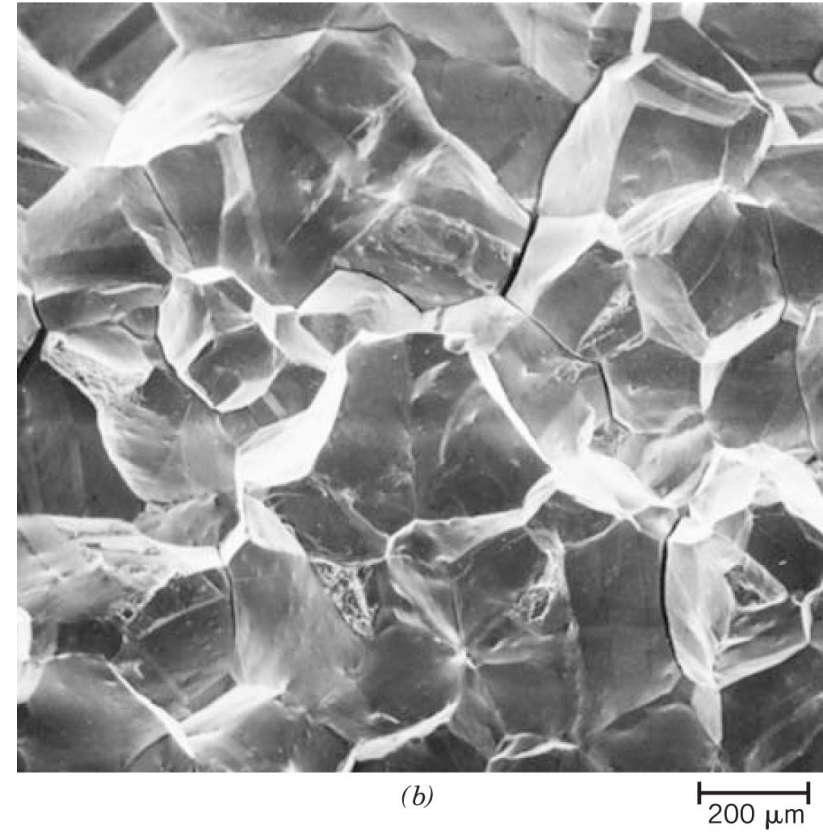
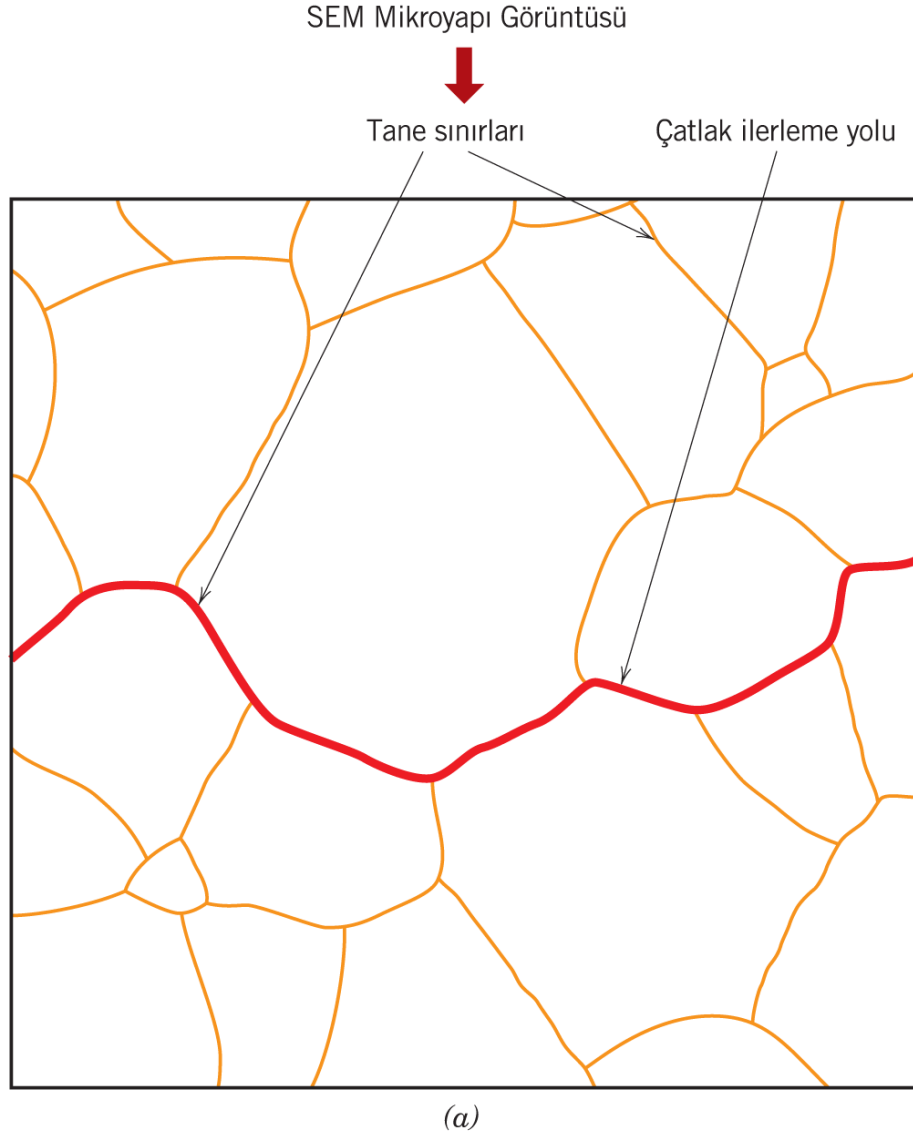
- Kristal yapılı gevrek malzemelerin birçoğunda çatlak ilerlemesi, *ayrılma* adı verilen, belirli kristal düzlemler boyunca atomlararası bağların peş peşe ve tekrarlanarak kopmasıyla oluşur ([Şekil 8.6a](#)). Çatlak taneleri keserek ilerlediğinden, bu tür kırılmaya **tane içi kırılma** adı verilmiştir.



(b)

Şekil 8.6 (a) Tane içi kırılmada, taneleri keserek ilerleyen çatlağı gösteren şematik kesit. (b) küresel grafitli dökme demirin tane içi kırık yüzeyini gösteren tarama elektron mikroskobu görüntüsü. Kullanılan büyültme bilinmiyor [Şekil (b) V. J. Colangelo and F. A. Heiser, *Analysis of Metallurgical Failures*, (1987) 2nd edition, John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.]

- Bazı alaşımlarda çatlak ilerlemesi, [Şekil 8.7a](#)'da gösterildiği gibi, tane sınırları boyunca gerçekleŐir, buna **taneler arası kırılma** adı verilmiştir. [Şekil 8.7b](#)'de tanelerin üç boyutlu olarak seçilebildiği tarama elektron mikroskobu görüntüsü tipik bir taneler arası kırılmayı göstermektedir.
- Genelde bu tür kırılma, tane sınırlarının dayanımını azaltıcı veya gevrekleŐtirici etkiye sahip iŐlemler sonrası görülür.

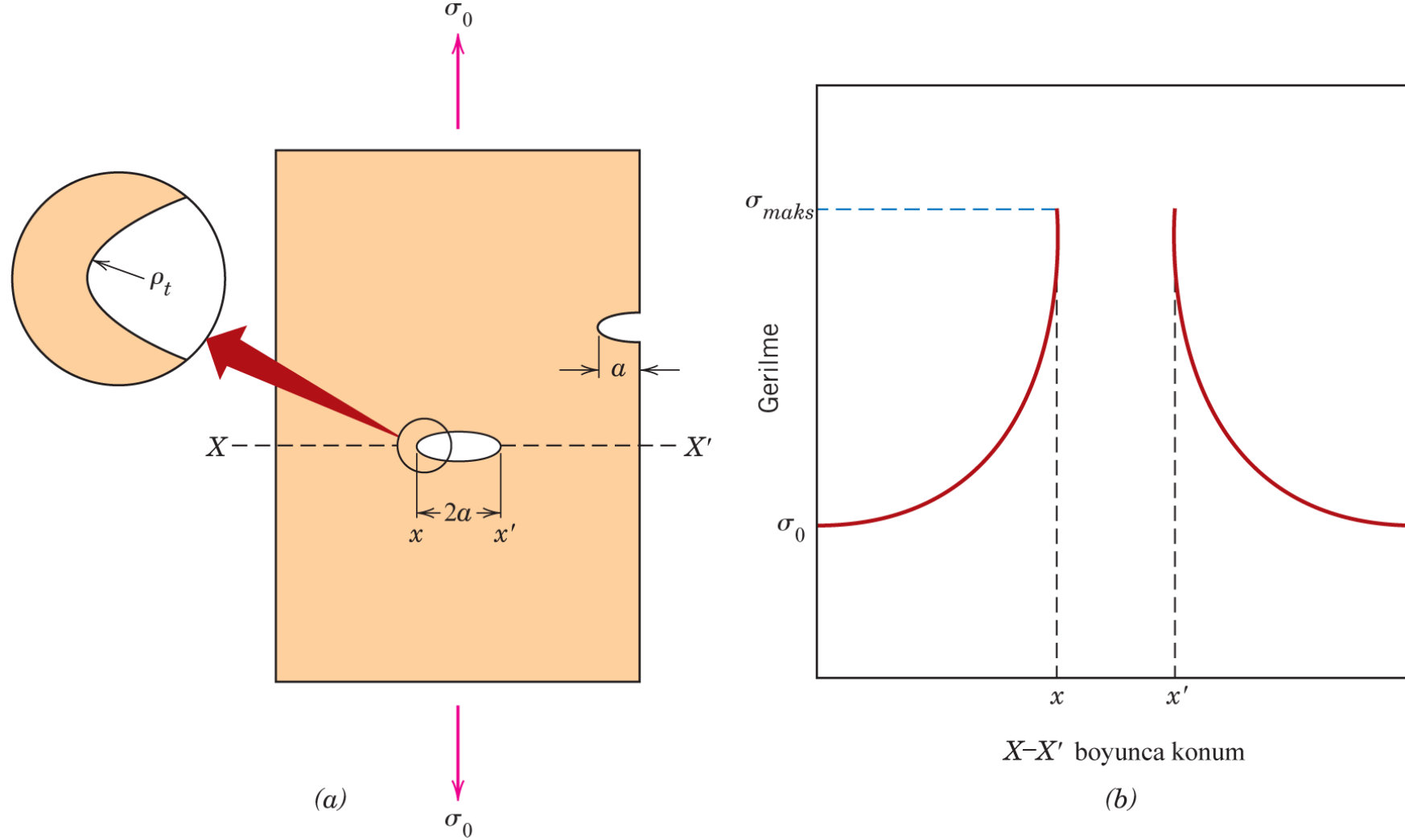


Şekil 8.7 (a) Tane sınırları boyunca ilerleyen bir çatlağı gösteren şematik kesit. (b) Taneler arası kırılmaya ait bir kırık yüzeyi gösteren tarama elektron mikroskobu görüntüsü. X50. [Şekil (b) *ASM Handbook*, 1987, Vol. 12, *Fractography*, ASM International, Materials Park, OH izni ile basılmıştır.]

8.5 KIRILMA MEKANİĞİNİN PRENSİPLERİ

- Geçen bir yüzyıldan fazla zaman süresince yapılan geniş kapsamlı araştırmalar, **kırılma mekaniği** alanında önemli gelişmeler sağlamıştır. Kırılma mekaniği sayesinde, malzeme özellikleri, gerilme seviyesi, çatlağı üretecek mevcut kusur ile çatlak ilerleme mekanizması arasındaki ilişkinin sayısal olarak ifade edilmesi mümkün olmuştur.

Gerilme Yığılması



Şekil 8.8 (a) Yüzey ve iç çatlak geometrileri. (b) (a)'da $X-X'$ boyunca çatlak ucundaki gerilme artışını gösteren şematik gerilme profili

- Gerilme yığılmasının olduğu noktadan uzakta, gerilmenin büyüklüğü sadece σ_0 nominal gerilmeye, yani uygulanan yükün kendisine dik olan kesit alanına oranına eşittir. Parçada var olan bu kusurlar, uygulanan gerilmenin değerini yükselttiği için, bazen bunlara **gerilme arttırıcıları** da denmektedir.

