

*İstanbul Teknik Üniversitesi-Makine Mühendisliği
Bölümü-İstanbul*

Metalik Malzemelerinin Mekanik Davranışı

Turgut Gülmez

MMI 565

2020 Güz

MMI 565

Malzemelerin Mekanik Davranışı

Dersi Veren: Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ

:E-mail *gulmezt@itu.edu.tr*

WEB: *<https://web.itu.edu.tr/gulmezt/MekanikD.html/>*

KISA DERS İÇERİĞİ:

Basit sürekli hal mekaniği ve mikroskobik bakış açılarından elastik ve plastik deformasyon, dislokasyon teorisi, alaşım sertleştirme ve dayanım artırma mekanizmaları, metallerin hasar mekanizmaları, kırılma, doğrusal elastik ve doğrusal olmayan elastik kırılma mekaniği, yorulma hasarı, kritik altı çatlak büyümesi, gerilme / ömür ve hasara toleranslı tasarım yaklaşımları, sünme/sürünme, kompozitler, çevreden kaynaklanan gevrekleşme ve çatlama hakkında sunumlar yapılacaktır.

Ders Notu: M. Demirkol, Malzemelerin Mekanik Davranışı, (Ders notu)

NOTLANDIRMA:	DEVAM	%10
	ÖDEVLER	%20
	YILIÇI SINAV	%30
	FİNAL	%40

Dersin İçeriği

- ✿ Giriş
- ✿ Elastik Davranış/Plastik Davranış
- ✿ Dislokasyonlar
- ✿ Kristallerin Plastik Deformasyonu
- ✿ Metalik Malzemelerin Dayanımlarının Artırma Mekanizmaları
- ✿ Kırılma
- ✿ Yorulma
- ✿ Sünme
- ✿ Çevresel Hasar Mekanizmaları

Mekanik Özellikler Neden Önemlidir?

- İşler neden başarısız olur?
- Nasıl başarısız olur?
- Ne tür şeyler başarısız olur?



**Sknyliv Airshow,
Lviv, Ukraine (2002)**

- gemiler, köprüler ve uçaklar

- mikromakinalar

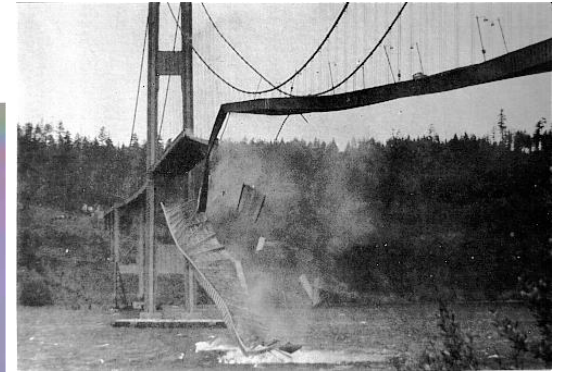
- medikal cihazlar

- (kemik, diş)

- Önleyebilir miyiz?



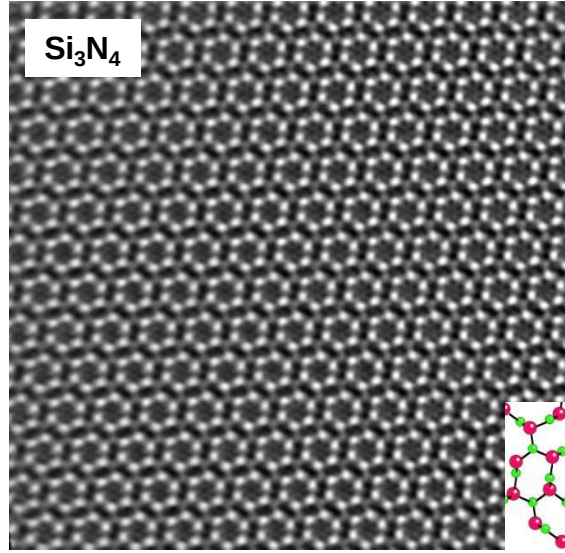
(1001crash.com)



**Tacoma Narrows
asma köprü (1940)**

**B-52 bombardıman uçağı,
Fairchild Hava Kuvvetleri
Üssü, WA(1994)**

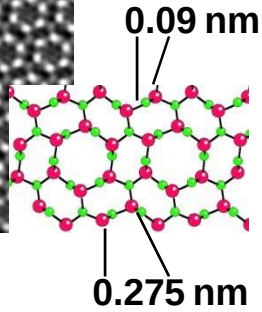
Malzeme Davranışında Boyut Ölçekleri



Si_3N_4

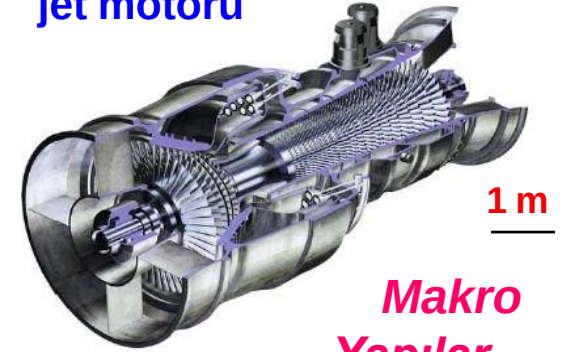
seramik kristal

0.1 nm



Atomik yapı
nanometre-altı
($<10^{-10}$ m)

jet motoru

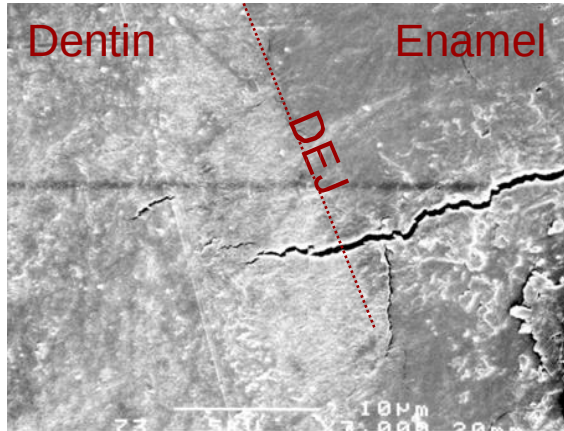


1 m

Makro Yapılar
cm to m
(10^{-2} to 1 m)

protez cihazı

10 mm



Dentin

Enamel

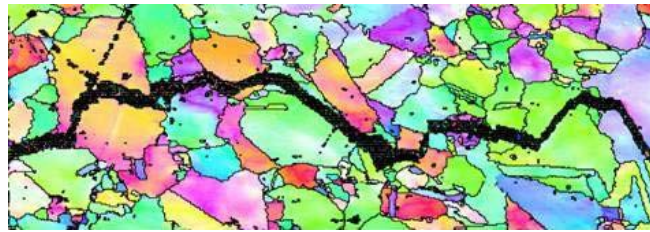
DEJ

insan dişinde çatlak

1 μm



Mikroyapılar
mikrometreler
($\sim 10^{-3}$ m)



