



**BİYONANOTASARIM
LABORATUVARI**

BMM 205

Malzeme Biliminin Temelleri

Metallerin Kırılması, Yorulması ve Sürünmesi

Bölüm - 1

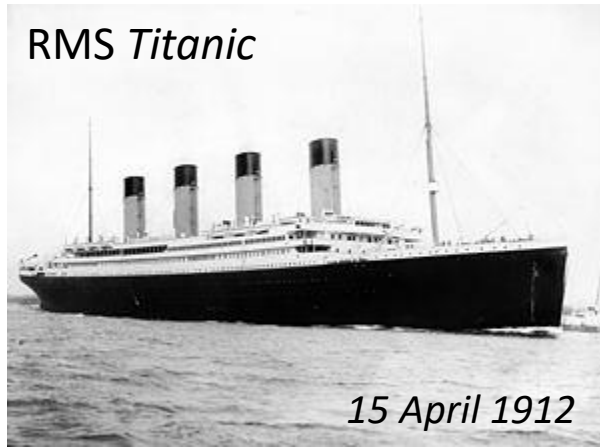
Dr. Ersin Emre Ören

**Biyomedikal Mühendisliği Bölümü
Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü**

**TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Ankara - TÜRKİYE**

eeoren@etu.edu.tr
<http://eeoren.etu.edu.tr>

Mekanik Özellikler:



Japan Airlines Flight 123



12 August 1985

Space Shuttle *Challenger*



January 28, 1986

Eschede train disaster



3 June 1998

2. Dünya Savaşı Alman U-boatları (Unterseeboot) :



Alman U-boatları (Unterseeboot) ikinci dünya savaşı sırasında İngiltere ile ABD ve Kanada'nın her türlü ticaret bağına kesmek amacıyla kullanılmıştır...

Allied leaders



Axis leaders



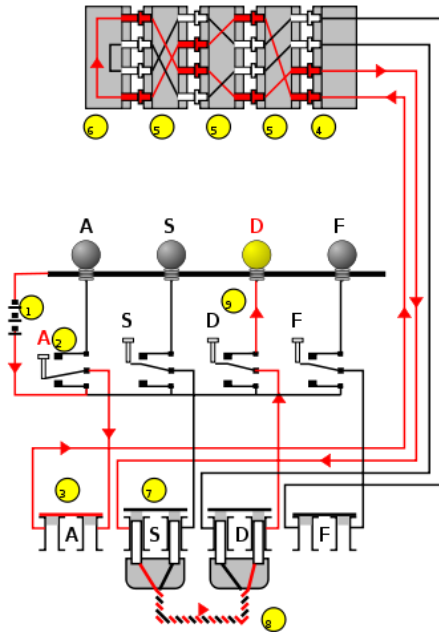
Casualties and losses

Military dead:
Over 16,000,000
Civilian dead:
Over 45,000,000
Total dead:
Over 61,000,000 (1937-45)

Military dead:
Over 8,000,000
Civilian dead:
Over 4,000,000
Total dead:
Over 12,000,000 (1937-45)

"The only thing that really frightened me during the war was the U-boat peril."

Winston Churchill



Enigma machine

Bomba



Bombe



Marian Rejewski

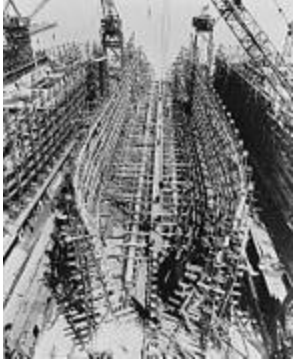


Alan M. Turing

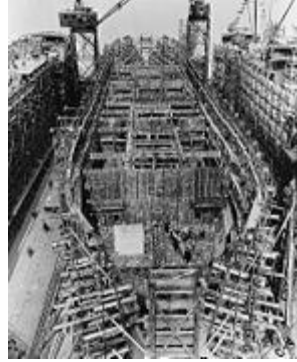
2. Dünya Savaşı Liberty Ships:

Alman U-boatları (Unterseeboot) tarafından batırılan kargo gemilerinin yerine, 1941 – 1945 yılları arasında 2710 tane üretildi ve bunlardan yaklaşık 200 tanesi U-boatlar tarafından batırıldı.

Üretim Süreci:



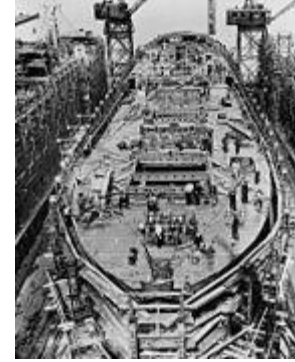
2. gün



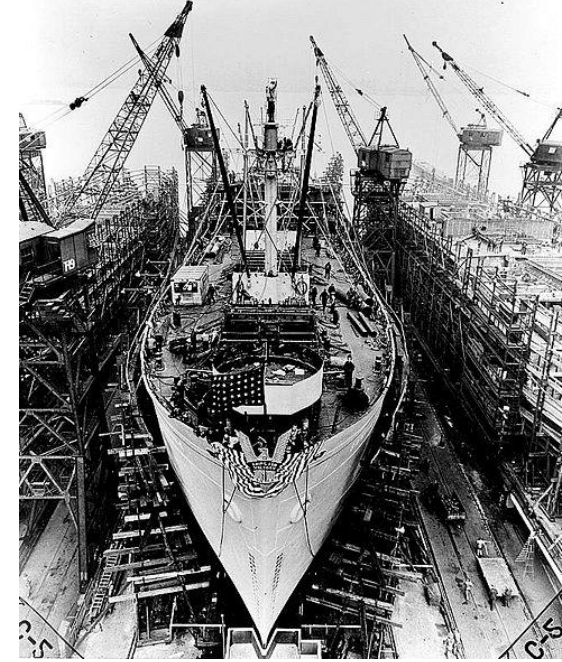
6. gün



10. gün



14. gün



24. gün

Problemler:

1500 tanesi çatlak ve kırılma sonucu ciddi hasar gördü.

20 civarı görünen hiçbir neden olmadan aniden ikiye bölündü.