Çekme zorlanmasında
çatlak ucunda oluşan
maksimum gerilmenin
hesaplanması

$$\sigma_{maks} = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2} \quad (8.1)$$

Gevrek malzemelerde
çatlak ilerlemesine yol
açan kritik gerilme

$$\sigma_{kri} = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a} \right)^{1/2} \quad (8.3)$$

Burada

E = elastiklik modülü

γ_s = özgül yüzey enerjisi

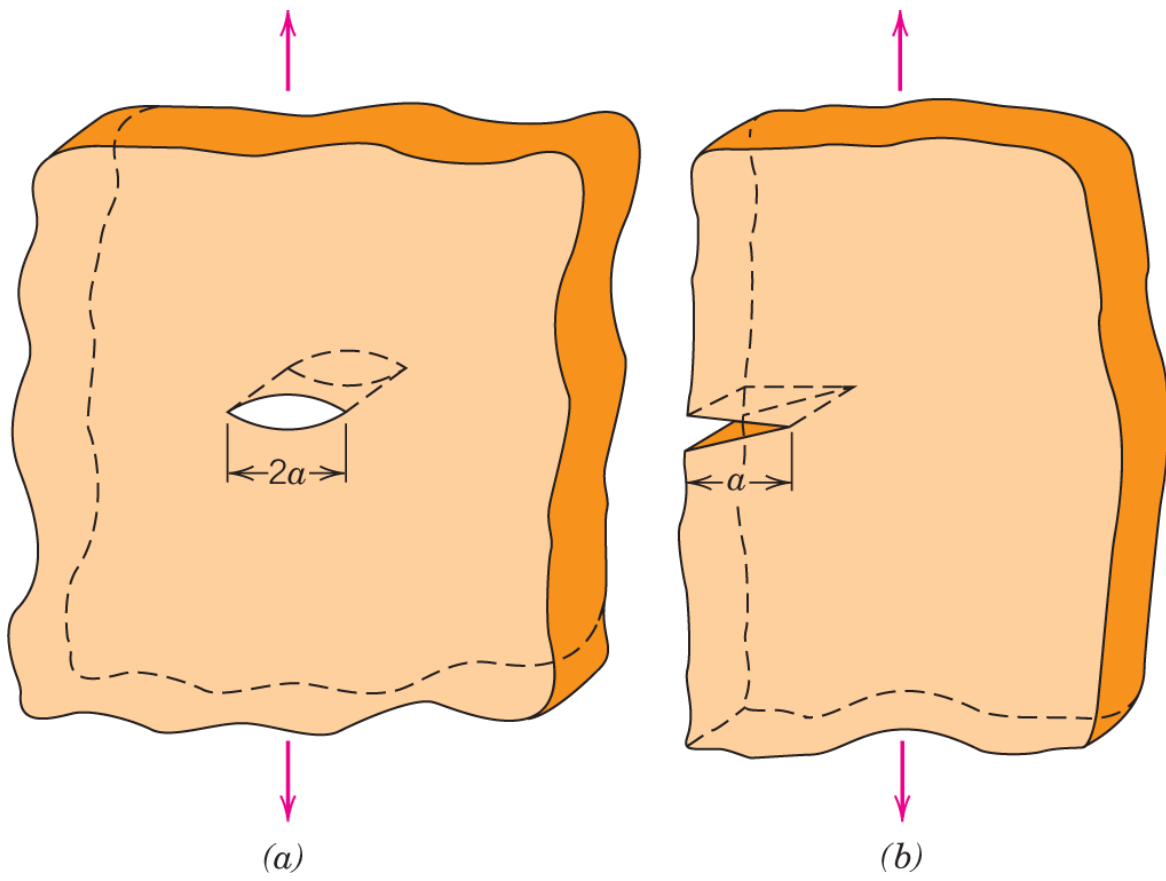
a = iç çatlak boyunun yarısı

Kırılma Tokluğu

Kırılma tokluğu—
kritik gerilmenin
çatlak ilerlemesi ve
çatlak uzunluğu ile
olan ilişkisi

$$K_{kri} = Y\sigma_{kri}\sqrt{\pi a} \quad (8.4)$$

- Bu ifadede K_c , **kırılma tokluğu** bir malzeme özelliği olup, çatlaklı malzemenin gevrek kırılmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür.



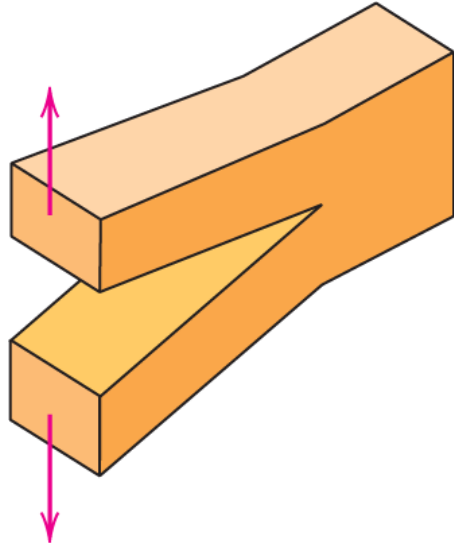
Şekil 8.9 (a) Sonsuz genişlikteki bir levhada iç çatlak ve (b) yarı sonsuz genişlikte bir levhada bir kenar çatlaklarının şematik gösterimi.

- İnce parçalarda K_c 'nin değeri numune kalınlığına göre değişir. Bununla birlikte, numune kalınlığı, çatlak boyutlarından çok daha büyük olduğu durumda **düzlem şekil değiştirme** şartları söz konusudur ve K_c 'nin değeri kalınlıktan bağımsız hale gelir.
- Düzlem şekil değiştirme durumunda, yük parçaya [Şekil 8.9a](#)'da gösterildiği gibi uygulandığında, numunenin ön ve arka yüzeyine dik doğrultuda herhangi bir birim şekil değişimi bileşeni bulunmamaktadır. Kalın kesitli numunelerde K_c , **düzlem şekil değiştirme kırılma tokluğu**, K_{Ic} olarak bilinir ve Denklem 8.5 ile tanımlanır.

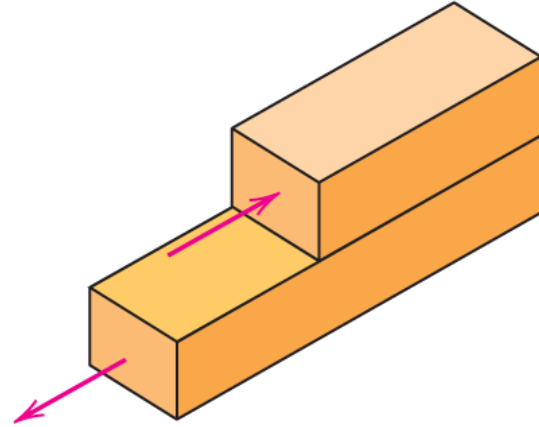
Mod I, çatlak açılma
zorlanması için düzlem
şekil değiştirme
kırılma tokluğu

$$K_{Ic} = Y\sigma\sqrt{\pi a} \quad (8.5)$$

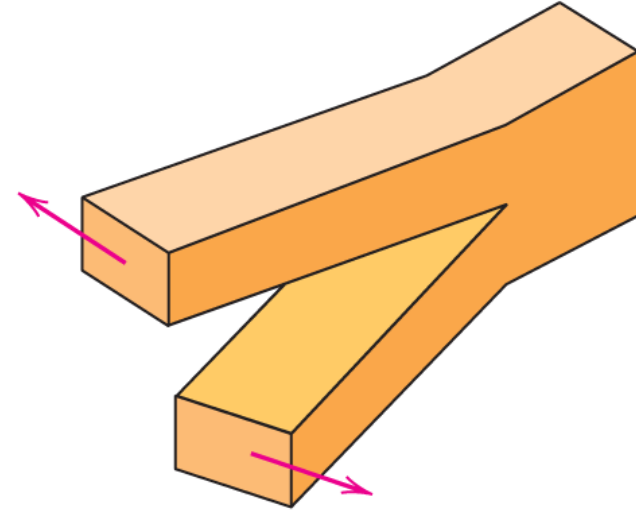
Şekil 8.10 Çatlak yüzeyine ait zorlanma modları. (a) Mod I, açılma veya çekme modu, (b) mod II, kayma modu ve (c) mod III, yırtılma modu.



(a)



(b)



(c)

Tablo 8.1 Seçilen Bazı Mühendislik Malzemelerinin Oda Sıcaklığındaki Akma Dayanımı ve Düzlem Şekil Değişirme Kırılma Tokluğu Değerleri

<i>Malzeme</i>	<i>Akma Dayanımı</i>	<i>K_{Ic}</i>
	<i>MPa</i>	<i>MPa√m</i>
	Metaller	
Alüminyum alaşımı ^a (7075-T651)	495	24
Alüminyum alaşımı ^a (2024-T3)	345	44
Titanyum alaşımı ^a (Ti-6Al-4V)	910	55
Alaşımli çelik ^a (4340, 260°C temperlenmiş)	1640	50,0
Alaşımli çelik ^a (4340, 425°C temperlenmiş)	1420	87,4
	Seramikler	
Beton	—	0,2–1,4
Soda-kireç camı	—	0,7–0,8
Alüminyum oksit	—	2,7–5,0
	Polimerler	
Polistiren (PS)	—	0,7–1,1
Poli(metil metakrilat) (PMMA)	53,8–73,1	0,7–1,6
Polikarbonat (PC)	62,1	2,2

Tasarımda Kırılma Mekanığı

Tasarım gerilmesinin hesaplanması

$$\sigma_{kri} = \frac{K_{Ic}}{Y\sqrt{\pi a}} \quad (8.6)$$

İzin verilen en büyük kusur uzunluğunun hesaplanması

$$a_{kri} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{Ic}}{\sigma Y} \right)^2 \quad (8.7)$$

Denklem 8.5

Denklem 8.4

Tablo 8.2 Yaygın Olarak Bilinen Bazı Tahribatsız Deney Teknikleri

<i>Teknik</i>	<i>Kusurun konumu</i>	<i>Kusur Büyüklüğü</i> <i>Ölçme Hassasiyeti (mm)</i>	<i>Deney Ortamı</i>
Tarama elektron mikroskobu (SEM)	Yüzey	>0,001	Laboratuvar
Boyalı penetrasyon	Yüzey	0,025 – 0,25	Laboratuvar/çalışma sahası
Ultrasonik	Yüzey altı	>0,050	Laboratuvar/çalışma sahası
Optik mikroskopi	Yüzey	0,1–0,5	Laboratuvar
Gözle muayene	Yüzey	>0,1	Laboratuvar/çalışma sahası
Akustik emisyon	Yüzey/ Yüzey altı	>0,1	Laboratuvar/çalışma sahası
Radyografi (x-ışını/gama ışını)	Yüzey altı	> % 2 numune kalınlığının	Laboratuvar/çalışma sahası

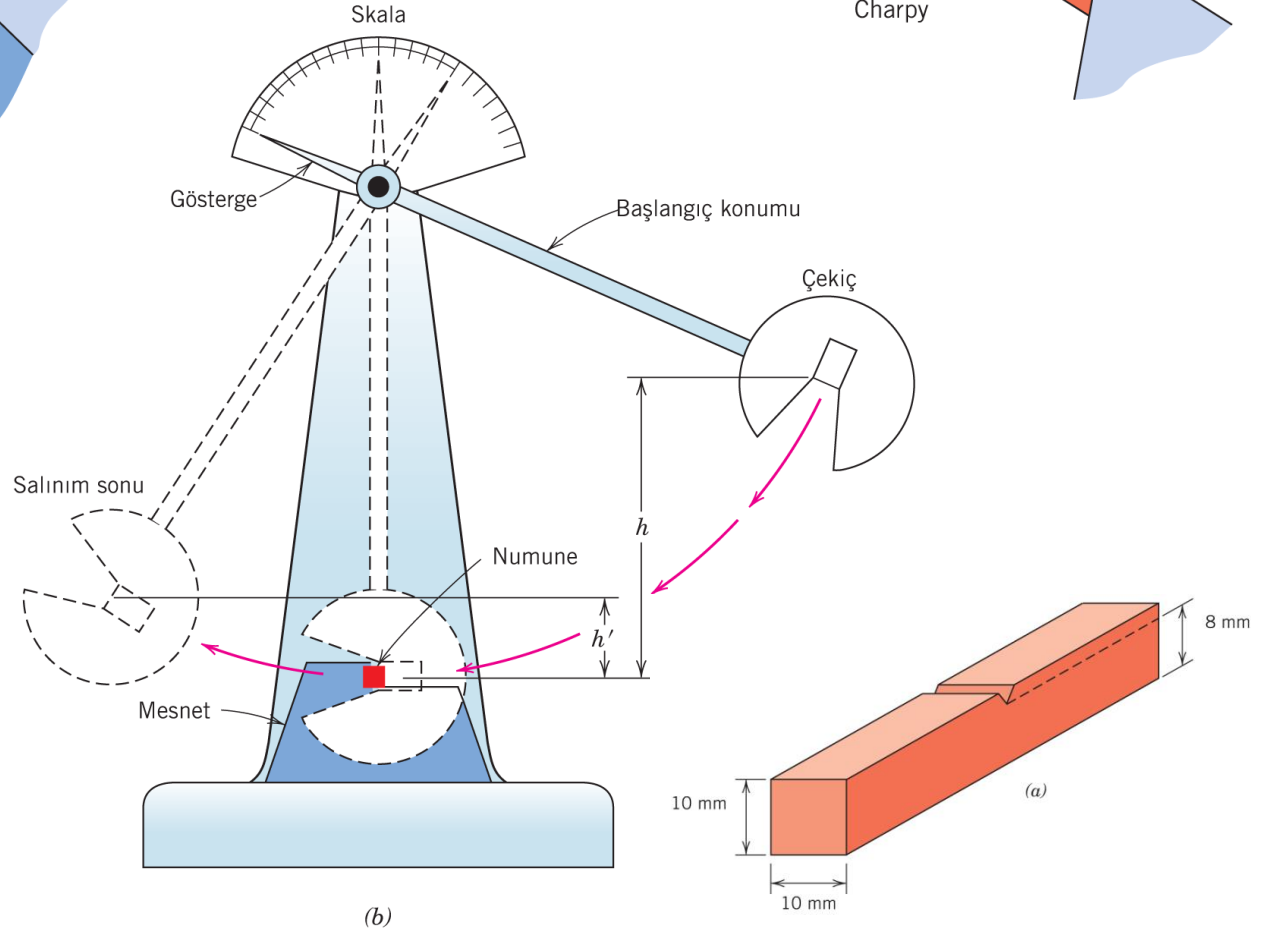
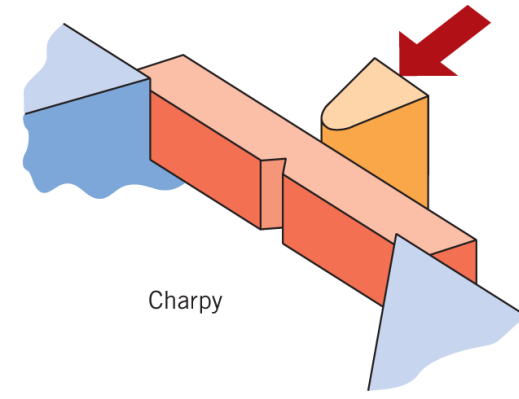
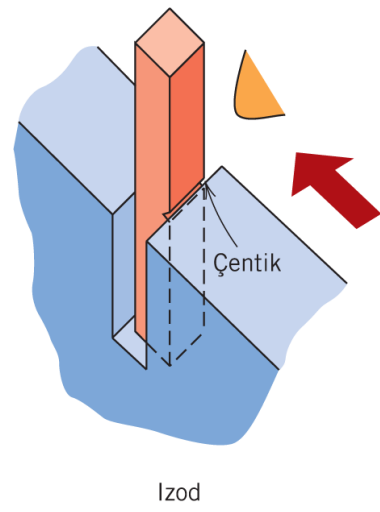
8.6 KIRILMA TOKLUĞU DENEYLERİ