Ni alaşımlı bıçakta yorulma çatlağı
10 μm



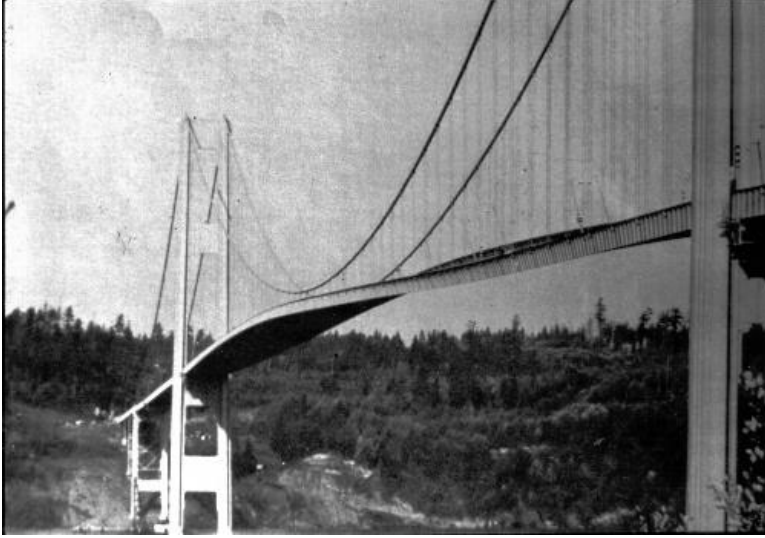
mikro makineler 10 μm

MEMS/NEMS – Mikro / Nano-
elektromekanik sistemler

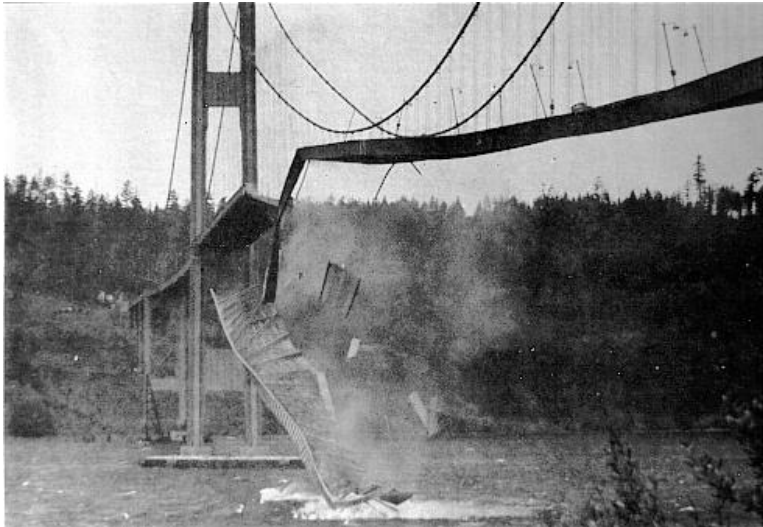
Parçalar nasıl hasara uğrar?

- plastik deformasyonla – akma
 - ör. bir ataçı bükerek
- (ani) kırılma ile
 - *örneğin bir kalem veya dişin darbeyle kırılması*
- yorulma ile (gecikmiş kırılma)
 - *Örneğin, aynı ataçı birkaç kez ileri geri bükerek kırma*
- çevre kaynaklı çatlama ile (gecikmiş kırılma)
 - *örneğin, (tuzlu) su altında ataçı ileri geri bükerek*
- korozyon ve / veya aşınma (yüzey hasarı) ile
 - *örneğin aşınarak veya sadece bir şeyi yıpratarak*

Plastik Deformasyondan Kaynaklanan Hasar



- bir köprünün plastik (kalıcı) deformasyonu
- Puget Sound yakınlarındaki Tacoma Narrows asma köprüsü, yalnızca birkaç ay trafiğe açık kaldıktan sonra, 7 Kasım 1940'ta 11: 00'de yıkıldı.
- Aşırı plastik deformasyon köprünün çöküşüne yol açtı



Ani Darbe Kırılması



SS Schenectady'nin gevrek kırılması, Ocak 1943

- Başlangıçta, Liberty gemilerinin yaklaşık% 30'u felaket şekilde hasara uğramaya başladı.
- Çatlaklar gerilme konsantrasyonları olan noktalarda (örneğin ambar ağzı) başladı ve metal düşük sıcaklıklarda çok gevrek hale geldikçe çelik gövdede hızla yayıldı

- İkinci Dünya Savaşı sırasında 500 T2 tankeri ve 2700 Liberty gemisi inşa edildi
- Kırılgan(gevrek) çelikten yapılmış tamamen kaynaklı prefabrik yapıda
- 5 günde bir gemi inşa edildi!



SS John P. Gaines ikiye ayrıldı (1943'te)

Ani Darbe Kırılması



- Paris'ten New York'a Air France charter uçuşu - 25 Temmuz 2000
- Concorde, kalkıştan kısa bir süre sonra havaalanına 8 km uzaklıkta bir otelin üzerine düştü ve 109 ölümlle sonuçlandı.
- Kazanın nedeni, pistte bir lastiğin patlamasına neden olan metal bir parçaya atfedildi.
- Parçalanan lastik kalıntılarının, yakıt deposu yüzeyine çarpması (darbe) sonucu onu deldiği, motor gücü kaybına ve ardından kırılmaya neden oldu
- yabancı cisim hasarına (FOD) bir örnek

Yorulma & Gecikmeli Kırılma



- İlk ticari jet uçağı olan De Havilland Comet, 1952-54 döneminde beş büyük kaza geçirdi
- kare şekilli pencerelerin köşelerinden başlayan yorulma çatlaklarından kaynaklanan, kabin basınçlandırma sisteminin çökmesi nedeniyle



- Aloha Airlines Boeing 737, Hilo'dan Honolulu'ya giden yolda (Nisan 1998) patlayıcı basınç düşmeye maruz kalıyor - 1 ölüm
- korozyon ve küçük çatlaklar nedeniyle gövdenin zayıflamasından kaynaklandı.



McDonnell Douglas DC-10 Kazası



19 Temmuz 1989, Sioux City, Iowa

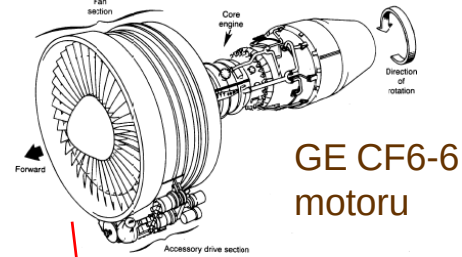


(1001crash.com)

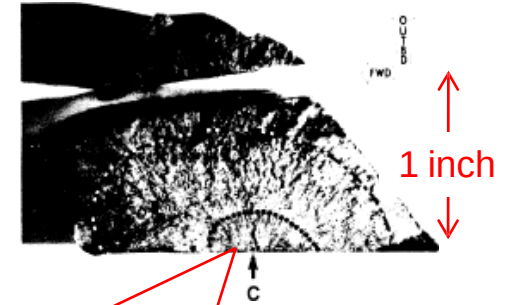
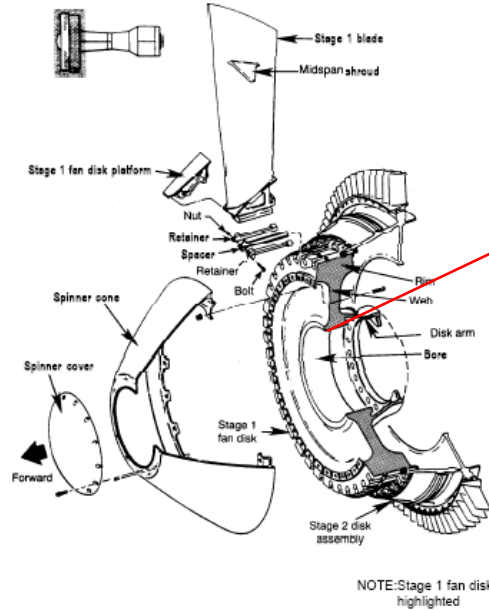
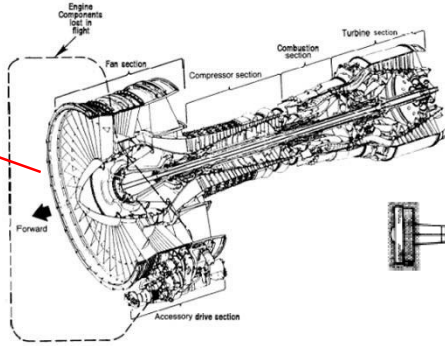
- McDonnell – Douglas DC-10 uçağı, birçok önemli kaza geçiren üç motorlu orta menzilli geniş gövdeli bir uçaktır.
- 3 Mart 1974 (Paris) - Türk Hava Yolları 981 sefer sayılı uçuşu, arka kargo kapısı patladı - 333 yolcu ve 12 mürettebat kaybedildi.
- 25 Mayıs 1979 (Chicago) - American Airlines 191 kalkışta soldaki motorunu kaybetti - 258 yolcu ve 13 mürettebatın tamamı kaybedildi.
- 19 Temmuz 1989 (Sioux City) - United Airlines 232 kaza yaparak 258 yolcudan 110'u öldü.
 - Kuyruğa takılı motordaki fan diskindeki yorulma çatlakları diski kırdı; ortaya çıkan parçalar, üç hidrolik kontrol sistemini de parçaladı. Uçağı yönlendirmenin tek yolu, kalan iki kanat motorunun itme kuvvetini ayarlamaktı.
 - Bununla birlikte, inişte sağ kanadın ucu yere temas etti ve uçak yana kaydı, takla attı ve tutuştu.