Rekor 4 Gün 15 Saat 29 Dakika

<https://www.youtube.com/watch?v=8qDxqBvK3NA>

<https://www.youtube.com/watch?v=ru8zXGoVRDk>

METALLERDE KIRILMA, YORULMA VE SÜRÜNME

Problemler:

Vessel	Type	Date of Event	Location
Schenectady	T2	16 Jan 1943	Portland, Oregon
Esso Manhattan	T2	29 Mar 1943	Ambrose Channel
John P. Gaines	Liberty	24 Nov 1943	North Pacific
Valeri Chkalov	Liberty	11 Dec 1943	North Pacific
Joel R. Poinsett	Liberty	4 Mar 1944	North Atlantic
Donbass III	T2	17 Feb 1946	North Pacific
Sacketts Harbor	T2	1 Mar 1946	North Pacific
Fort Sumter	T2	10 May 1946	North Pacific
Fort Dearborn	T2	12 Mar 1947	North Pacific
Ponagansett	T2	9 Dec 1947	Boston, MA
Capitan	T1	24 Dec 1948	East coast of U.S.
Unknown	T2	Feb 1952	Unknown



Ship That Broke in Two Identified as J.P. Gaines

The American Liberty ship which broke in two 100 miles off the Alaska coast during a storm the early morning of November 24 was identified yesterday as the John P. Gaines, bound for Seattle.

Of the 100 members of the crew, navy gun crew and some army personnel, the latter aboard as passengers, 10 or 11 are missing—lost in the inky darkness when a line from a rescue vessel parted and the lifeboat swept underneath the wildly tossing stern.

Although official lists put the total of missing at 11, members of the Gaines' crew, by "nose count" place the total at 10. The official list accounts for 7 soldiers, one naval sailor and 3 of Gaines' crew. The crew members were credited with saving

survivors, bruised, battered and suffering from exposure, to Seattle. According to a list made by members of the John P. Gaines crew the 3 crew members who were aboard the missing lifeboat are Walter Borst, boatswain; Ramon Havrech, oiler, and Walter Howard, 1st cook. Although the disaster to the John P. Gaines, a welded freighter built at the Kaiser Portland yards for the Maritime Commission, was not due to the war, security regulations have shrouded the facts surrounding the dramatic mishap. The Gaines was operated by the Northland Transportation Company for the government. Capt. A. W. Nickerson was the master, and the crew had the highest praise for his seamanship and calm efficiency; they were credited with saving



1955, Sand Point Naval Station, Seattle, WA

2. Dünya Savaşı Liberty Ships:

İlk önce tersanelerdeki acemi kaynakçılardan şüphelendiler.

İngiliz Savaş-İkmal Bakanlığı bu olayların nedenini araştırmak için bir komite kurdu.

C. Tipper bu kırılmaların kaynaklardan kaynaklanmadığını çeliğin kendisinden kaynaklandığını buldu.

C. Tipper kritik bir sıcaklığın altında çeliğin kırılma modunun sünek kırılmadan gevrek kırılmaya doğru değiştiğini gösterdi.

Kırılan gemi olaylarının hemen hepsi Kuzey Atlantikte ve çok soğuk havalarda gerçekleşti.

Sünek – Gevrek Kırılma Dönüşümü (Ductile-to-Brittle Transition)