Çentik Darbe Deneyleri

- **Charpy** ve **Izod** olmak üzere tasarlanan iki standart deney tekniği günümüzde **darbe enerjisini** ölçmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

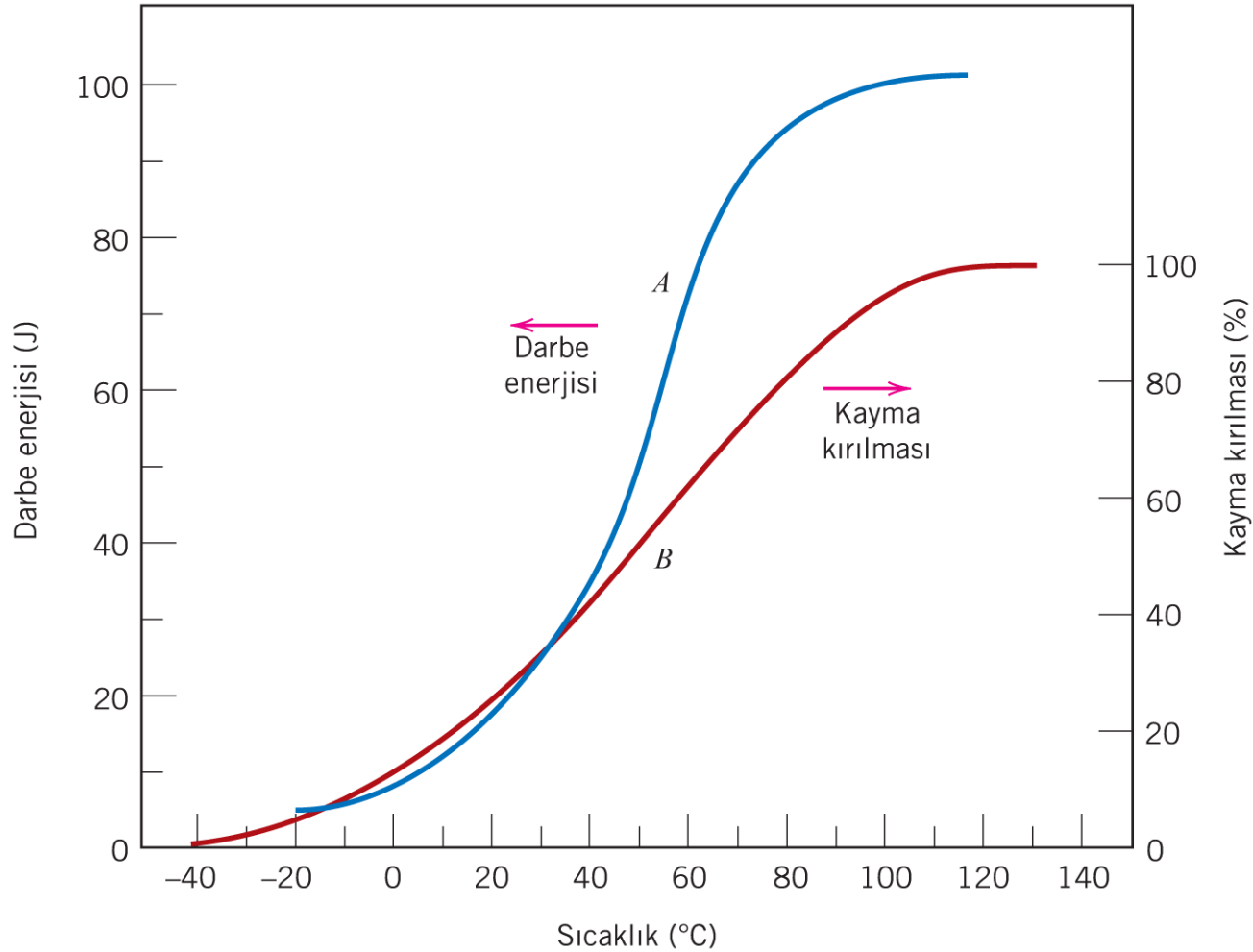
Şekil 8.12

(a) Charpy ve İzod çentik darbe deneylerinde kullanılan numune geometrisi. (b) Darbe deney düzeneğinin şematik bir resmi. h yüksekliğinde tutulan çekiç serbest bırakılır ve numuneye çarpar; başlangıç yüksekliği, h ve sarkacın sallanarak çıktığı yükseklik, h' arasındaki fark numunenin kırılması sırasında harcanan enerjiyi yansıtır. Charpy ve İzod deney numunelerinin düzeneğe yerleştirilme biçimleri.

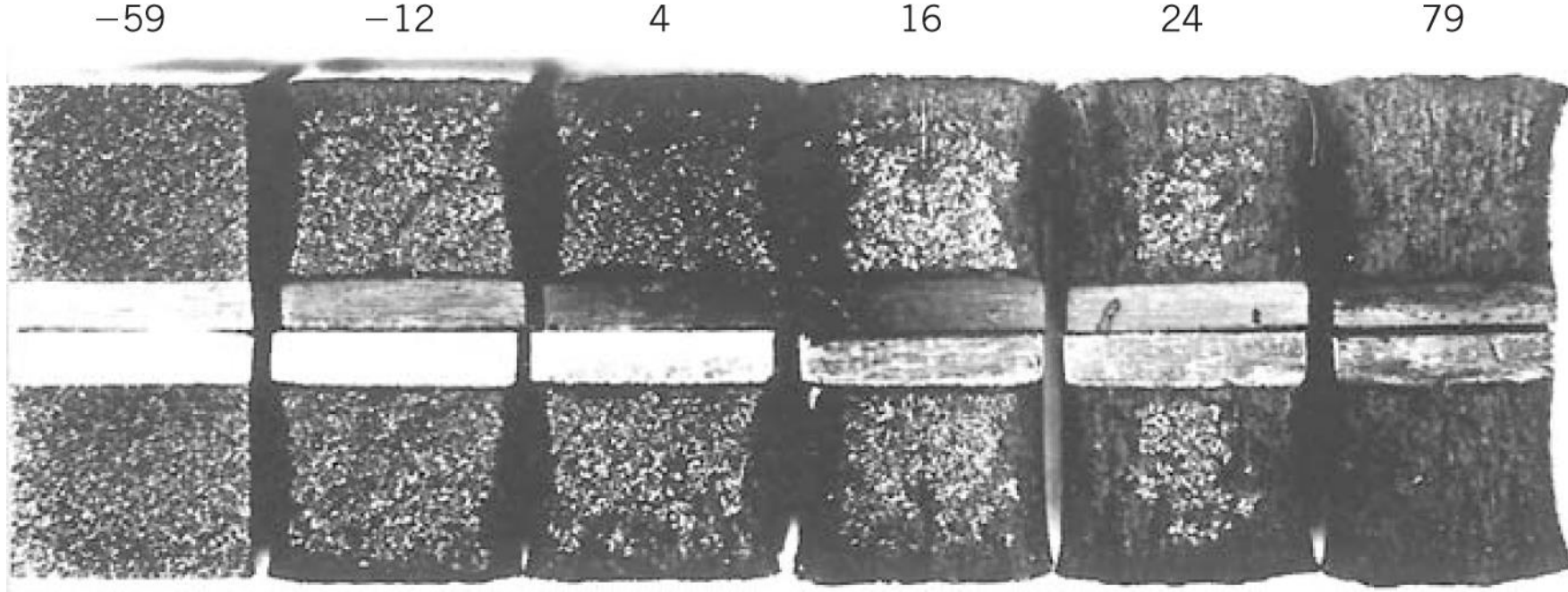


Sünek-Gevrek Geçiş Sıcaklığı

- Izod ve Charpy çentik darbe deneylerinin başlıca amaçlarından birisi, bir malzemenin azalan sıcaklıkla beraber **sünek-gevrek geçişi** gösterip göstermediğinin belirlenmesi ve böyle bir davranış göstermesi durumunda, bunun hangi sıcaklık aralığında gerçekleştiğinin tespit edilmesidir.