United Airlines 232 Sioux City Iowa Kazası

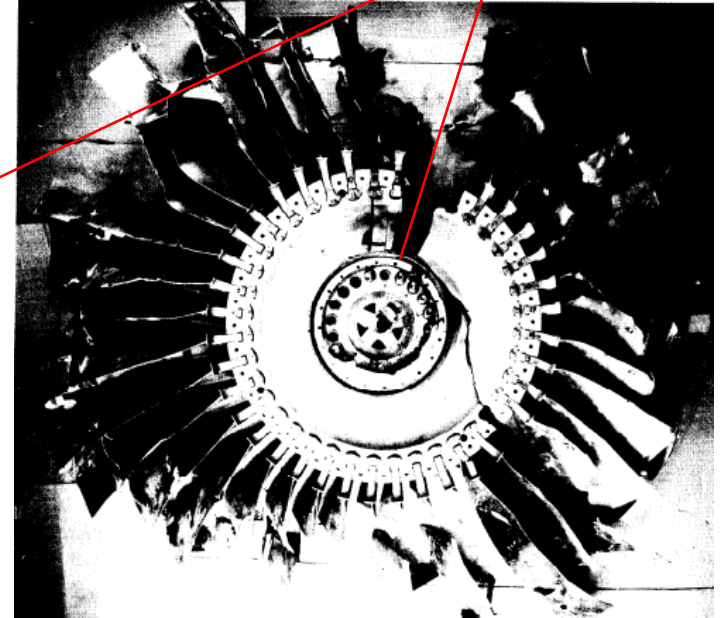
- Ti alaşımı (Ti-6Al-4V) fan disk, 0,015-0,055 inçten başlayan 0,6 inçlik yorulma çatlakından dolayı kırıldı
 - döküm metalde inklüzyondan kaynaklanan delikteki çatlak yıllarca büyüdü ve yaklaşık 6 denetim tarafından kaçırıldı



fan disk



- Kopan parçalar tüm hidrolik kontrol borularını kopardı
- kırılan fan disk parçaları birkaç ay bulunamadı



yeniden toplanmış fan disk

19 Temmuz 1989, Sioux City, Iowa

Aşınma nedeniyle oluşan hasarlar

- Metal metale yuvarlanma temasından kaynaklanan yüzey aşınmasının raydan çıkmaya neden olacak kadar hasar verebileceği demiryolu raylarında önemli bir aşınma sorunu vardır.



1982'de İngiltere, Lincolnshire'da 100 tonluk bir tank vagonunun ve trenin geri kalanının raydan çıkarması

Demiryolunun çökmesi, 1981'de İngiltere'de bir lokomotifin raydan çıkmasına neden oldu



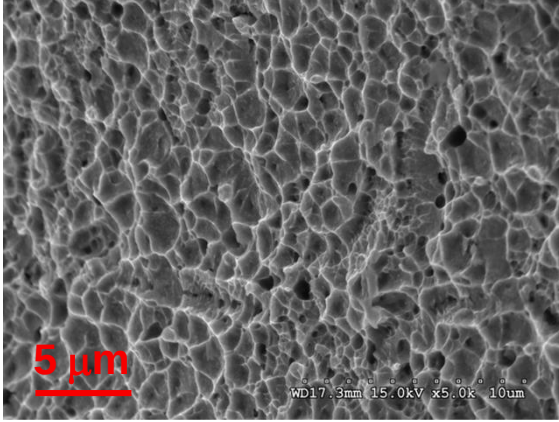
çatlak başlangıcı

Yüzey aşınması
(delaminasyon)
rayın felaketle
sonuçlanabilecek
yorulma
kırılmasına neden
olabilir