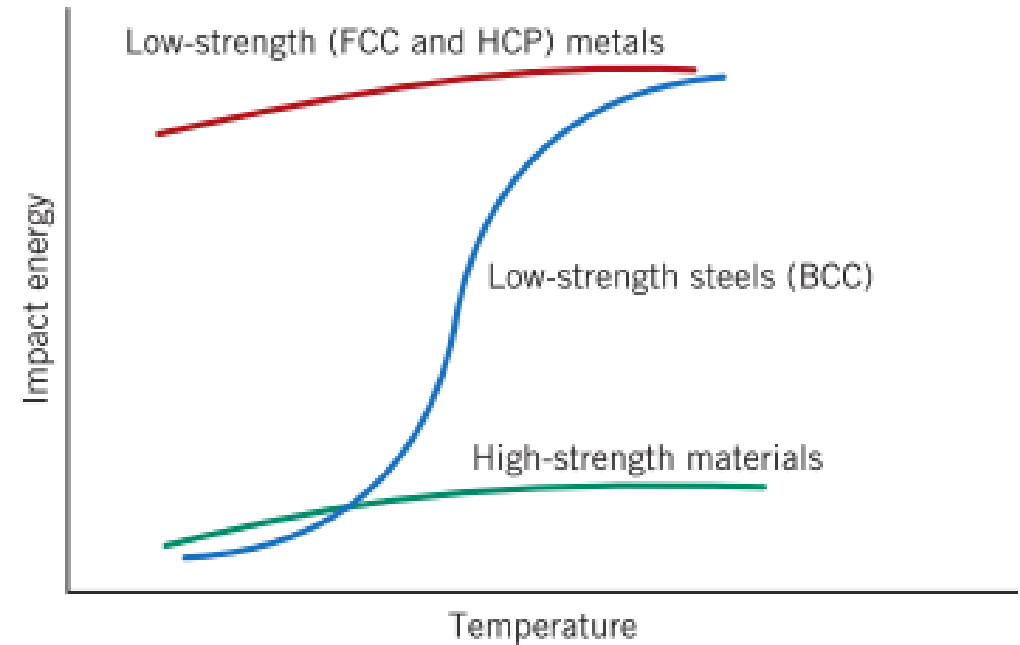
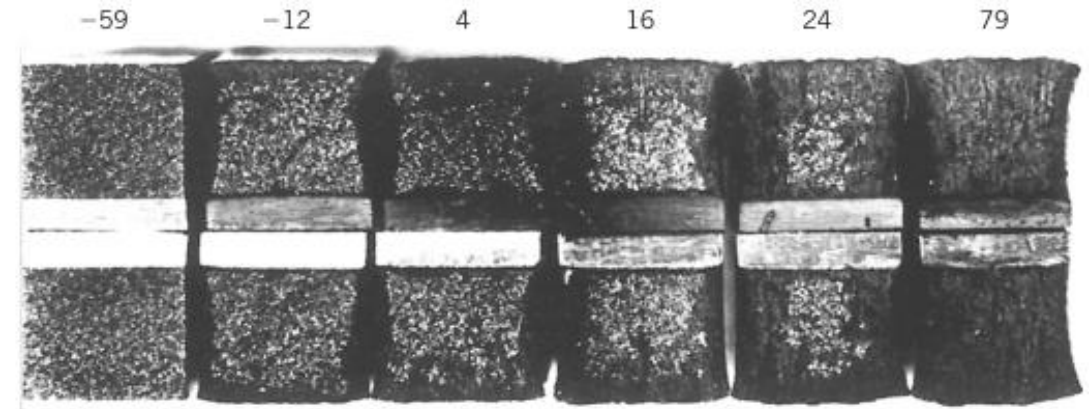
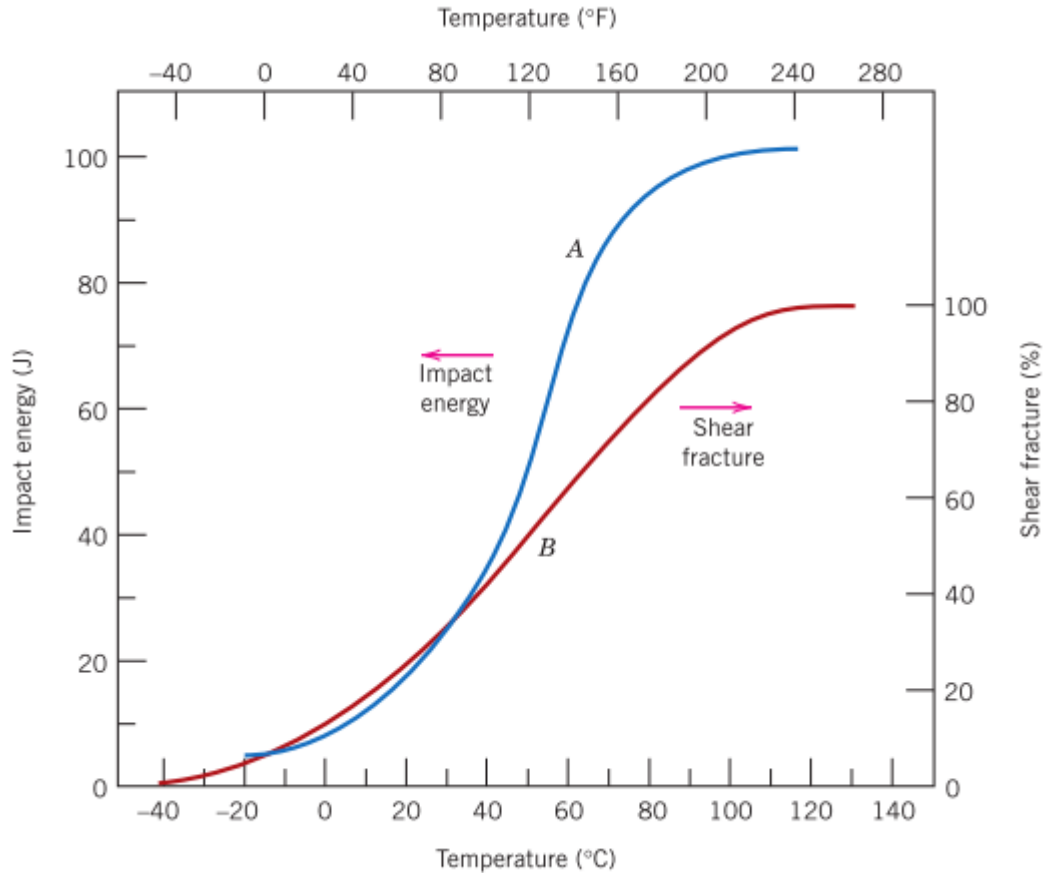
Constance Tipper