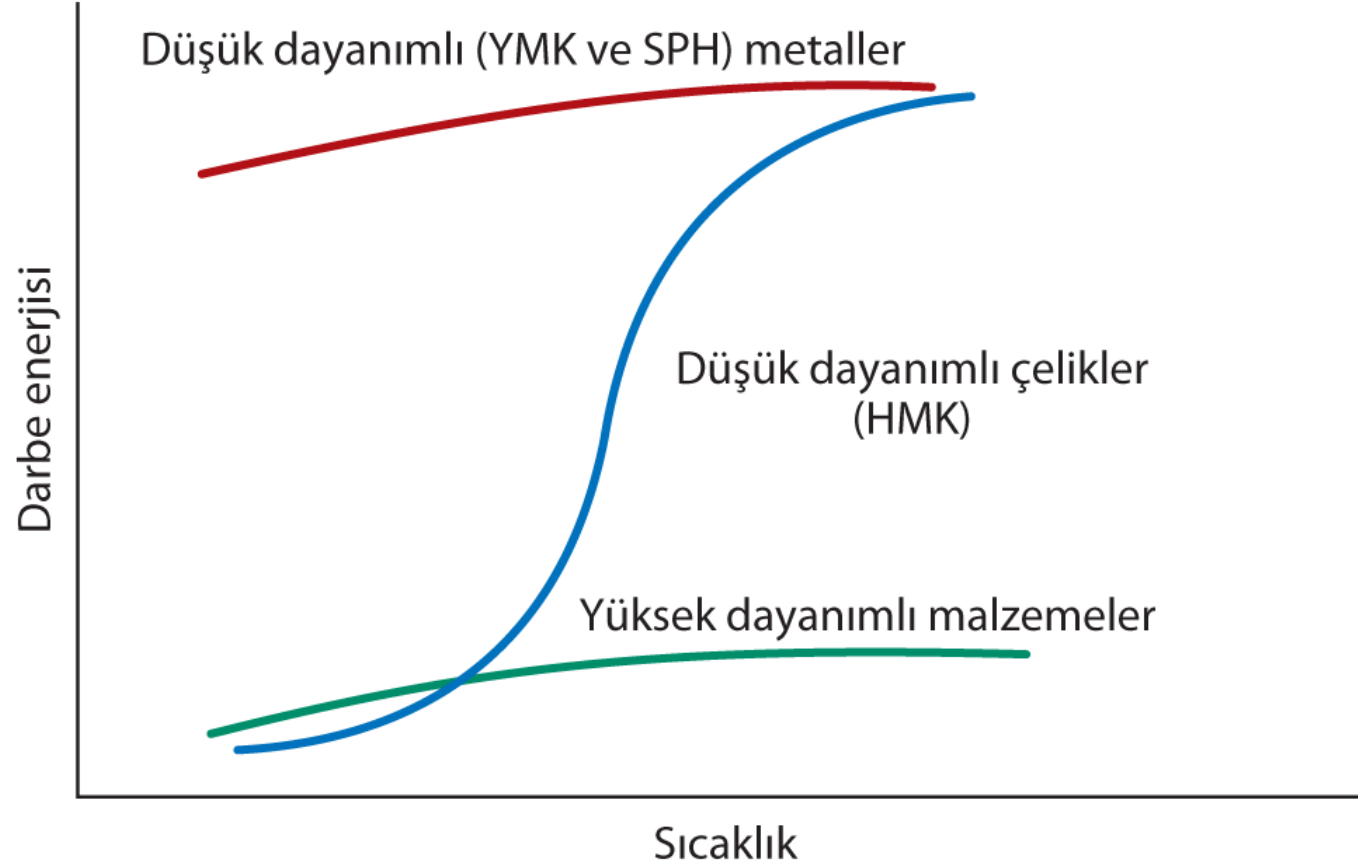


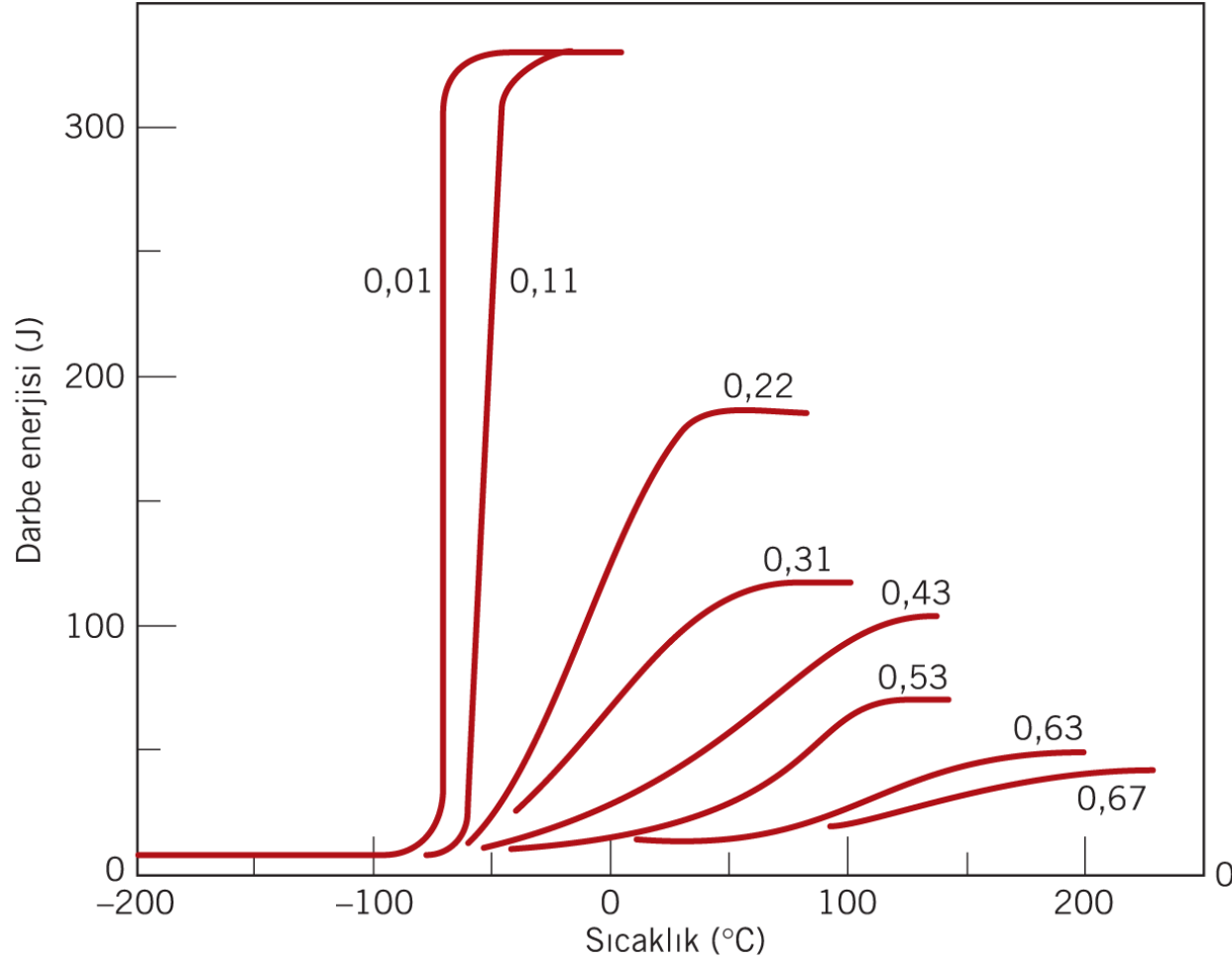
Şekil 8.13 A283 çeliğinde Charpy V-çentik darbe enerjisinin (A eğrisi) ve yüzde kayma kırılmasının (B eğrisi) sıcaklığa göre değişimi (American Welding Society izni ile basılmıştır.)



Şekil 8.14 Belirtilen sıcaklıklarda Charpy V-çentik darbe deneyi uygulanmış A36 çeliği numunelerine ait kırık yüzeyi fotoğrafları. (R.W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition, Şekil 9.6, p. 329. (1989) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

Şekil 8.15 Yaygın olarak görülen üç tip sıcaklık-darbe enerji davranışını gösteren şematik eğriler.





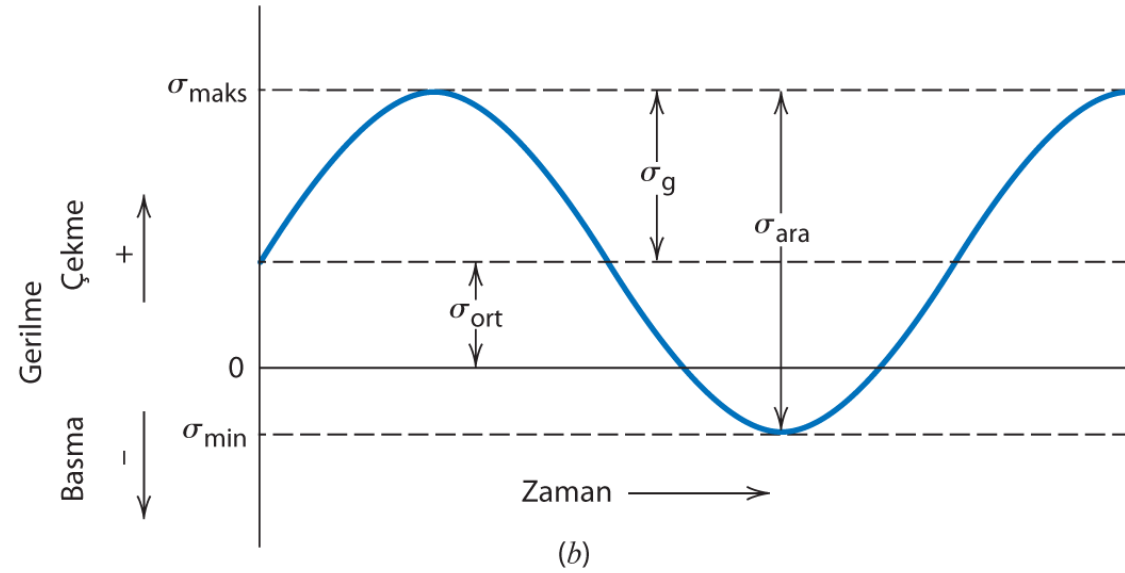
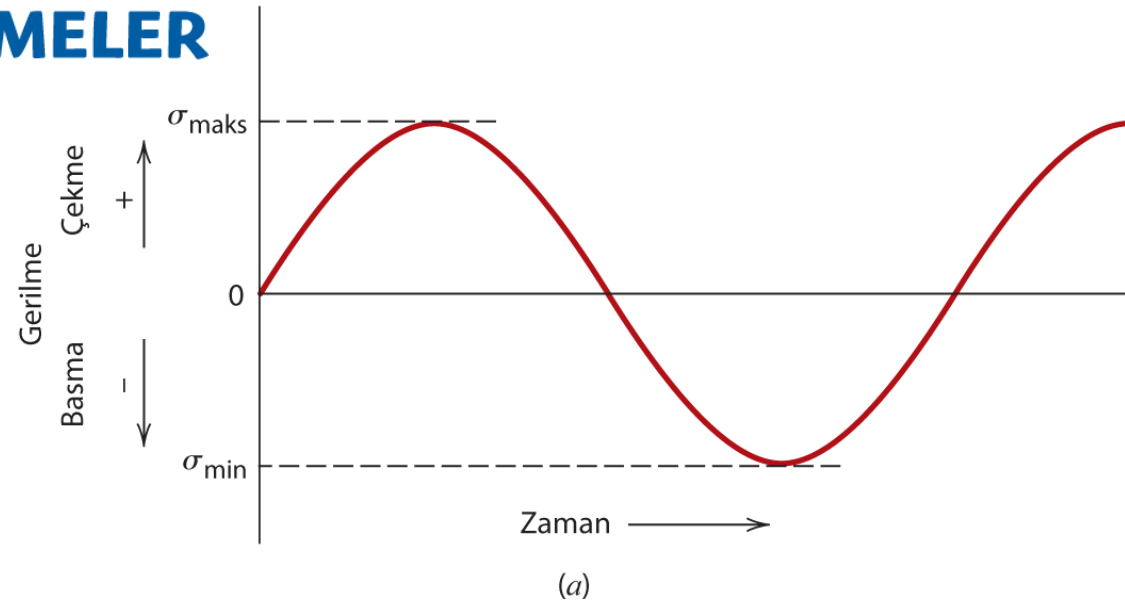
Şekil 8.16 Çelikte karbon içeriğinin, çentik darbe enerjisi-sıcaklık eğrisi (Charpy V-çentik için) üzerine etkisi (ASM International, Materials Park, OH izni ile basılmıştır, J. A. Reinbolt and W. J. Harris, Jr., “Effect of Alloying Elements on Notch Toughness of Pearlitic Steels,” *Transactions of ASM*, Vol. 43, 1951.)

Yorulma

- **Yorulma**, dinamik veya değişken gerilmelere maruz köprü, uçak ve makine parçaları gibi yapılarda oluşan bir hasar şeklidir.
- *Yorulma* teriminin kullanılmasının nedeni, bu tür bir hasarın genellikle uzun bir süre boyunca tekrarlanan gerilme ya da şekil değişimi neticesinde oluşmasıdır.

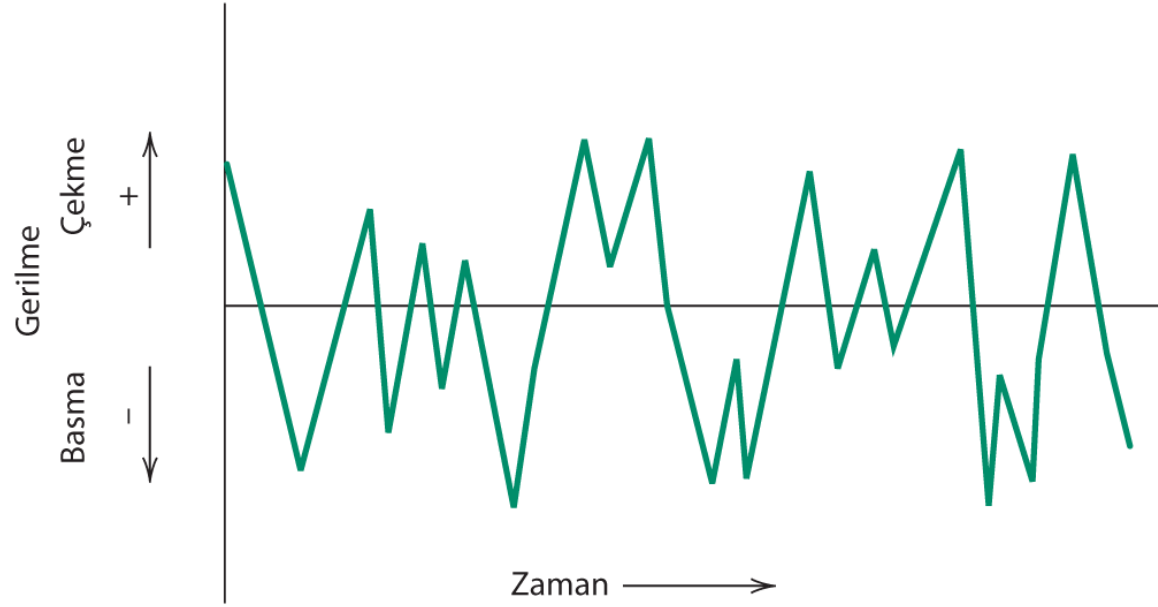
8.7 ÇEVİRİMSEL GERİLMELER

Şekil 8.17 Yorulma hasarına yol açan gerilmenin zamanla değişimi. (a) Gerilmenin aynı büyüklükte bir maksimum çekme gerilmesi (+) ile maksimum bir basma gerilmesi (-) arasında değiştiği değişken gerilme çevrimi, (b) maksimum ve minimum gerilmelerin sıfır gerilme seviyesine göre asimetrik olduğu çekme bölgesinde değişken gerilme çevrimi. Ortalama gerilme σ_{ort} , gerilme aralığı σ_{ara} ve gerilme genliği σ_g ile gösterilmiştir. (c) Düzensiz gerilme çevrimi.



Devam ediyor...

Şekil 8.17 Yorulma hasarına yol açan gerilmenin zamanla değişimi. (a) Gerilmenin aynı büyüklükte bir maksimum çekme gerilmesi (+) ile maksimum bir basma gerilmesi (-) arasında değiştiği değişken gerilme çevrimi, (b) maksimum ve minimum gerilmelerin sıfır gerilme seviyesine göre asimetric olduğu çekme bölgesinde değişken gerilme çevrimi. Ortalama gerilme σ_{ort} , gerilme aralığı σ_{ara} ve gerilme genliği σ_g ile gösterilmiştir. (c) Düzensiz gerilme çevrimi.