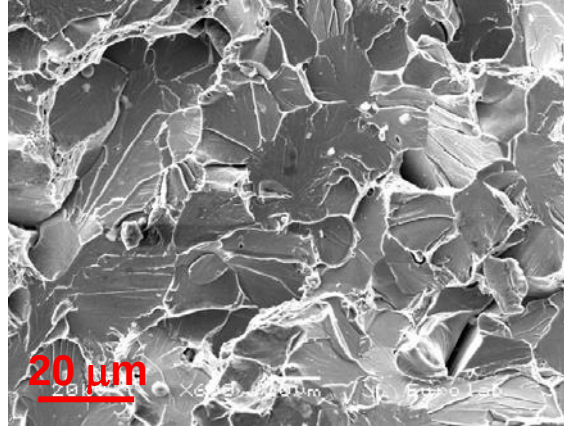


Fraktografi

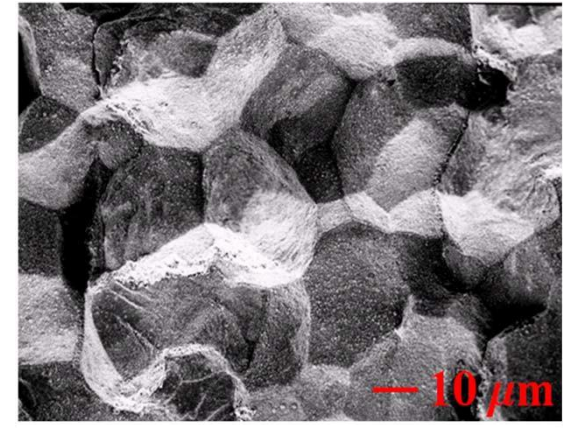
Sünek kırılma



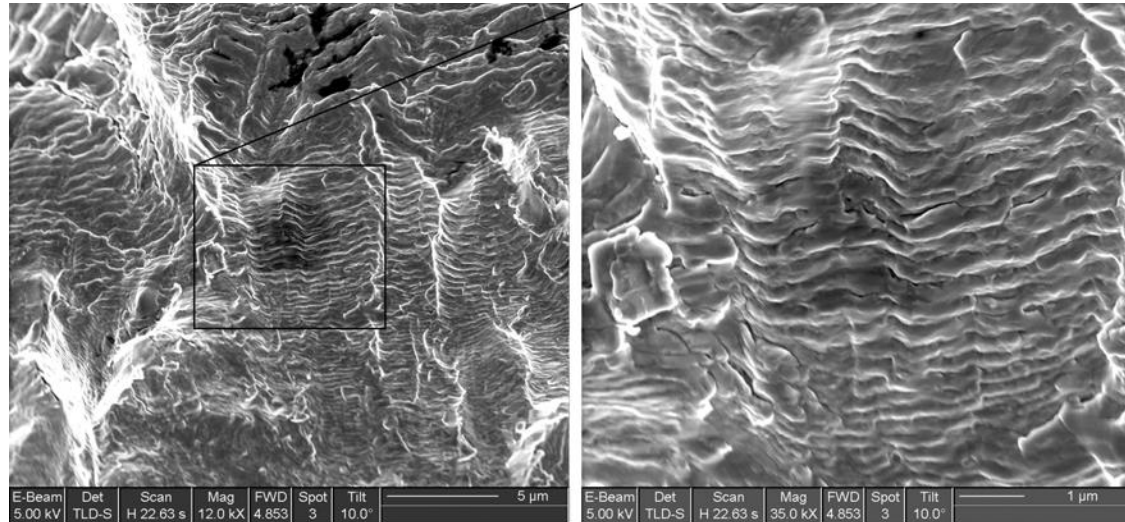
Gevrek kırılma



Sünme kırılması

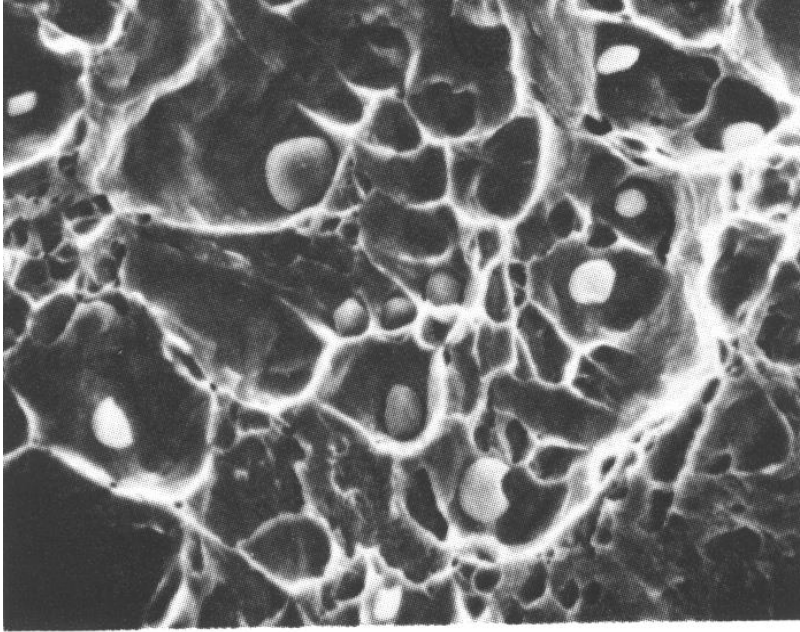


Yorulma kırılması



Sünek kırılma

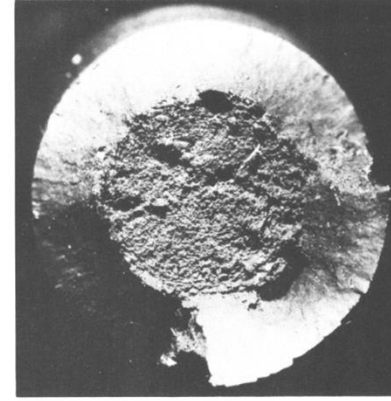
mikroboşluk birleşmesi



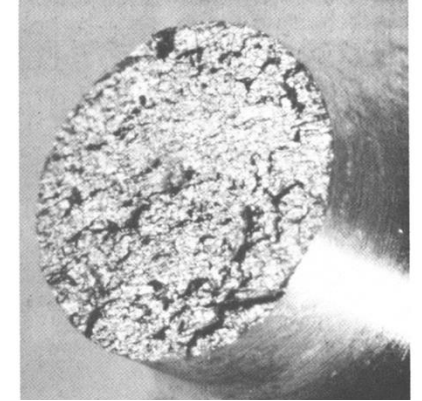
(b)

2 μ m

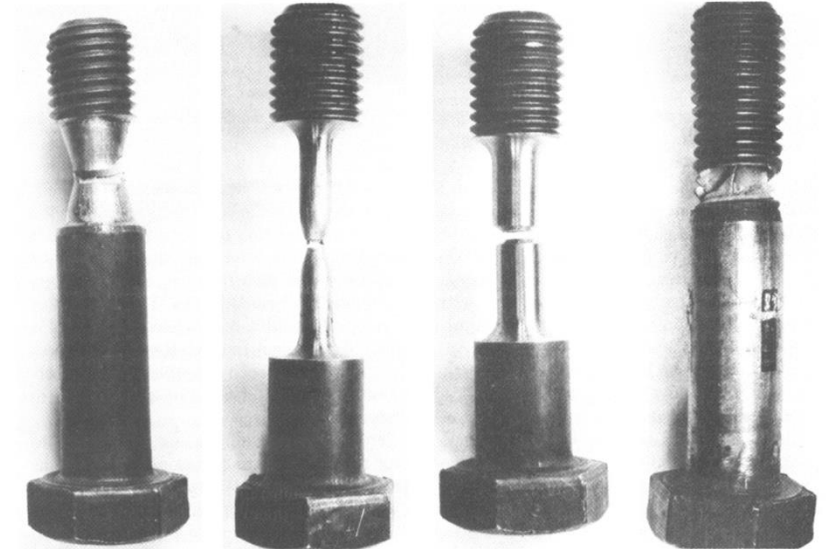
- sünek kırılma, yüksek enerji gerektirdiği için "istenen/tercih edilen" kırılma şeklidir.
- Metalde sert ikinci faz parçacıklarının, örneğin kalıntılar, çökeltiler etrafında oluşan küçük boşlukların birleşmesinden kaynaklanır



"Çanak ve koni"
sünek kırılma

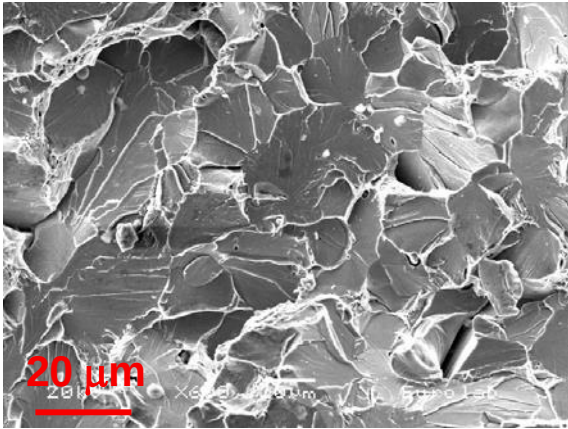
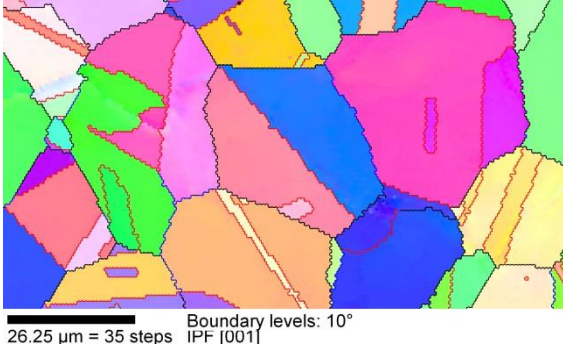


"Düz" gevrek kırılma
Fig. 25 macrograph showing a granular brittle fracture in a cast iron tensile bar. Note the large cleavage facets. 2 $\times$



(ASM Metals Handbook, vol. 12, 1987)