1894 –1995

British metallurgist
and crystallographer
Cambridge University

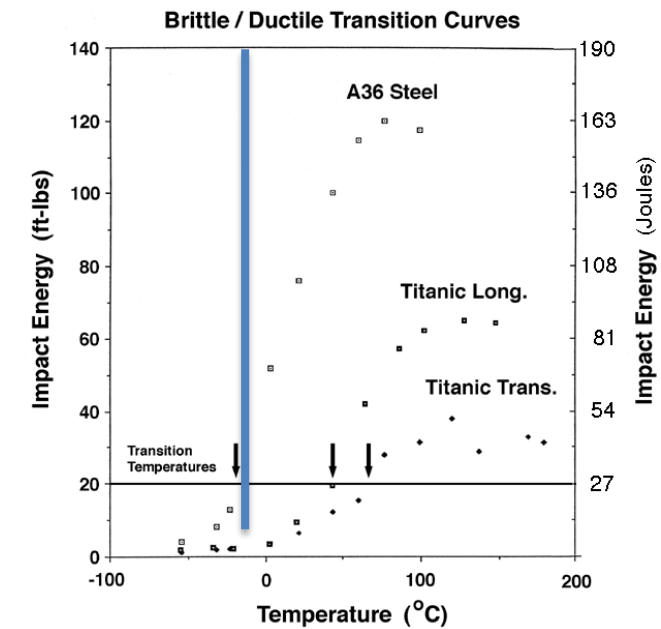
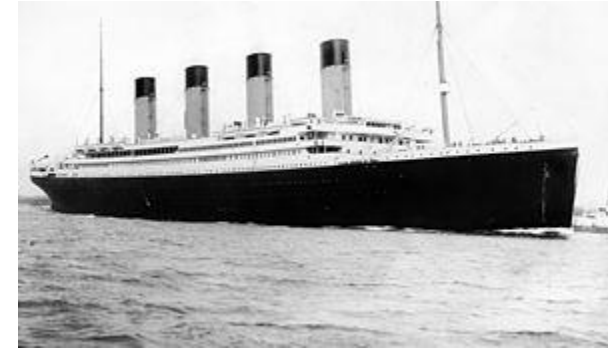
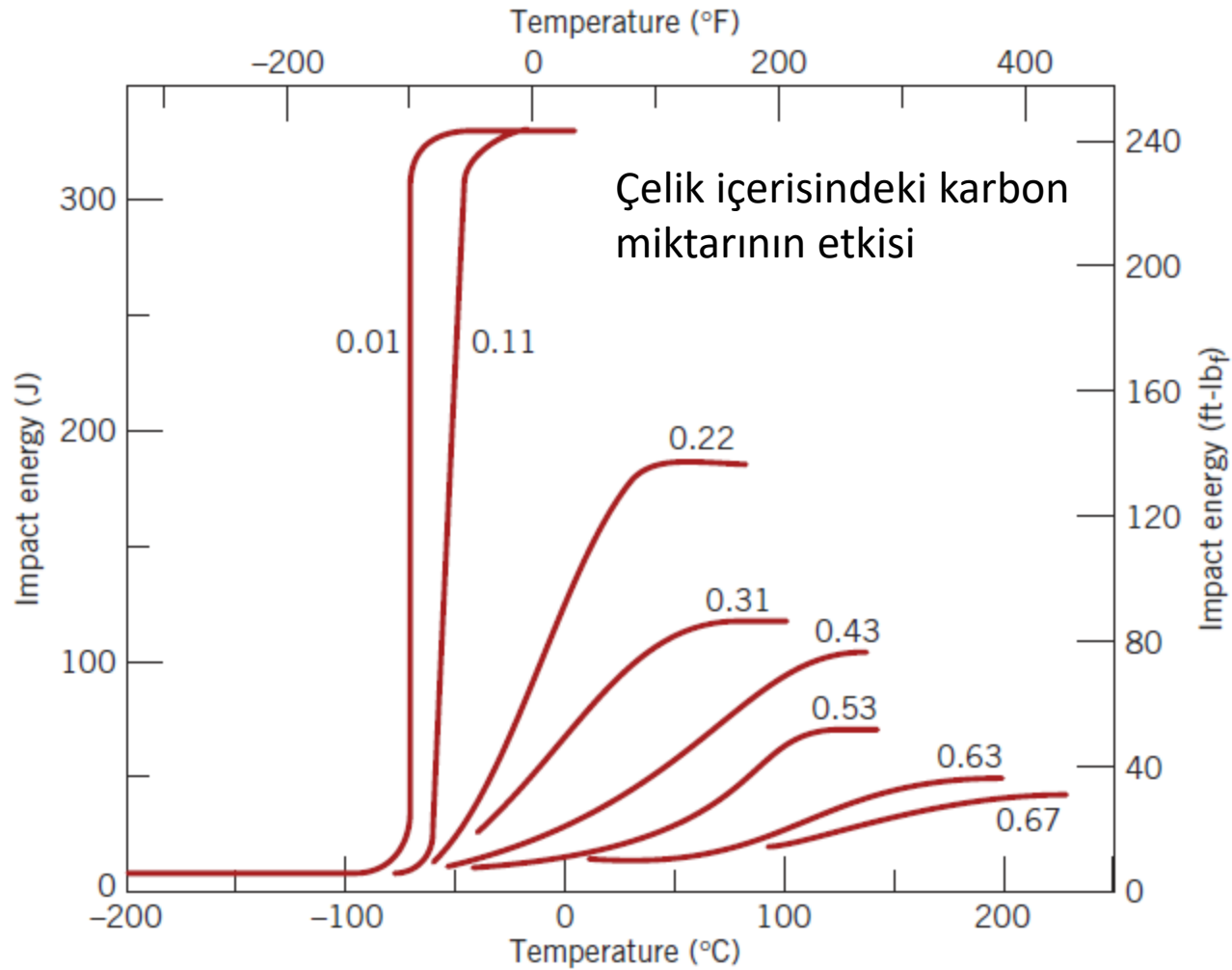
Sünek – Gevrek Kırılma Dönüşümü (Ductile-to-Brittle Transition)



Birçok alaşım için sünek kırılmadan gevrek kırılmaya geçiş belirli bir sıcaklık aralığında olur.

Bu nedenle tek bir sünek-gevrek kırılma dönüşüm sıcaklığı belirlemek zordur.

Sıcaklık Değişimi ile Süneklikten Kırılganlığa geçiş:



Sıcaklık Değişimi ile Süneklikten Kırılganlığa geçiş:

Titanik ?

- Yapımda kullanılan çelik yeterli dayanıma (strength) sahip olmakla birlikte düşük sıcaklıktaki enerji emme kapasitesi (fracture toughness) çok düşüktür.

Bunun nedenleri: düşük Mn,
düşük Mn/C oranı,
büyük ferrit taneleri ve
büyük perlit kolonileri olabilir.

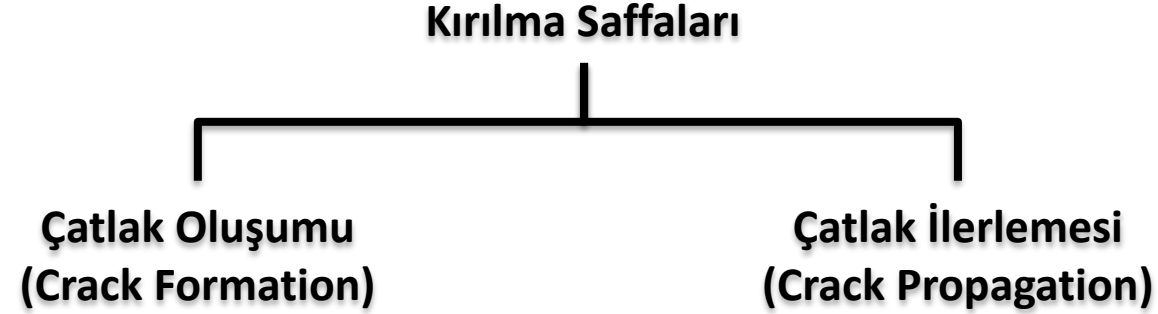
- Titanik'in gövdesini oluşturan 2000'in üzerindeki çelik tabakada mekanik özelliklerin büyük değişiklikler gösterdiği saptanmıştır.

Bu durum 1900'lerin başındaki haddahane koşulları için normaldir.

- Yapımda kullanılan çeliklere uygun ısıl işlem uygulansaydı kırılma özellikleri güçlendirilebilirdi.
- RMS Titanik'in yapımında 1911 yılının bilgi birikimi göz önüne alındığında herhangi bir mühendislik hatası bulunmamaktadır.