(c)

Çevrimsel zorlamada ortalama gerilme—maksimum ve minimum gerilmeyle olan ilişkisi

$$\sigma_{ort} = \frac{\sigma_{maks} + \sigma_{min}}{2} \quad (8.14)$$

Çevrimsel zorlamada gerilme aralığının hesaplanması

$$\sigma_{ara} = \sigma_{maks} - \sigma_{min} \quad (8.15)$$

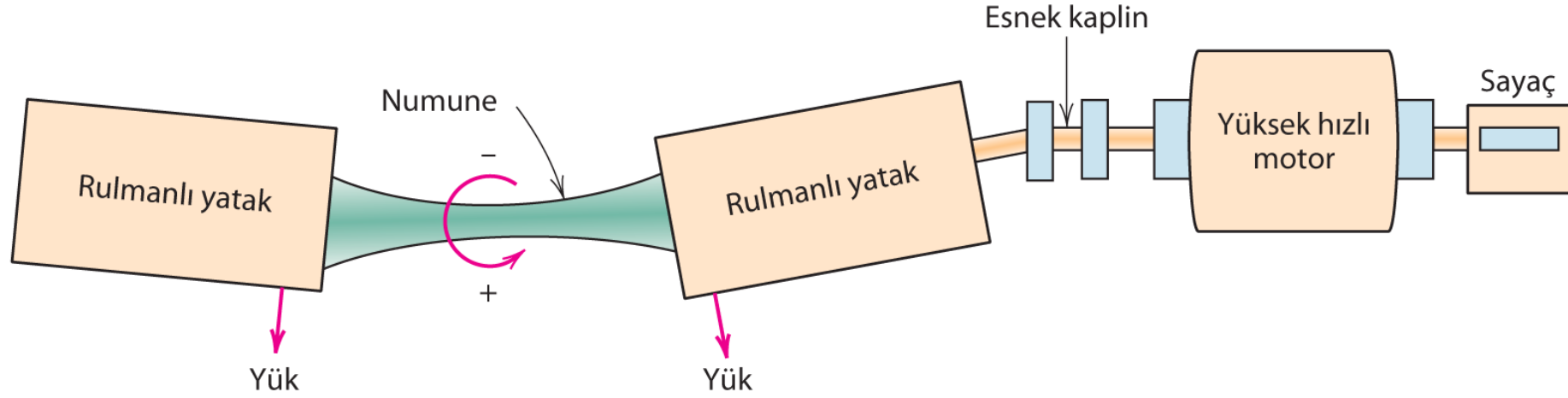
Çevrimsel zorlamada gerilme genliğinin hesaplanması

$$\sigma_g = \frac{\sigma_{ara}}{2} = \frac{\sigma_{maks} - \sigma_{min}}{2} \quad (8.16)$$

Gerilme oranının hesaplanması

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{maks}} \quad (8.17)$$

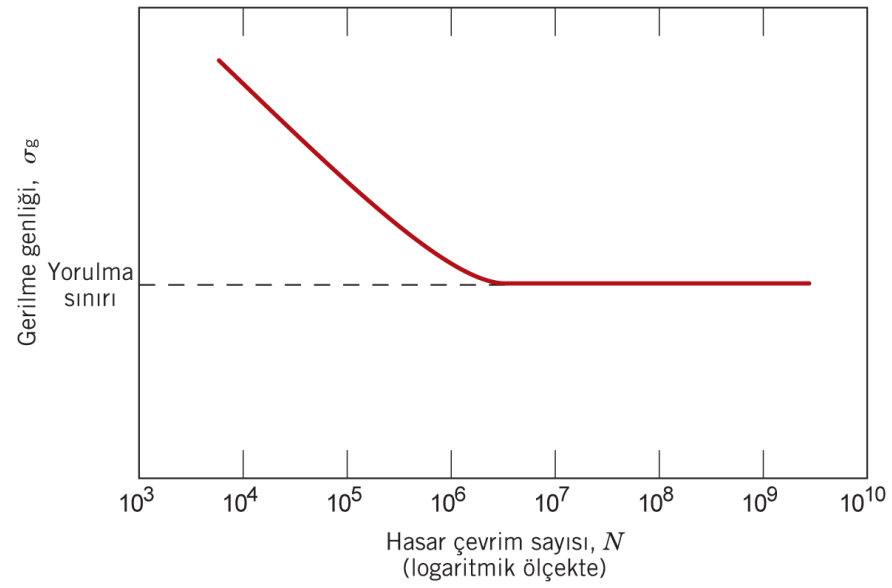
8.8 S-N EĞRİSİ



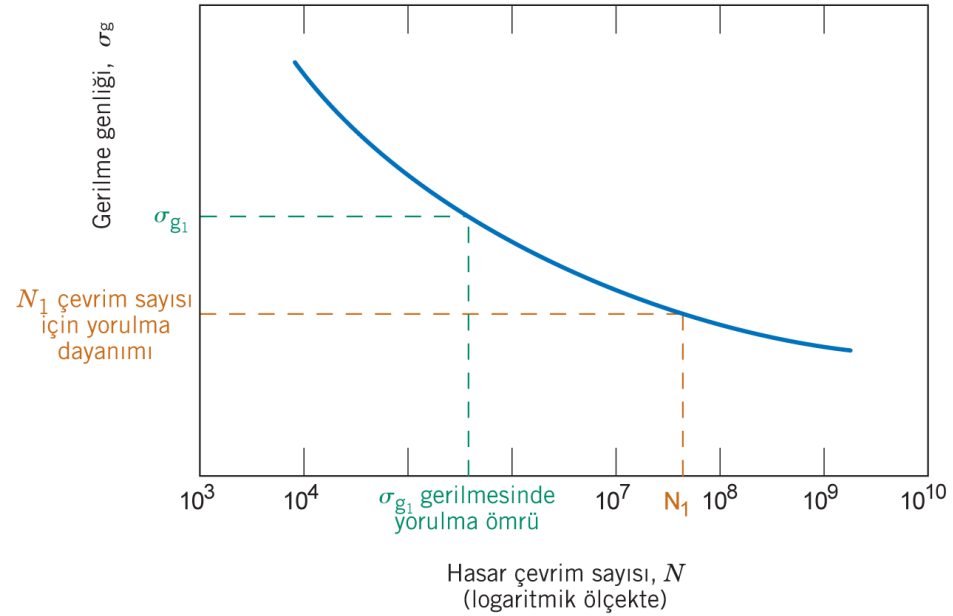
Şekil 8.18 Çevresel eğme yorulma deneyinde kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi. (Keyser, *Materials Science in Engineering*, 4th edition (1986). Yayın hakkı Pearson Education Firmasına ait olup Pearson Education Firmasının izni ile basılmıştır.)

Şekil 8.19

(a) yorulma sınırı gösteren malzeme ve (b) yorulma sınırı göstermeyen malzeme için gerilme genliğinin, logaritmik olarak hasar çevrim sayısına göre değişimi



(a)

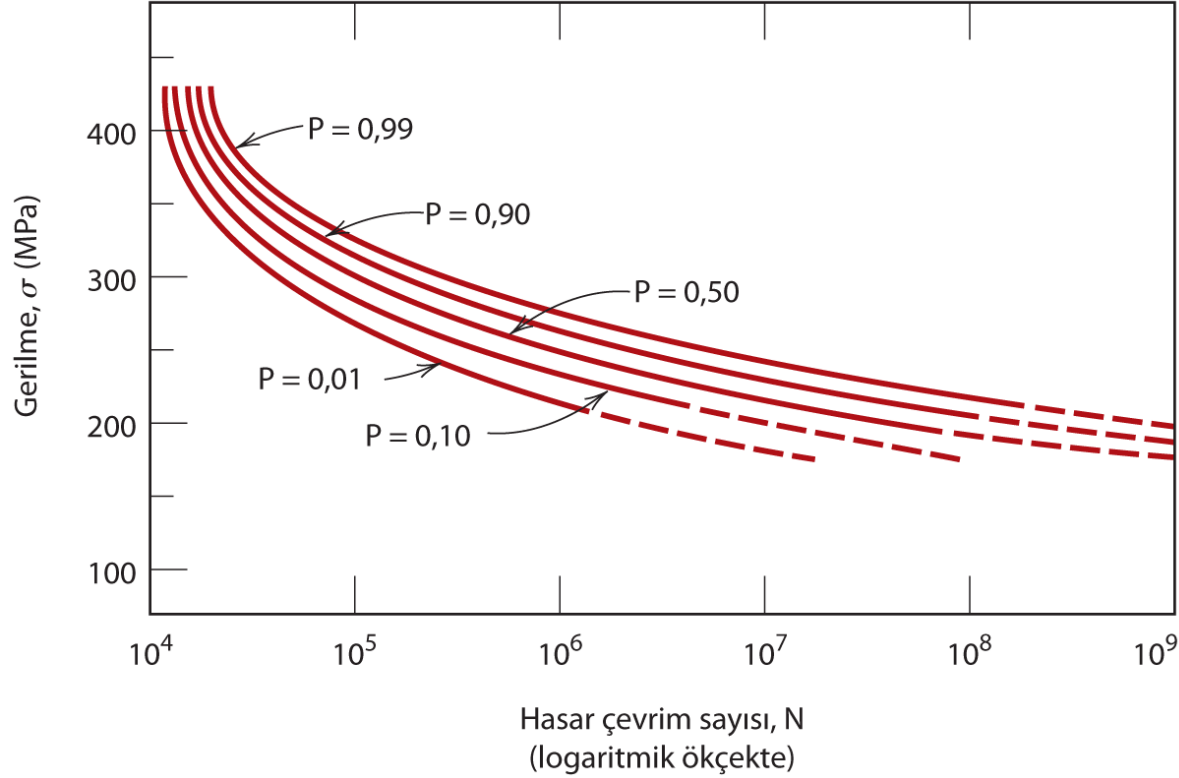


(b)

- [Şekil 8.19](#)'da şematik olarak gösterildiği gibi, iki farklı yorulma davranışı söz konusudur. Eğrilerden görüleceği gibi, gerilme büyüklüğü arttıkça malzemenin hasara uğramadan dayandığı çevrim sayısı azalmaktadır. Bazı demir esaslı alaşımlarda ve titanyum alaşımlarında, $S-N$ eğrisi yüksek çevrim sayılarında yatay hale gelmektedir ([Şekil 8.19a](#)). **Yorulma sınırı** olarak adlandırılan bu sınır gerilme miktarının altında yorulma hasarı meydana gelmez. **Yorulma sınırı**, sonsuz çevrim sayısında hasara yol açmayan en büyük çevrimsel gerilme olarak ifade edilebilir.

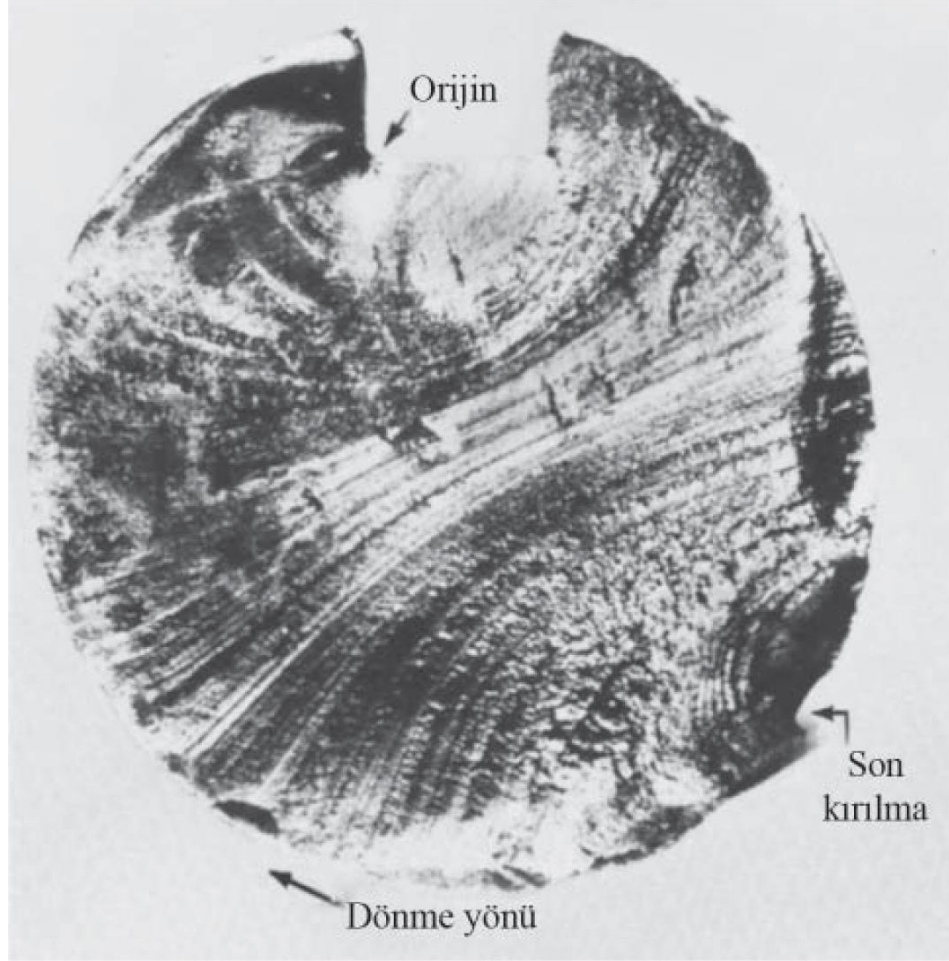
- Artan çevrim sayısı ile birlikte $S-N$ eğrileri daha küçük gerilme değerlerine düşmeye devam eder ([Şekil 8.19b](#)). Bu nedenle, gerilme büyüklüğü ne kadar küçük olursa olsun, yorulma hasarı meydana gelecektir. Bu malzemelerde belirli bir çevrim sayısına (örneğin 10^7) karşılık gelen gerilme seviyesi, **yorulma dayanımı** olarak tanımlanır. [Şekil 8.19b](#)'de yorulma dayanımının nasıl belirlendiği gösterilmiştir.

- Malzemenin yorulma davranışı tanımlayan bir diğer önemli parametre **yorulma ömrü** N_f 'dir. [Şekil 8.19b](#)'de $S-N$ eğrisinde gösterildiği gibi yorulma ömrü, belirli bir gerilme seviyesinde hasara neden olan çevrim sayısıdır.