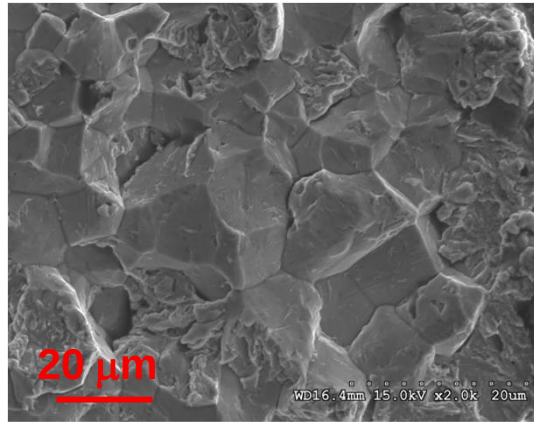
Gevrek Kırılma



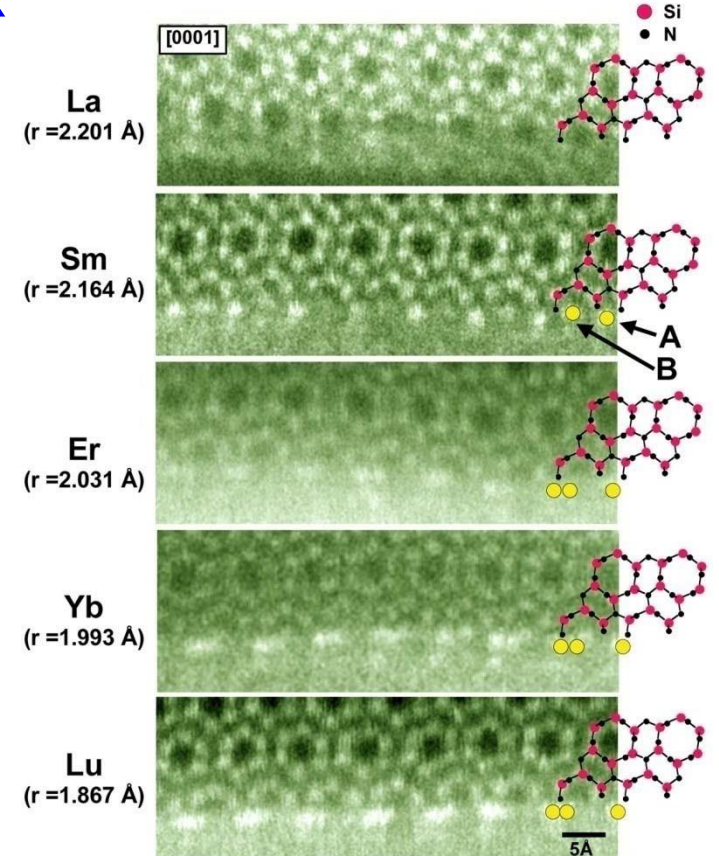
Taneleriçi klivaj

- İmpürite element atomlarının, örneğin S, P, O, H'nin tane sınırlarına çökmesi bu tür gevrekleşmeye neden olabilir.

- çoğu malzeme, birçok kristalden (tanelerden) oluşan çokkristalli bir yapıdır.
- Gevrek kırılma genellikle taneler içersinden yayılan çatlak ile **taneleriçi** (klivaj) karakterdedir
- tane sınırları "gevrek" olduğunda, çatlak **tanelerarası** ilerler



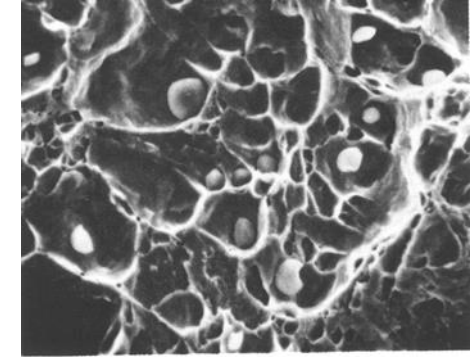
tanelerarası kırılma



Sünek-Gevrek Geçiş Olayı

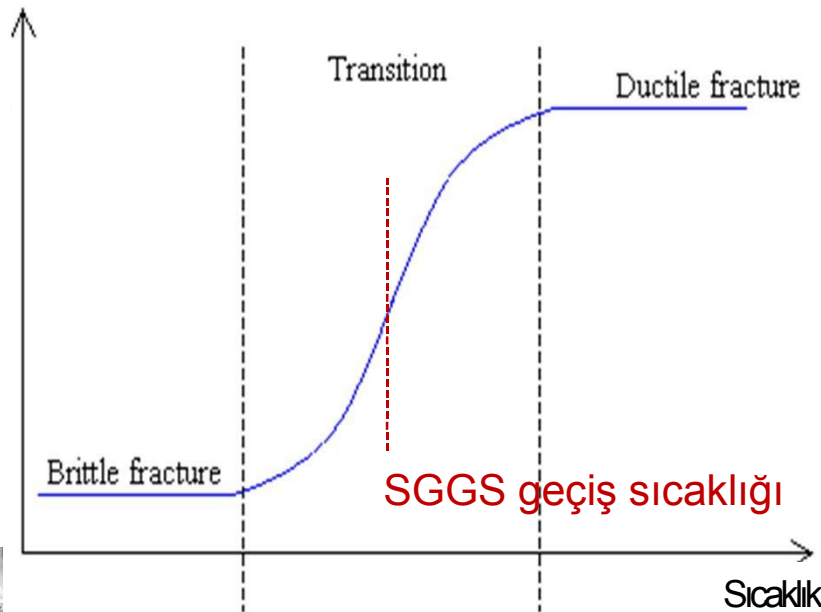
Çelikler (ve kauçuk) gibi birçok malzeme süneklikten gevrekliğe geçiş (camsı geçiş) gösterir.

Mikroboşluk birleşme

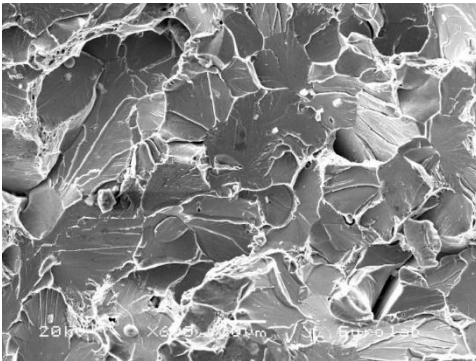


2 μm

Tokluk
(kırılma
enerjisi)



Taneleriçi ayrılma(klivaj)

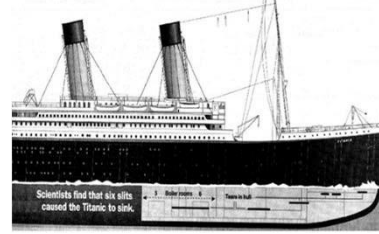


20 μm

- Kauçuk, altında cam gibi kırılğan olduğu ve üzerinde kauçuk gibi davrandığı bir camsı geçiş sıcaklığı gösterir.
- Benzer şekilde, yumuşak çelik gibi birçok metal sünek-gevrek geçiş sıcaklığı gösterir. Bu sıcaklığın üzerinde, sünektir, halbuki altlarında kırılğandır ve tipik olarak daha düşük bir tokluk derecesine sahiptirler (kırılma için gerekli enerji)

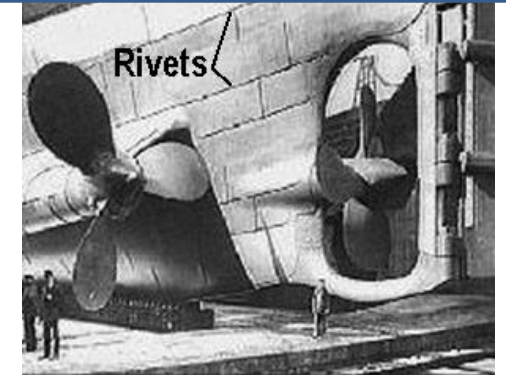
RMS Titanic'in batması

- 14 Nisan 1912'de RMS Titanic, Kuzey Atlantik'te bir buzdağına çarptı ve 2 saatten biraz fazla bir sürede battı
- Titanic'in 2223 yolcunun 1500'ü kaybedildi.
- Gemi neden bu kadar hızlı battı?