Kırılma (Fracture)

Malzemelerin erime sıcaklıklarının altında gerilim (stress) altında iki parçaya ayrılması kırılma olarak tanımlanır.



Kırılmanın başlıca nedenleri:

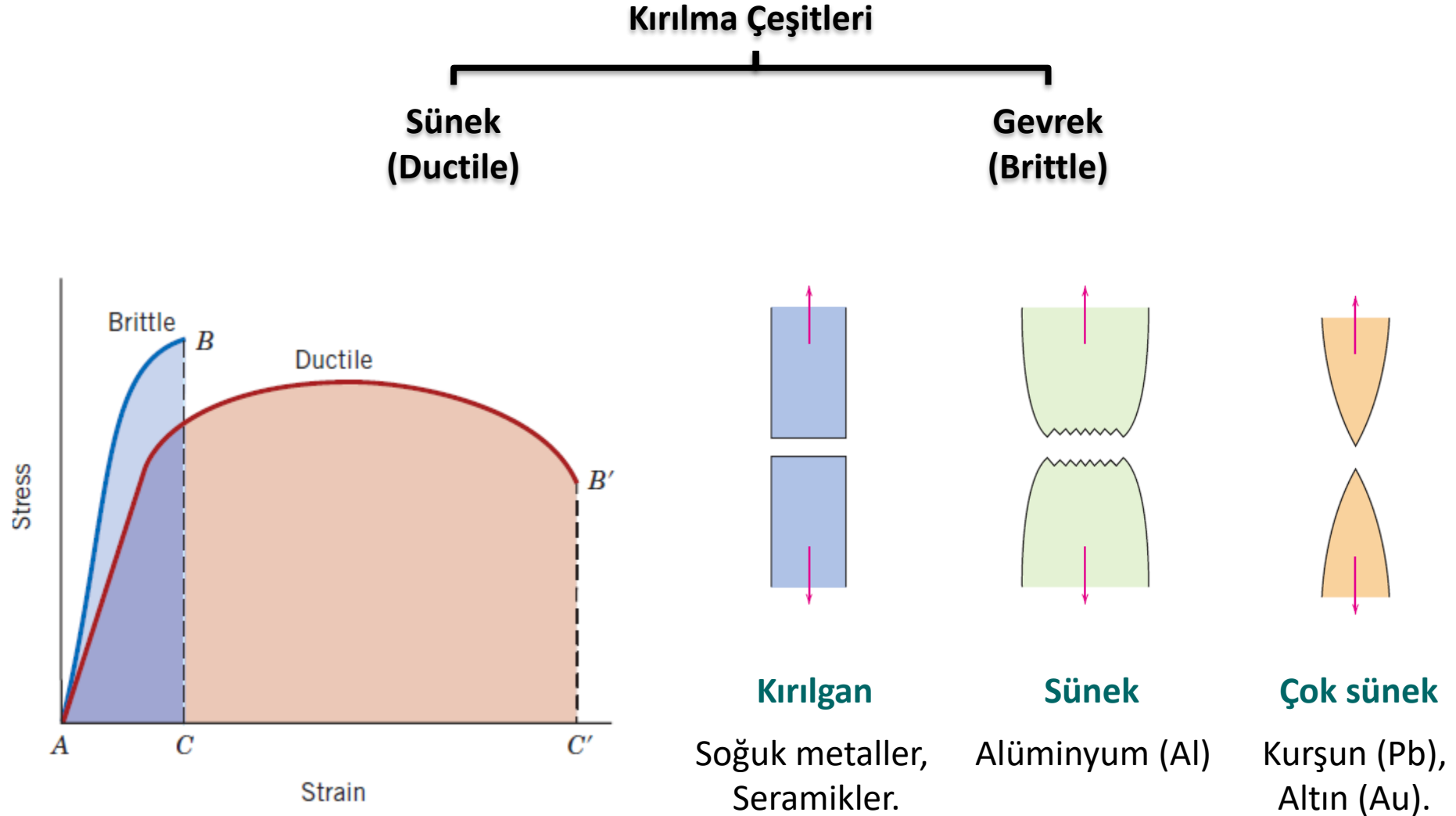
- Yanlış malzeme seçimi
- Yanlış malzeme hazırlama teknikleri
- Yanlış yada yetersiz parça tasarımı
- Yanlış (tasarım dışı) kullanım

Kırılma olmaması için gereken her türlü önlemi almak bir mühendisin başlıca görevidir.

Ayrıca bir mühendis karşılaşılan problemlerin nedenlerini bularak bir daha olmaması için önlem almalıdır.



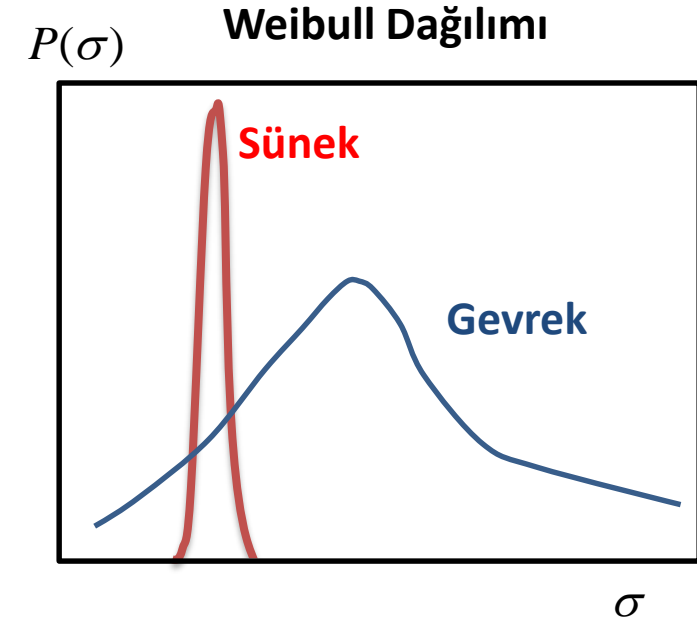
Mühendislik malzemelerinde malzemenin plastik deformasyona uğrayabilme özelliğine göre kırılma ikiye ayrılır:



Mühendislik uygulamalarında sünek kırılma hemen hemen her zaman tercih edilir:

Çünkü:

1. Sünek kırılma gevrek kırılma gibi aniden olmaz. Sünek kırılmada malzeme plastik deformasyona uğradığı için gerekli önlemlerin alınabilmesi için uyarı verir.
2. Sünek kırılma için daha fazla gerinim (strain) enerjisi gerekir bu nedenle sünek malzemelerin tokluğu (toughness) genellikle daha yüksektir.