Şekil 8.20 Bir 7075-T6 alüminyum alaşımı için farklı hasar olasılıklarını gösteren $S-N$ eğrileri; P hasar olasılığını belirtmektedir. (G. M. Dolan, *Trans. ASME*, 75, 1953, p. 867 American Society of Mechanical Engineers izni ile basılmıştır.)

8.9 ÇATLAK OLUŞUMU VE İLERLEMESİ

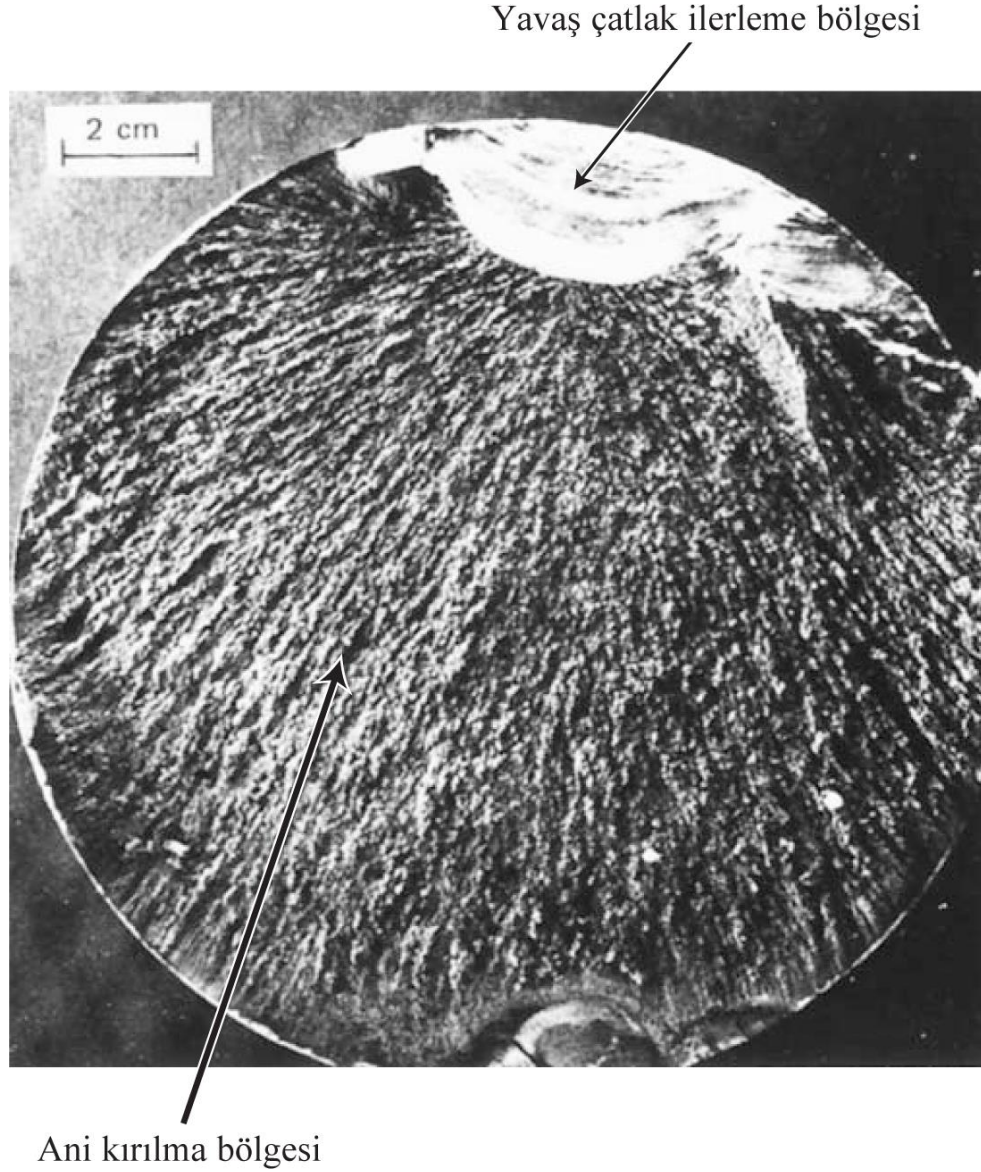


Şekil 8.21 Yorulma sonucu kırılmış dönen çelik mile ait bir kırık yüzeyi fotoğrafı ve durak çizgileri. (D. J. Wulpi, *Understanding How Components Fail*, American Society for Metals (1985), Materials Park, OH izni ile basılmıştır.)



1 μm

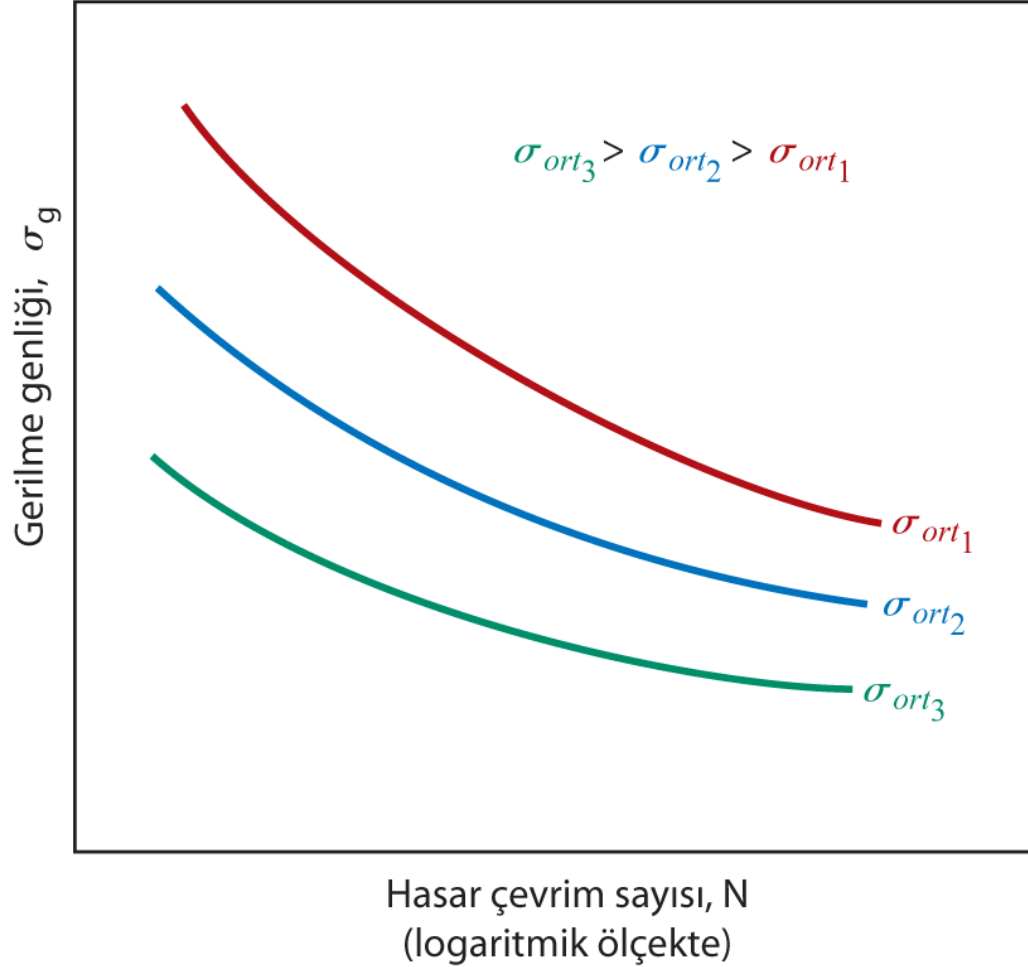
Şekil 8.22 Alüminyumda ince yorulma çizgilerini (striasyon) gösteren tarama elektron mikroskobu görüntüsü $\times 9000$. (V. J. Colangelo and F. A. Heiser, *Analysis of Metallurgical Failures*, 2nd edition (1987). Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır).



Şekil 8.23 Yorulma kırık yüzeyi. Çatlak üst tarafta başlamıştır. Üst kenara yakın düz bölge, yavaş çatlak ilerleme bölgesidir. Ani kırılma (hızlı çatlak ilerleme) bölgesi ise büyük alana sahip olup, mat ve lifli görünümlüdür. Yaklaşık $\times 0,5$ büyütme. [*Metals Handbook: Fractography and Atlas of Fractographs*, Vol. 9, (1974) 8th edition, Editor H. E. Boyer, American Society for Metals izni ile basılmıştır.]

8.10 YORULMA ÖMRÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ortalama Gerilme

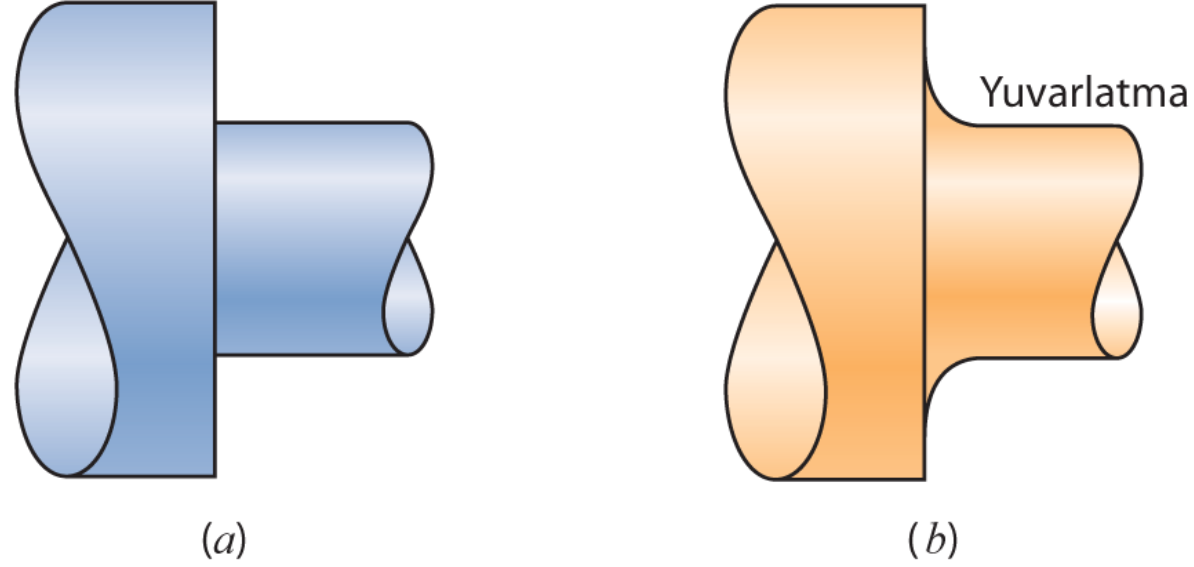


Şekil 8.24 Ortalama gerilmenin (σ_{ort}), $S-N$ eğrisi üzerine olan etkisinin gösterimi

Yüzey Etkisi

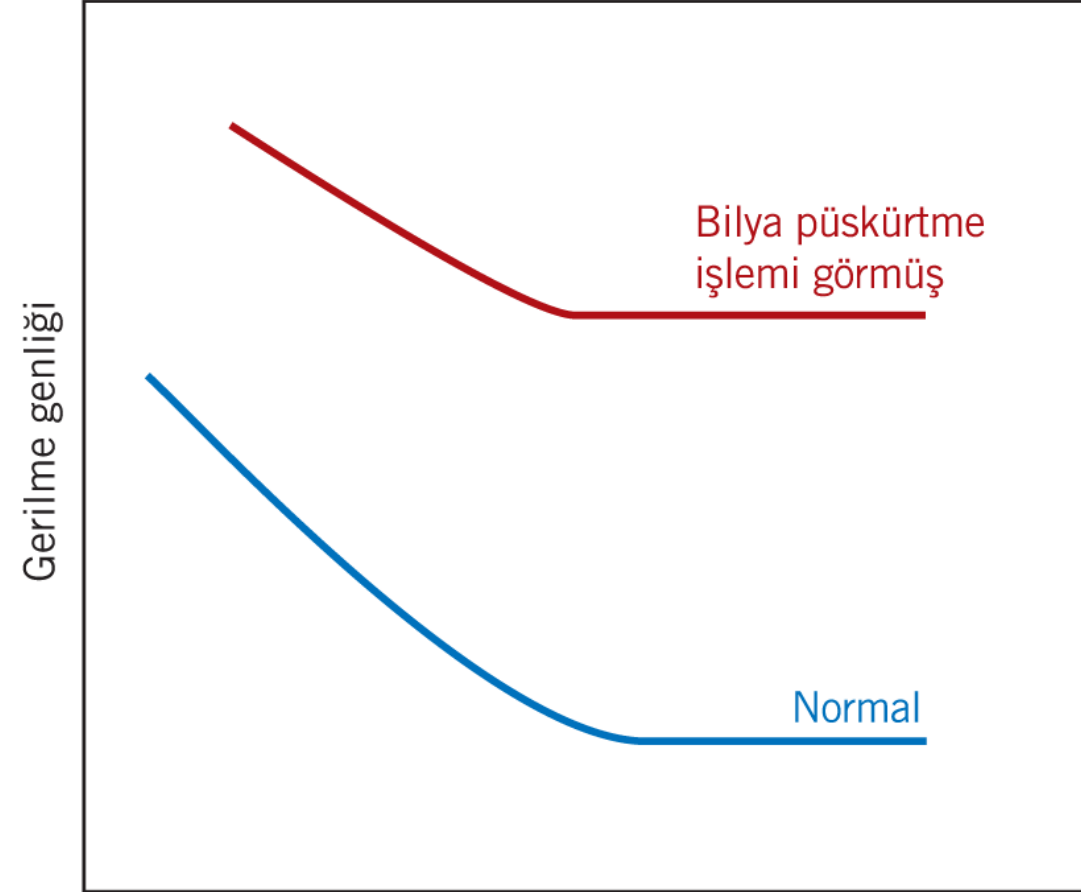
- Çoğu yükleme durumu için maksimum gerilme, yapı veya onu oluşturan parçanın yüzeyinde oluşur. Dolayısıyla, yorulma hasarına yol açan çoğu çatlak, yüzeyden özellikle de gerilme yığılmasının olduğu bölgelerden başlar. Bu nedenle yorulma ömrünün parçanın özellikle yüzey durumu ve koşullarına duyarlı olduğu gözlenmiştir.