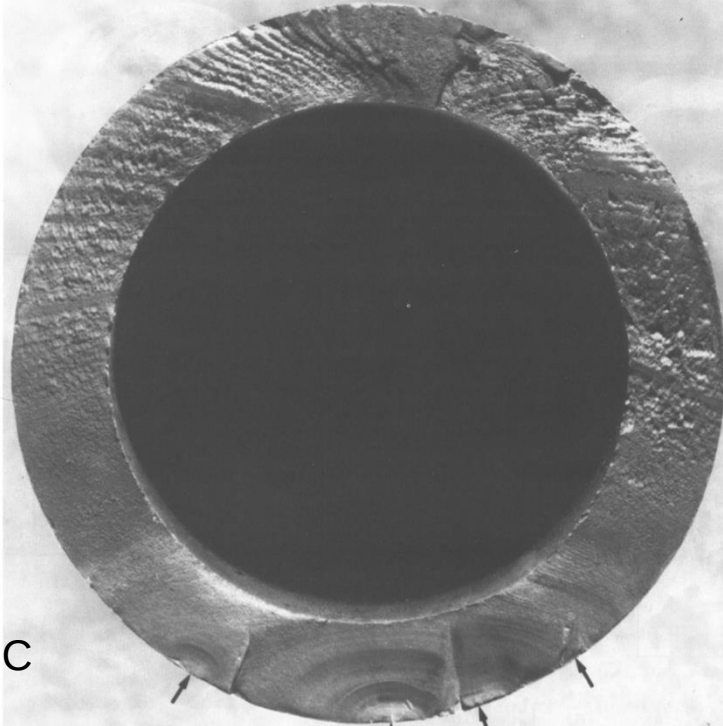
1. Zayıf çelik: çelik, yüksek O & S , düşük Mn içeriğiyle çok kırılgandı

2. Zayıf perçinler: aşırı cüruf içeren 3 milyon çok kırılgan dövme demir perçinle bir arada tutulan gövde



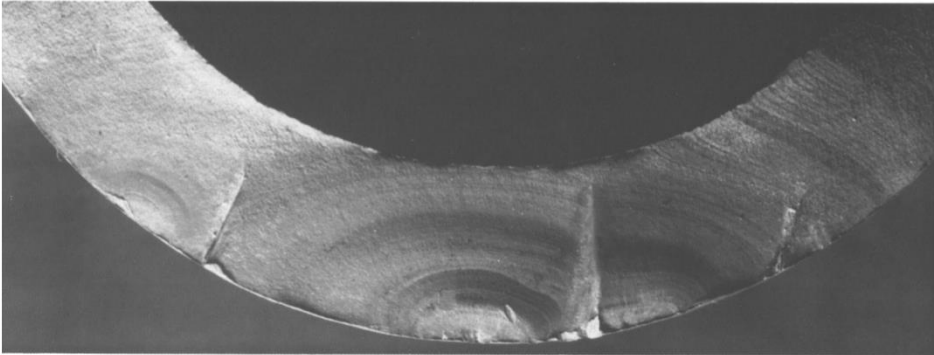
Yorulma Kırılması

- Tüm hasarların% 80'inden fazlası yorulmadan, yani **çevrimsel (değişken) ve tekrarlı** yükler altında uzun süreli hasarlanmadan kaynaklanır
- çıplak gözle, yorulma kırıkları düz, "yarım ay", yayılan bantlara sahip bölgeler ile karakterizedir.
- mikroskopik olarak, **striasyonlar** adı verilen daha küçük bantlar sıklıkla görülebilir - bunlar her döngüde çatlakın ilerlemesini gösterir.

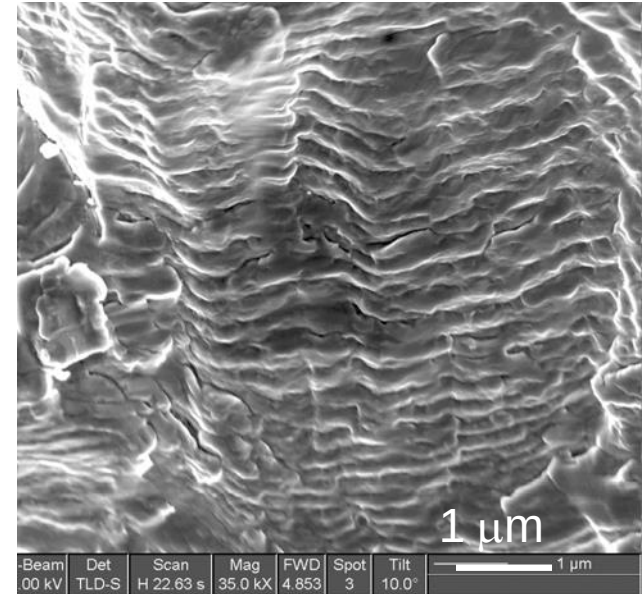


orta-C
çelik
gövde

çatlak başlangıç noktaları



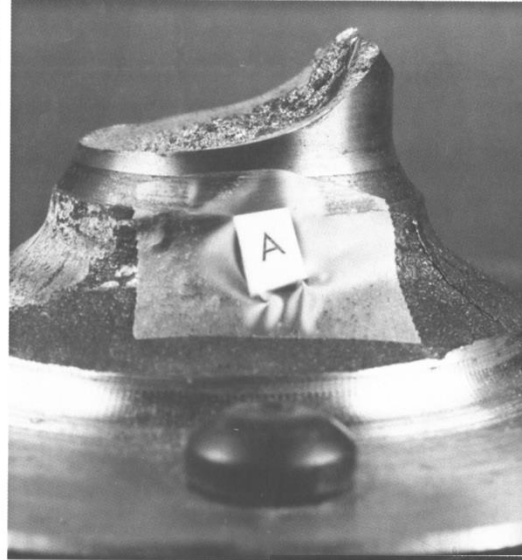
(after D. J. Wulpi, ASM Metals Handbook, vol. 12, 1987)



Beam	Det	Scan	Mag	FWD	Spot	Tilt	
00 kV	TLD-S	H 22.63 s	35.0 kX	4.853	3	10.0°	1 µm

Yorulma vs Ani Kırılma

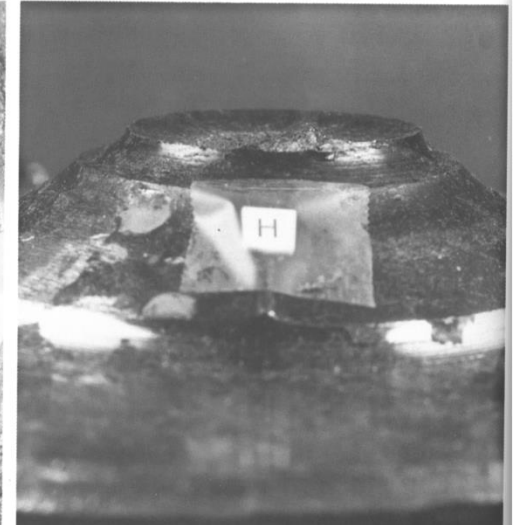
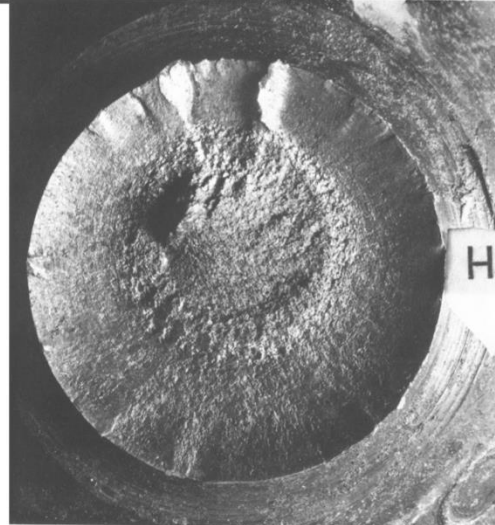
Eksenel şaftın kırılması (örneğin, bir arabanın direksiyon kolunu veya aksı)