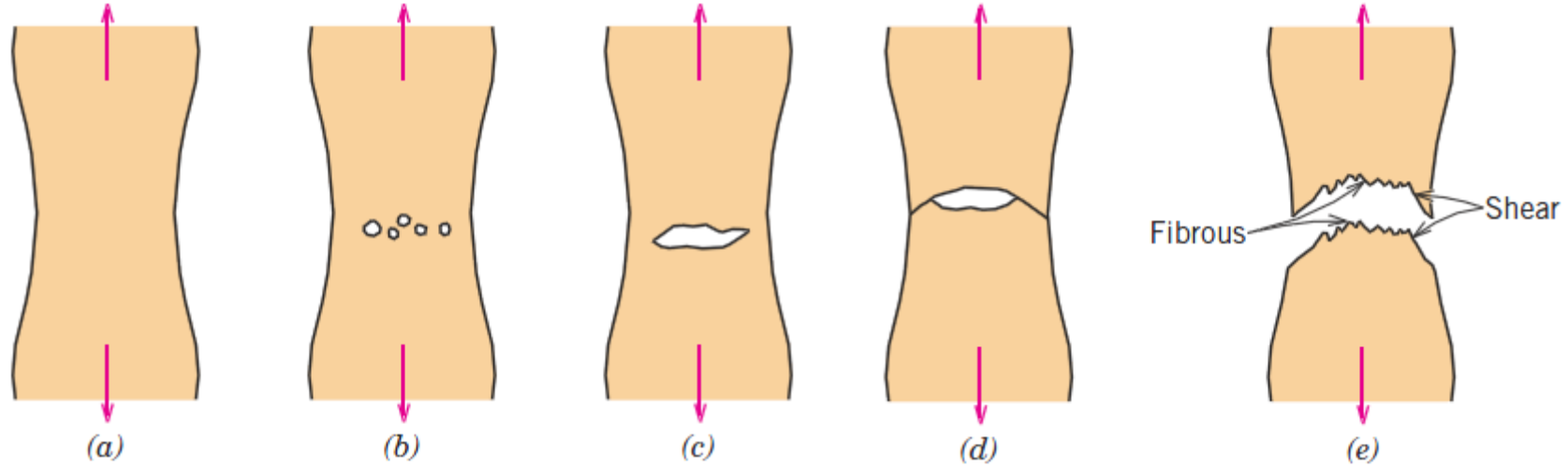
Sünek Kırılma (birçok metal (çok soğuk olmamak kaydıyla))

- Çatlak öncesi yoğun miktarda plastik deformasyon gözlenir.
- Çatlak “kararlıdır”: eğer uygulanan gerilim arttırılmaz ise çatlak ilerlemesi gözlenmez.

Gevrek Kırılma (seramikler, buz, çok soğuk metaller)

- Görece çok az plastik deformasyon gözlenir.
- Çatlak “kararsızdır”: uygulanan gerilim arttırılmasa bile hızla ilerleyebilir

Sünek Kırılma (Ductile Fracture)



(a) Boyun verme (Necking)

(b) Mikro boşlukların oluşumu (Formation of microvoids)

(c) Mikro boşlukların bir araya gelmesi ile çatlak oluşumu (Microvoid coalescence)

(d) Kesme (shear) deformasyonu ile çatlakların ilerlemesi (Crack propagation by shear)

(e) Kırılma (Fracture)



Alüminyum (Al)

Gevrek Kırılma (Brittle Fracture)

- Kayda değer bir plastik deformasyon olmaz
- Çatlak ilerlemesi çok hızlıdır
- Çatlak uygulanan gerilim yönüne hemen hemen dik olarak ilerler
- Çatlak genellikle bölünme (cleavage) yani özel kristalografik düzlemler (cleavage planes) boyunca atomik bağların kırılması sonucu ilerler.

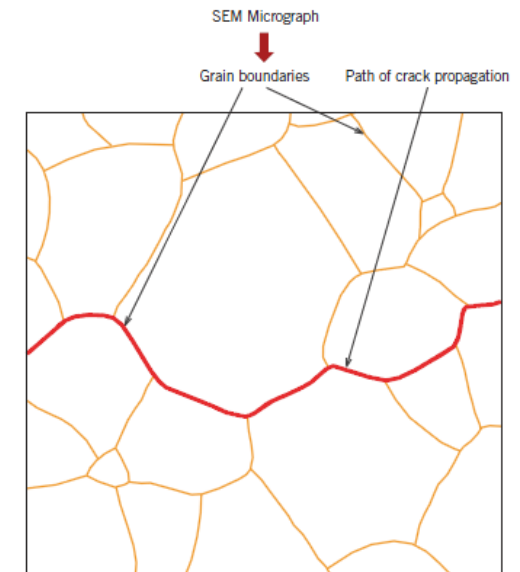
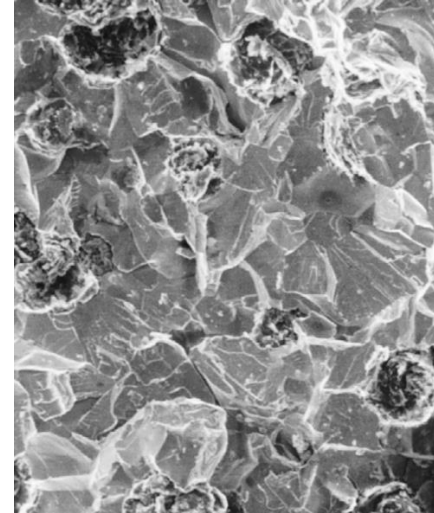
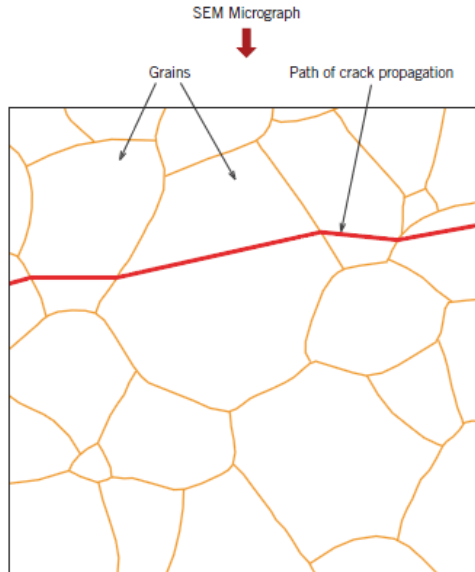