Tasarıma Ait Faktörler



Şekil 8.25 Tasarımda değişiklikle, gerilme yığılması etkisinin nasıl azaltılabileceğini ait bir gösterim (a) Yanlış tasarım: keskin köşe (b) Doğru tasarım: mil çapının değiştiği geçiş bölgesinde yuvarlatma yarıçapının büyük tutularak yorulma ömrünün artırılması

Yüzey İşlemleri

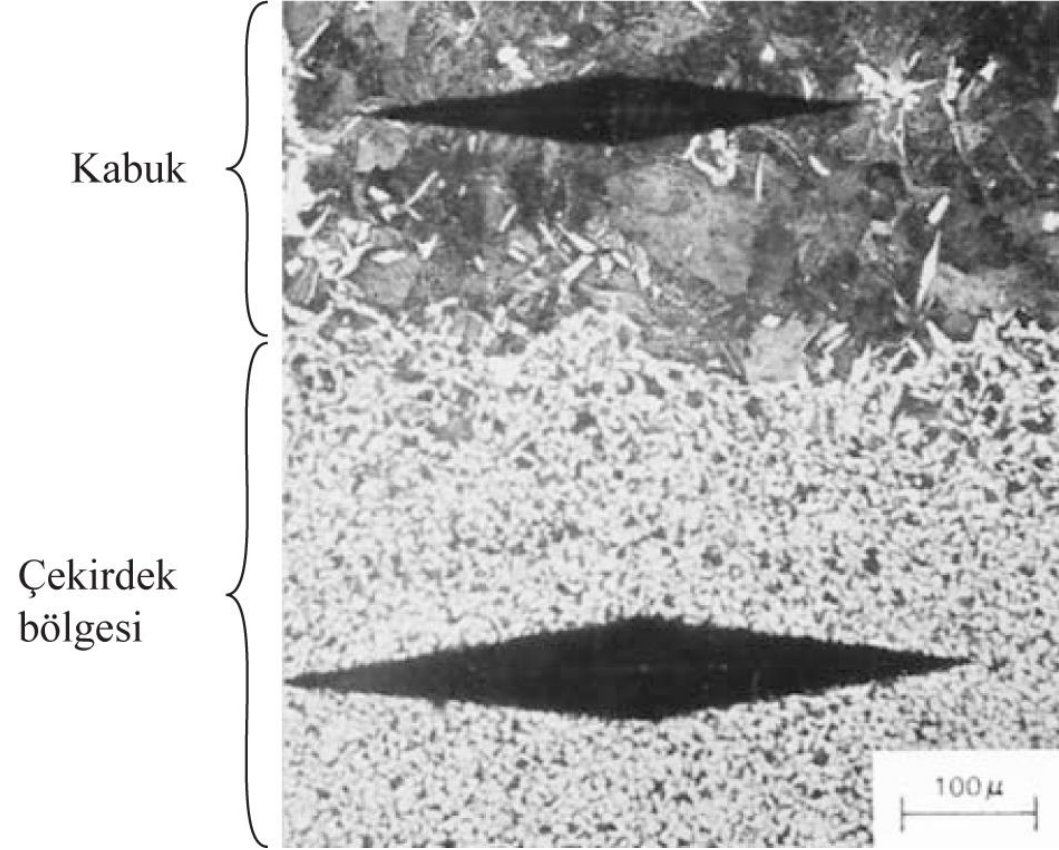


Şekil 8.26 Bilya püskürtme işlemi uygulanmış ve uygulanmamış çeliklere ait şematik $S-N$ eğrileri

Hasar çevrim sayısı
(logaritmik ölçekte)

- **Kabuk sertleştirme** çelik alaşımlarında hem yüzey sertliğinin hem de yorulma ömrünün arttırıldığı bir yöntemdir. Bu işlem, parçanın yüksek sıcaklıkta karbonca ya da azotça zengin bir ortama maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilen sementasyon (karbürleme) ya da nitrürleme işlemleriyle yapılabilir.

Şekil 8.27 Kabuk sertleştirme işlemi uygulanmış bir çeliğin çekirdek (altta) ve kabuk (üstte) bölgelerini gösteren mikroyapı fotoğrafı. Kabuk bölgesi, sertlik ölçümüne ait izin küçük olmasından anlaşılacağı gibi daha serttir. (R.W. Hertzberg, *Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials*, 3rd edition (1989). Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)



8.11 ÇEVRESEL ETKİLER

- **Isıl yorulma**, dış kaynaktan gelen mekanik gerilmelere gerek olmadan, değişken ısı gerilmeler neticesinde genellikle yüksek sıcaklıklarda oluşur.

Isıl gerilme—ısı genleşme katsayısı, elastiklik modülü ve sıcaklık değişimiyle olan ilişkisi

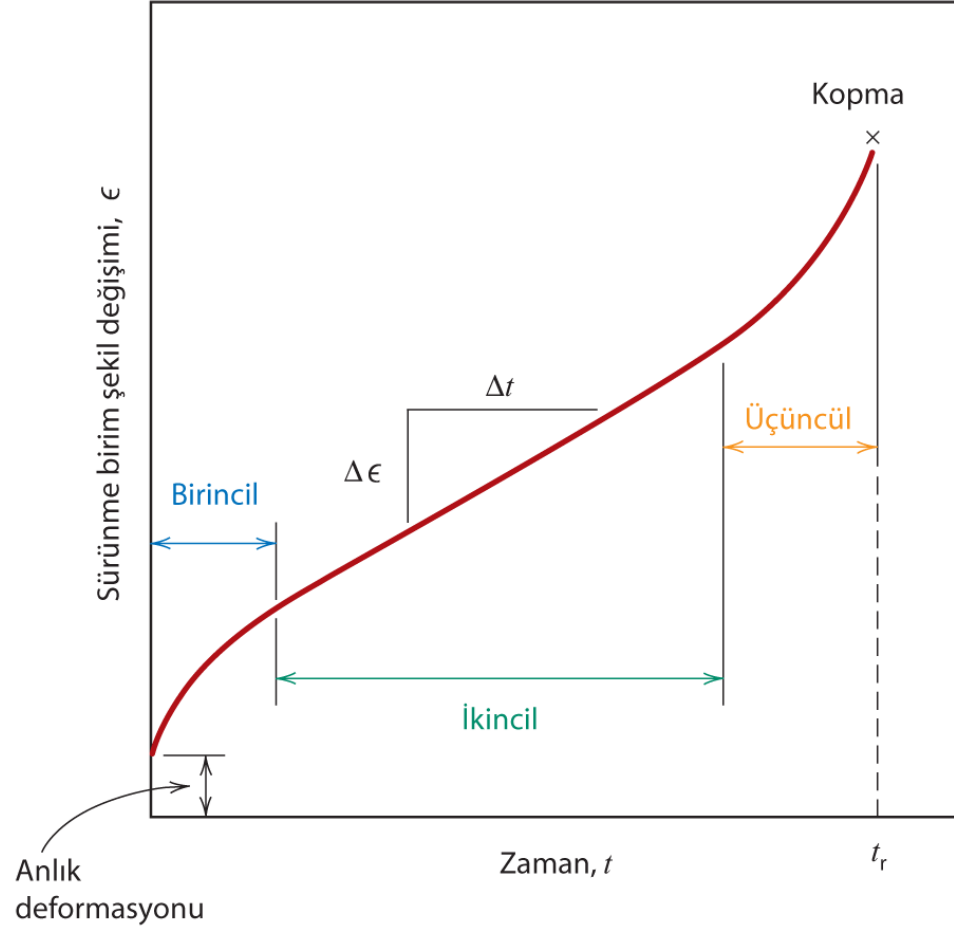
$$\sigma = \alpha_l E \Delta T \quad (8.18)$$

- Çevrimsel gerilme ve kimyasal etkinin birlikte etkimesi neticesinde oluşan hasara **korozyonlu yorulma** adı verilir. Korozif etkiye sahip ortamlar, yorulma davranışını kötüleştirici etkiye sahip olup yorulma ömrünü kısaltırlar.

Sürünme

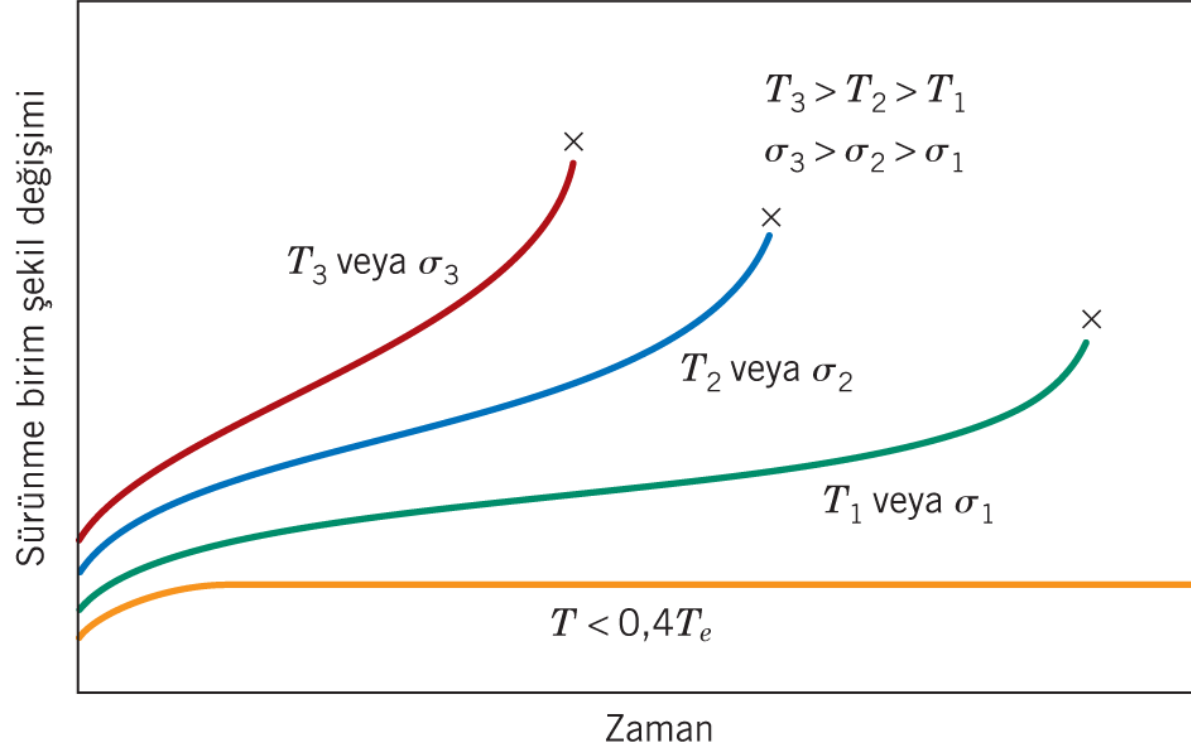
- Yüksek sıcaklık ve statik gerilmenin söz konusu olduğu bu çalışma şartlarında oluşan deformasyona **sürünme** denir. Malzemelerin sabit yük veya gerilme altında, zamana bağlı ve kalıcı olarak deformasyona uğraması olarak tanımlanan sürünme, normal şartlarda istenmeyen bir olaydır ve çoğu zaman bir parçanın ömrünü sınırlayan bir etkendir.