orta karbonlu çelik
(AISI 1050) otomobil
aksı

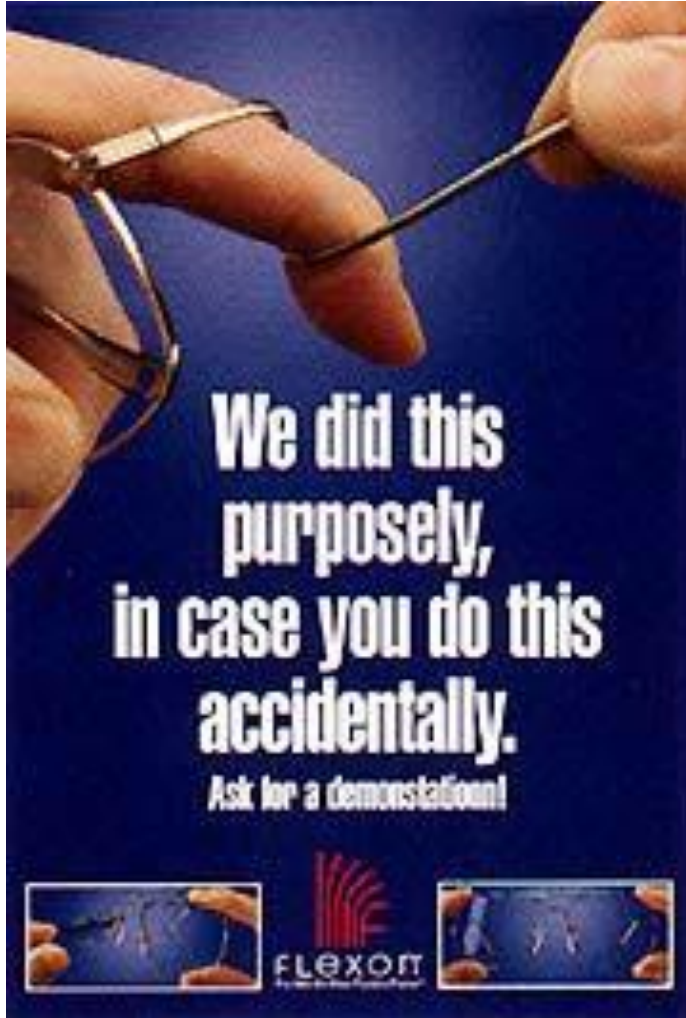
Yorulma (dönel) hasarı

- Eğilme (aşırı yük) kırılması
- bir yorulma hasarı, belirli bir süre boyunca meydana gelen ve muhtemelen kazaya neden olacak bir süreç anlamına gelir
- bir aşırı yük kırılması, muhtemelen kazanın neden olduğu anlık bir olay olacaktır.



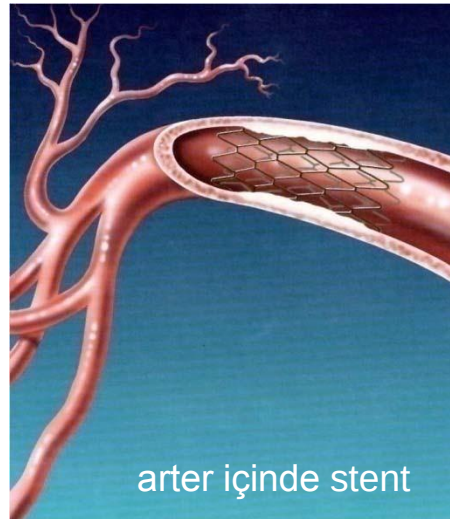
(after Z. Flanders, ASM Metals Handbook, vol. 12, 1987)

Plastik Deformasyondan Kaynaklanan Hasar



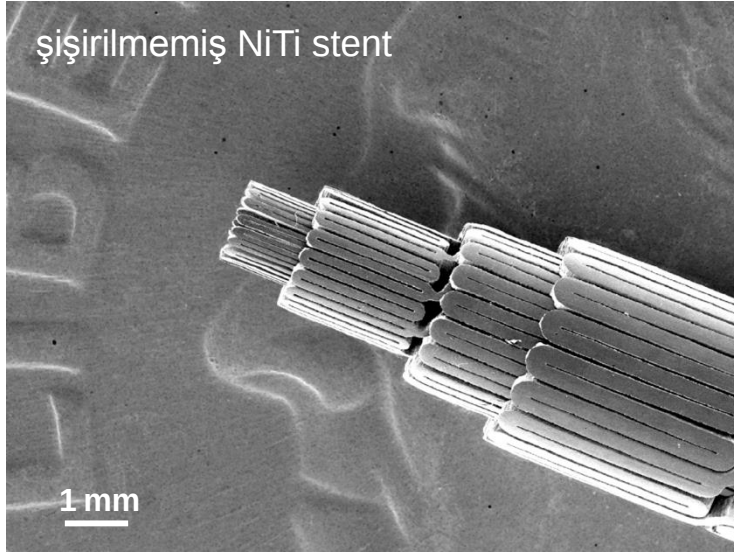
Nitinol 50:50 nikel-titanyum alaşıımıdır

- çoğu malzeme sadece küçük bir miktar deforme olduğunda (örneğin uzunlukta% 1'den daha az) tersine (yani elastik olarak) deforme olur.
- bundan sonra deformasyon kalıcıdır (plastik deformasyon).
- ancak şekil hafızalı / süperelastik metal denilen çok az sayıda metal, örneğin Nitinol, çok daha esnektir



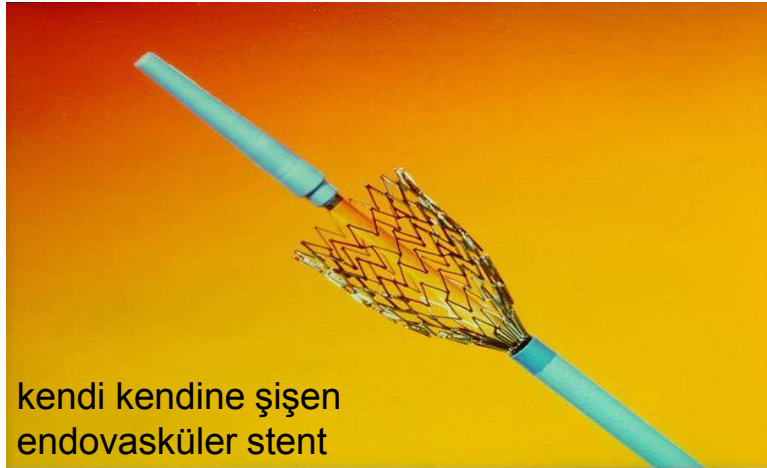
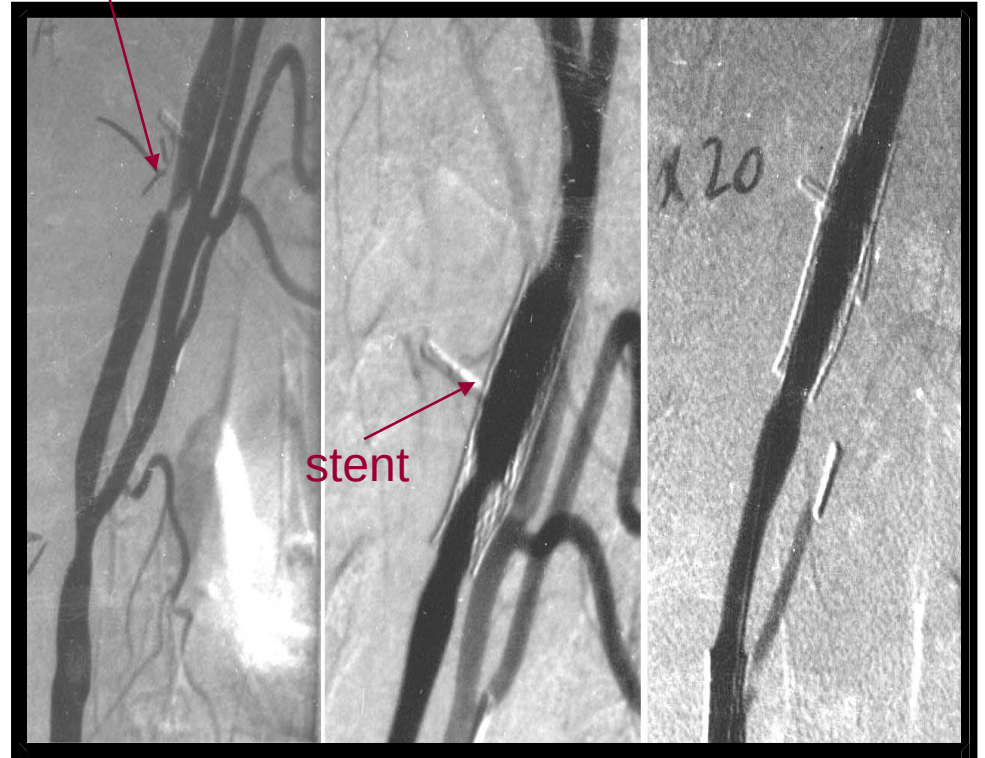
Nitinol, gözlük çerçeveleri, diş matkapları ve endovasküler stentler için kullanılır