Çelik

Gevrek Kırılma Çeşitleri

Tane içi (Intragranular)

Taneler arası (Intergranular)



Fraktografi (Fractography) kırılma yüzeylerinin çalışıldığı alandır. **Adli mühendisliğin (Forensic engineering)** önemli bir çalışma dalıdır. Kırılma yüzeylerinin analizi ile adli ve kaza olaylarında suçluların ve kaza nedenlerinin araştırılmasında yardımcı olur.

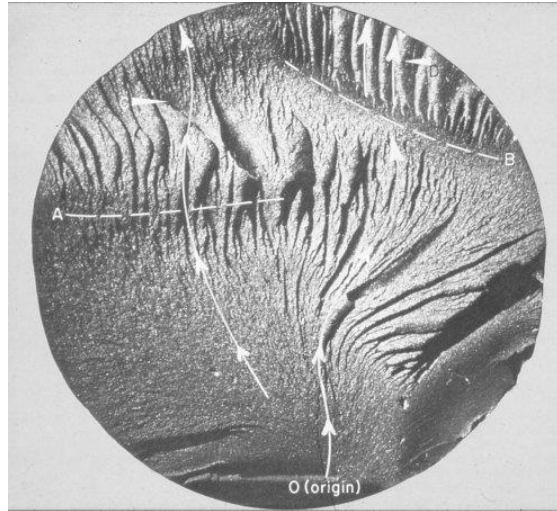
- Kırılma modu,
- Gerilme tipi,
- Çatlak başlama bölgesi

Soru

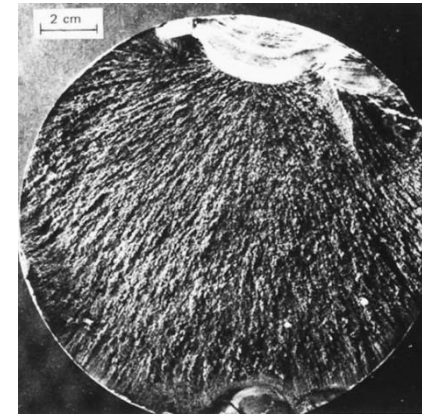
Üç farklı araba kazasının nedenlerini araştıran bir mühendis her üç kazada da sağ arka tekerleğin akstan kopmuş ve aksın da eğilmiş olduğunu bulur. Her üç kaza için de kırılma yüzeyleri aşağıda verilmiştir. Kazaların nedenleri nedir?



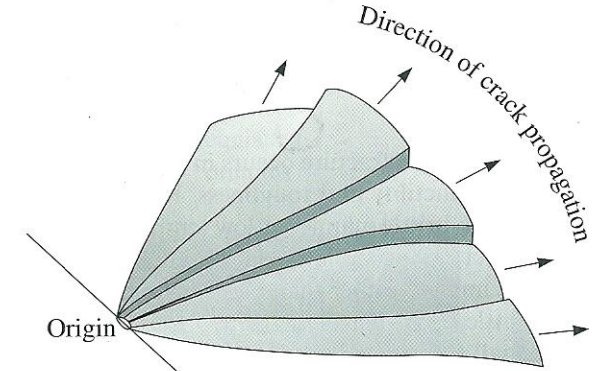
1. Kaza



2. Kaza



3. Kaza



Chevron patterns
V şeklinde oluşumlar.

Kırılma Mekanığı (Fracture Mechanics)

Çatlak yayılma mekanizmaları ile malzeme özellikleri, stres düzeyi, çatlak üreten kusurları varlığı arasındaki ilişkileri kurarak bu ilişkileri matematiksel olarak tanımlamaya çalışır.

Gevrek katıların kırılma dayanımı atomları arasında çekim kuvvetlerine bağlıdır.

Teorik olarak gevrek malzemelerde kırılma dayanımı: $\sim E/10$

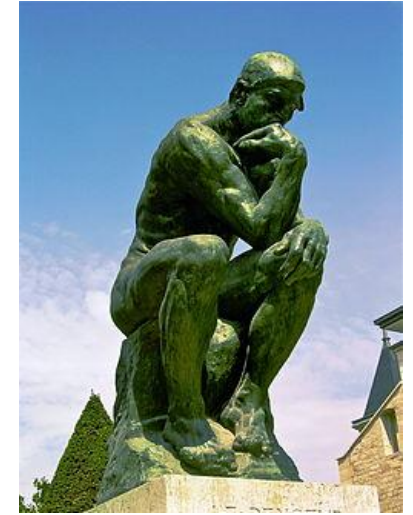
DeneySEL kırılma dayanımı: $E/100 - E/10,000$.

NE DEN?