8.12 GENELLEŞTİRİLMİŞ SÜRÜNME DAVRANIŞI

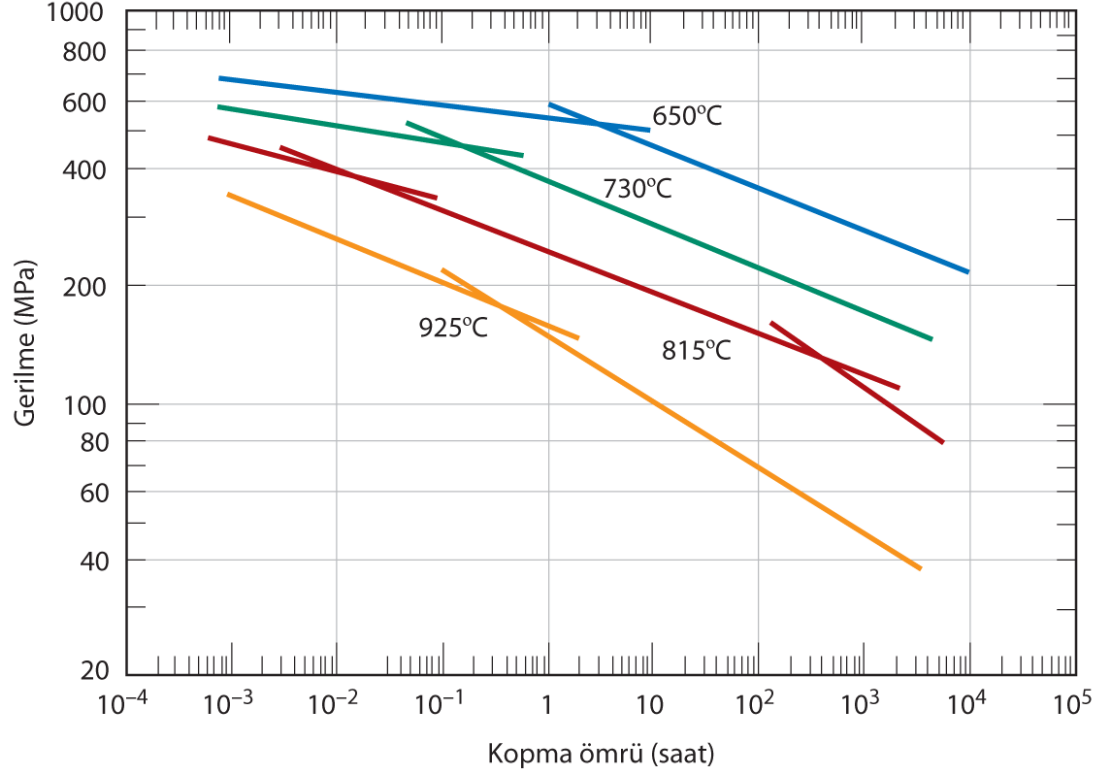


Şekil 8.28 Sabit yüksek sıcaklık ve sabit yük altında şekil değişiminin zamanla değişimini gösteren tipik bir sürünme eğrisi. Minimum sürünme hızı $\Delta\epsilon/\Delta t$, ikinci bölgedeki doğrusal kısmın eğimidir. Kopma ömrü t_r parçada kopma gerçekleşene dek geçen toplam süre.

8.13 GERİLME VE SICAKLIĞIN ETKİSİ



Şekil 8.29 Gerilmenin (σ) ve sıcaklığın (T) sürünme davranışı üzerine olan etkisi

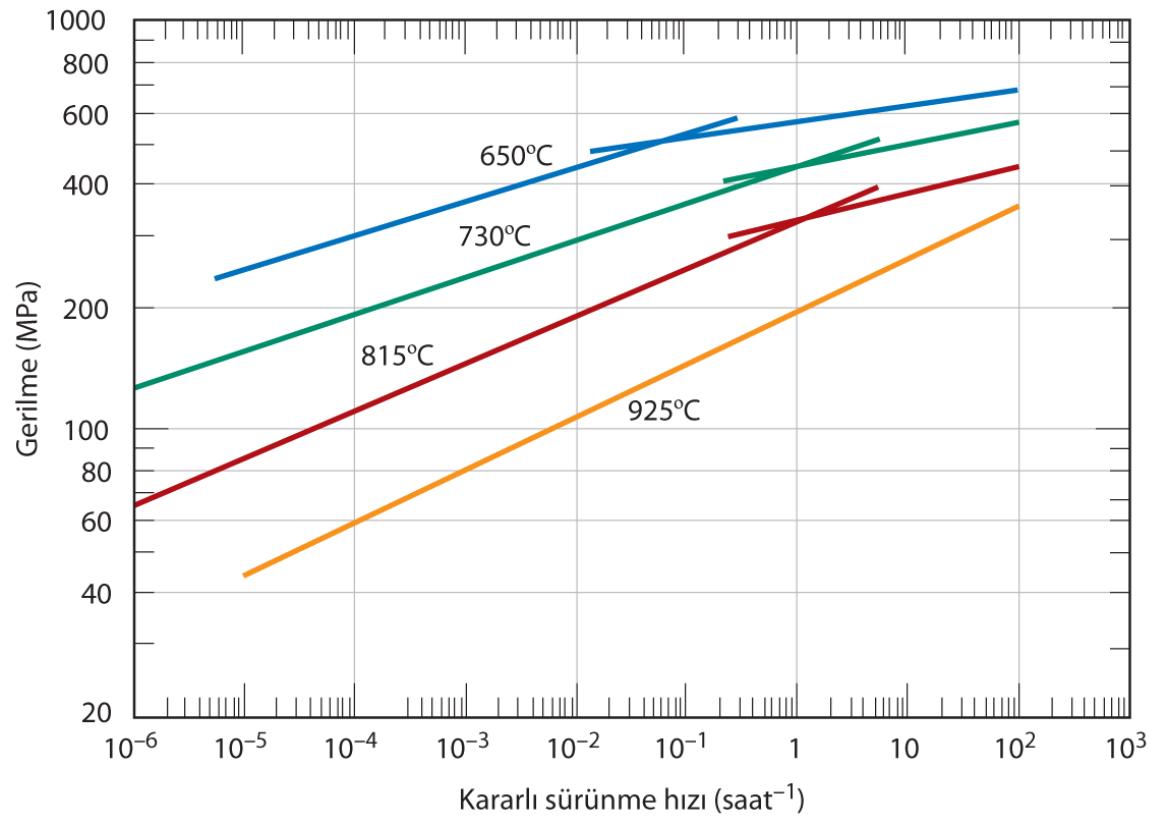


Şekil 8.30 S-590 alaşımında dört farklı sıcaklık değeri için gerilmenin (logaritmik ölçekte), kopma ömrüne (logaritmik ölçekte) göre değişimi [S-590 bileşimi (ağ. % olarak): 20,0 Cr, 19,4 Ni, 19,3 Co, 4,0 W, 4,0 Nb, 3,8 Mo, 1,35 Mn, 0,43 C ve geri kalanı Fe]. [*Metals Handbook: Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Special-Purpose Metals*, Vol. 3, 9th Edition, Editor D. Benjamin, (1980) American Society for Metals p. 130.]

Sürünme birim şekil
değişimi hızının
gerilmeyle olan ilişkisi

$$\dot{\epsilon}_s = K_1 \sigma^n$$

(8.19)



Şekil 8.31 S-590 alaşımında dört farklı sıcaklık değeri için gerilmenin (logaritmik ölçekte), kararlı sürünme hızına (logaritmik ölçekte) göre değişimi. [*Metals Handbook: Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Special-Purpose Metals*, Vol. 3, 9th edition, Editor D. Benjamin, American Society for Metals, 1980, p. 131.]

Sürünme birim şekil
değişimi hızının,
gerilme ve sıcaklıkla
(K cinsinden) olan
ilişkisi

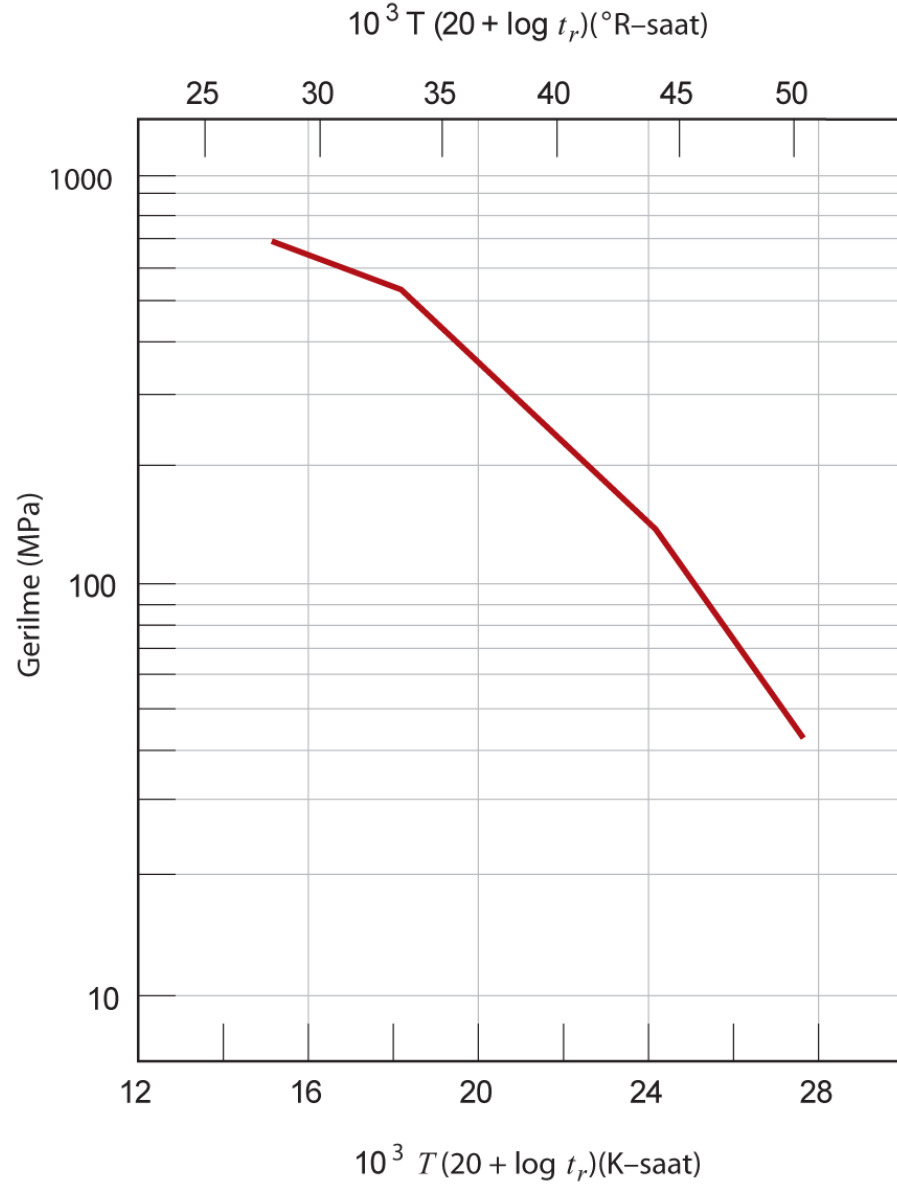
$$\dot{\epsilon}_s = K_2 \sigma^n \exp \left(- \frac{Q_c}{RT} \right)$$

(8.20)

8.14 VERİ EKSTRAPOLASYON YÖNTEMLERİ

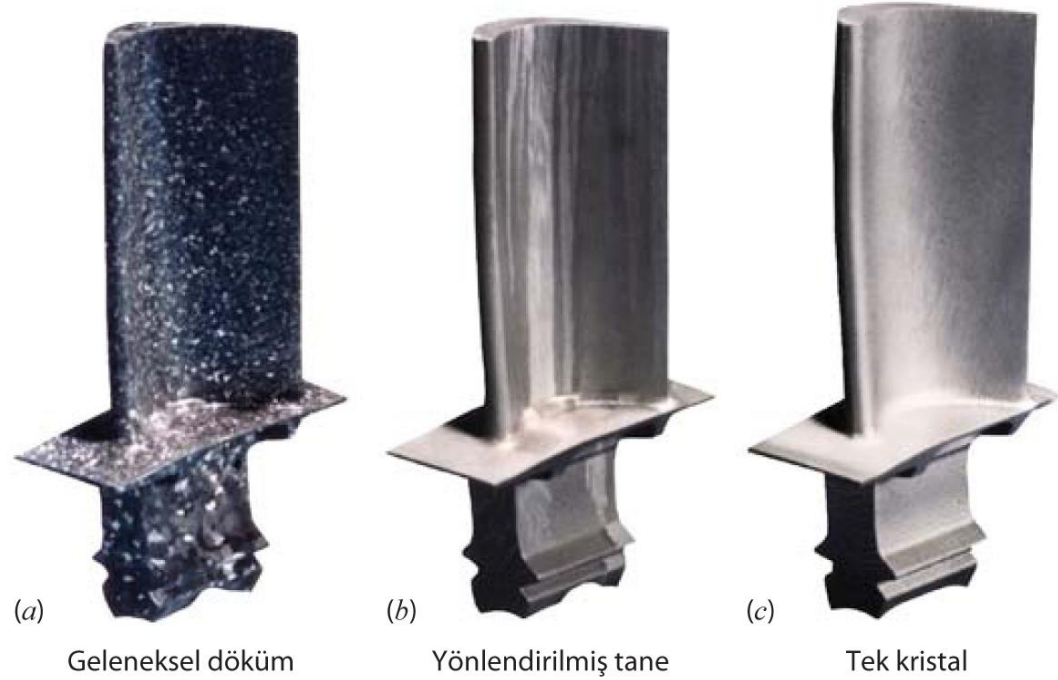
Sıcaklık ve kopma süresine göre Larson–Miller parametresi

$$T(C + \log t_r) \quad (8.21)$$



Şekil 8.32 S-590 alaşımında, logaritmik olarak gerilmenin, Larson-Miller parametresiyle değişimi (F. R. Larson and J. Miller, *Trans. ASME*, **74**, 765, 1952, ASME'nin izni ile basılmıştır.)

8.15 YÜKSEK SICAKLIK ALAŞIMLARI



Şekil 8.33 (a) Klasik yöntemle üretilmiş çok kristalli türbin kanadı. (b) Yönlendirilmiş katılaşma yöntemi ile imal edilmesi sonucu yönelmiş tane yapısının oluşturulması yolu ile yüksek sıcaklık sürünme direnci iyileştirilmiş bir türbin kanadı (c) Tek kristal türbin kanatlarının kullanılması ile sürünme direnci daha da iyileştirilebilir (Courtesy of Pratt & Whitney).