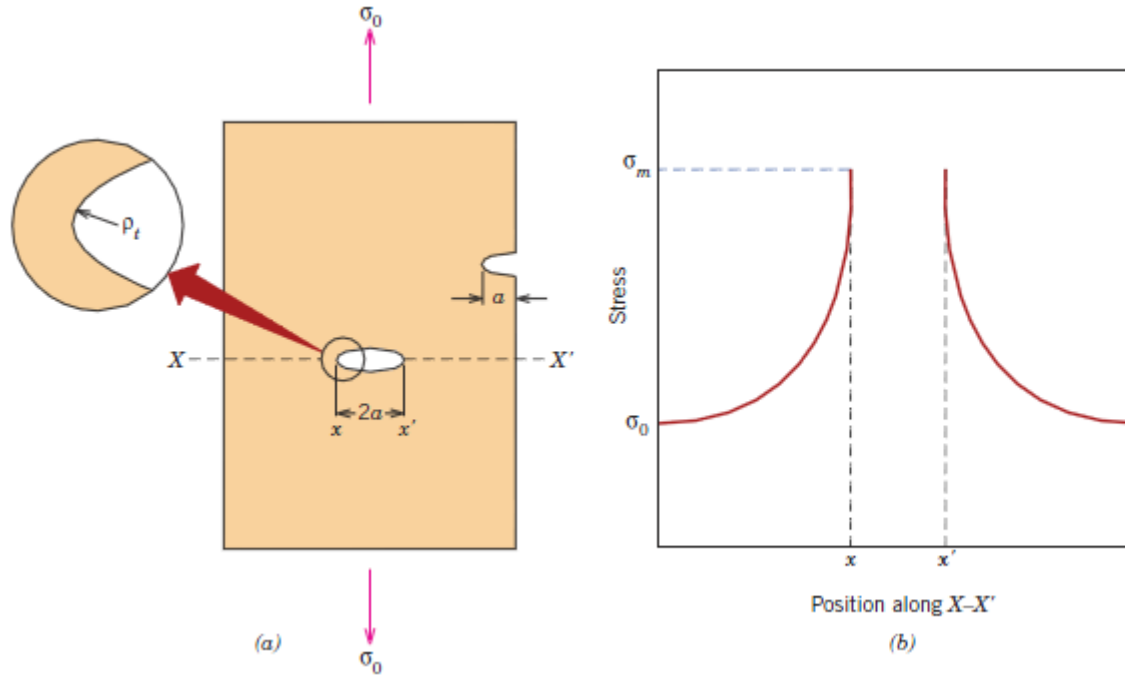
Bu çok daha düşük kırılma mukavemeti mikroskopik kusurlarda oluşan *gerilim yoğunlaşması (stres concentration)* etkisi ile açıklanabilir.

Uygulanan gerilim, *gerilim yükselticiler (stress raisers)* diye adlandırılan mikro-çatlaklar, boşluklar, çentikler, yüzey çizikleri, köşeler vb gibi kusurlar çevresinde yoğunlaşır.

Bu yoğunlaşmanın büyüklüğü mikro çatlak yönelimleri, geometri ve boyutlarına bağlıdır.



Gerilim yoğunlaşması (stress concentration)



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

↓
Eğrilik yarıçapı
(radius of curvature)

*Gerilim yükseltme faktörü
(stress concentration factor)*

$$K_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_0} = 2 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

Sünek malzemelerde, akma dayanımı aşıldığı zaman plastik deformasyon olur. Bu da gerilim yükselticiler çevresinde gerilim dağılımının daha düzenli olmasına neden olur.

Gerilim yoğunlaşması (stress concentration)

Gevrek malzemelerde ise plastik deformasyon olmadığı için gerilim yükselticilerin etkisi çok önemli olur.

Gevrek malzemelerde çatlak ilerlemesi için gereken gerilim miktarı (Critical stress for crack propagation) :

Yüzey enerjisi

Griffith's criterion: $\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a} \right)^{1/2}$

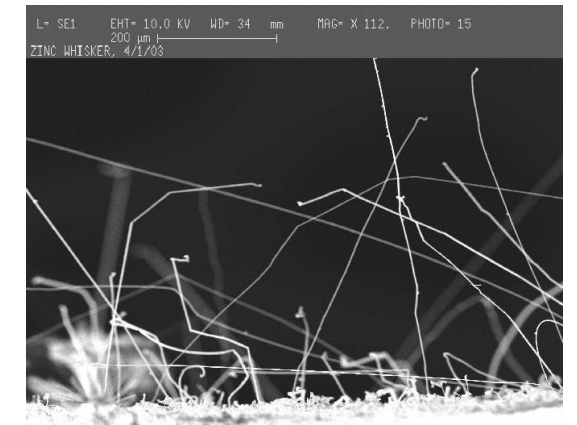
Plastik deformasyon enerjisi

Sünek malzemeler: $\sigma_c = \left(\frac{2E(\gamma_s + \gamma_p)}{\pi a} \right)^{1/2}$

Bütün kırılğan malzemeler, içlerinde çeşitli boyut, şekil ve uzanımlarda küçük çatlak ve kusurlar içerirler.

Bu kusurların ucunda gerilme büyüklüğü kritik stres değerine ulaşırsa, çatlak oluşumu ve ilerlemesi sonucu malzeme kırılır.

Hatasız çok küçük ve neredeyse kırılma dayanımı teorik değerler ulaşan metalik ve seramik ince telcikler (whisker) büyütülmüştür.



Soru

Görece büyük cam bir plakaya 40 MPa'lık çekme gerilmesi uygulanmıştır. Aşağıdaki verileri kullanarak camda kırılmaya neden olmayacak en büyük yüzey kusurunun (surface flaw) boyunu bulunuz.

Camın yüzey enerjisi: $\gamma_s = 0.3 \text{ J/m}^2$

Camın çekme dayanımı: $E = 69 \text{ GPa}$

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\gamma_s}{\pi a} \right)^{1/2} \Rightarrow a = \frac{2E\gamma_s}{\pi\sigma_c^2} \Rightarrow a = \frac{2 \times 69 \text{ GPa} \times 0.3 \text{ J/m}^2}{\pi (40 \text{ MPa})^2}$$

$$\Rightarrow a = \frac{2 \times 69 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \times 0.3 \text{ N/m}}{\pi (40 \times 10^6 \text{ N/m}^2)^2}$$

$$\Rightarrow a = 8.2 \times 10^{-6} \text{ m} = 8.2 \mu$$

$$1 \text{ N} = \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ J} = \text{N.m} = \frac{\text{kg.m}^2}{\text{s}^2}$$

$$1 \text{ Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{J}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kg}}{\text{m.s}^2}$$

Önümüzdeki Ders Saatinde
Ders Kitabımızın 8. Bölümündeki
METALLERİN KIRILMASI, YORULMASI VE SÜRÜNMESİ
adlı konuya devam edeceğiz!