Atardamarların Stentlenmesi



- Stentler şunlarla üretilir
 - Paslanmaz çelik
 - kobalt-krom alaşımı
 - Nitinol (Ni-Ti alaşımı)

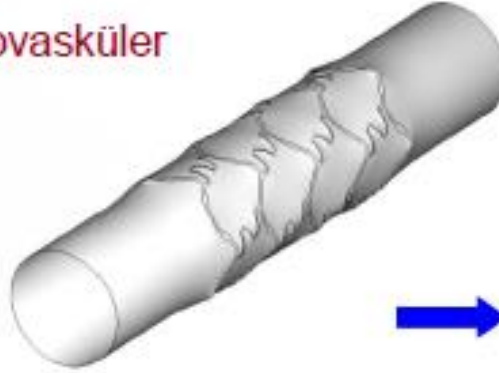
tıkanma



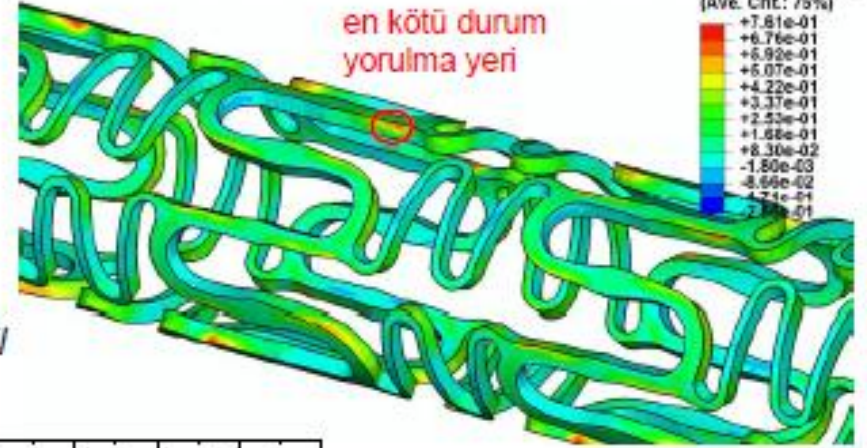
made by NDC, a J&J Company, Fremont, CA

Stentler için Gerilme Ömrü Tahminleri

Cordis
kardiyovasküler
stent

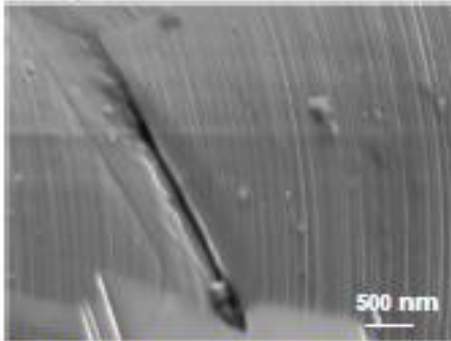


radyal tekrarlı yükleme

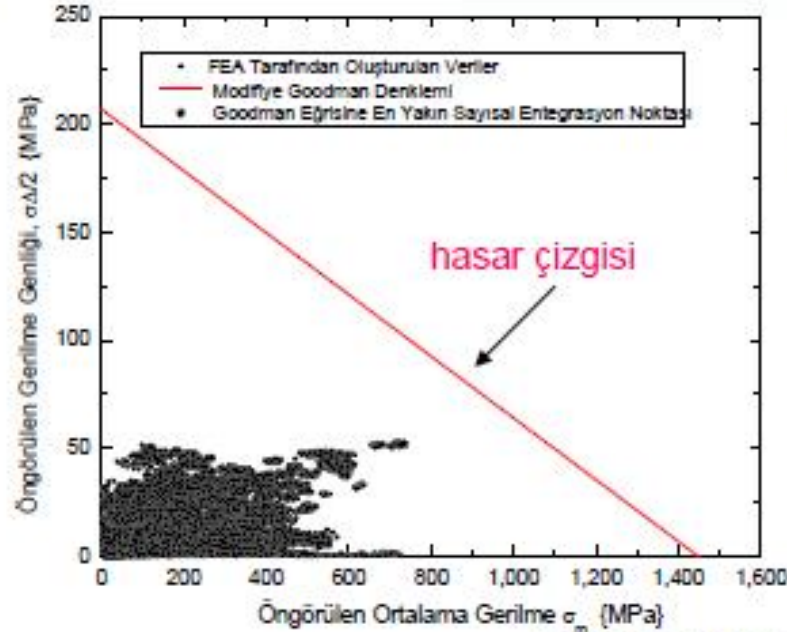


Sistolik ve diyastolik yükleri temsil
eden iç basınçlar

Co-Cr alloy



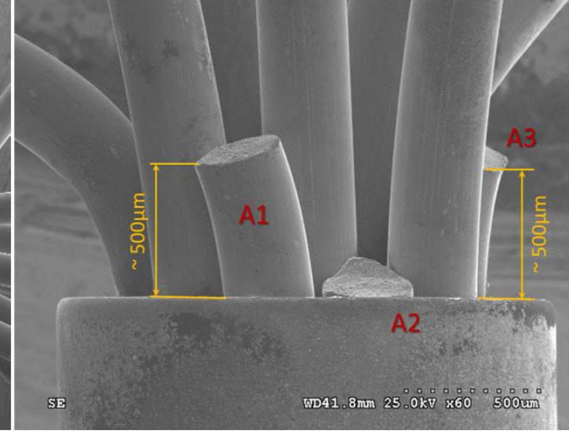
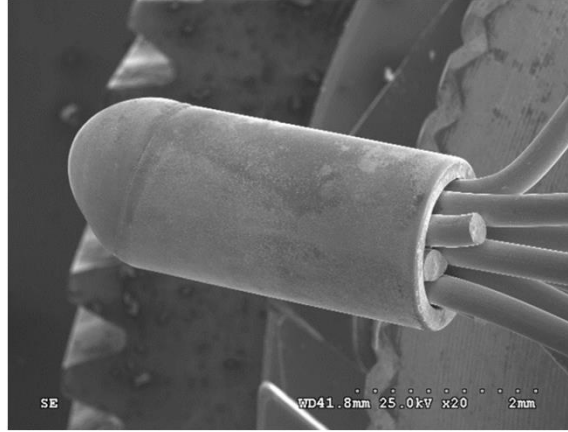
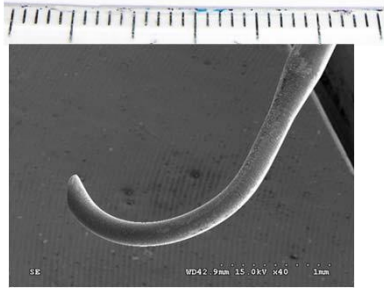
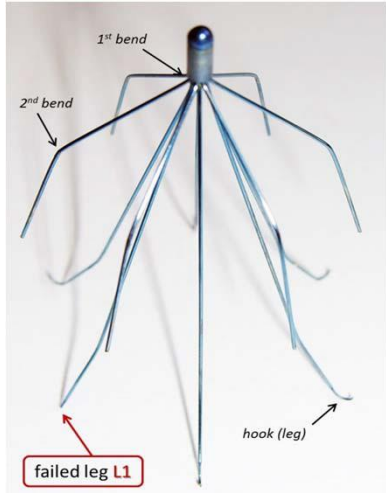
ultrasonik temizlik sırasında
oluşan küçük çatlaklar



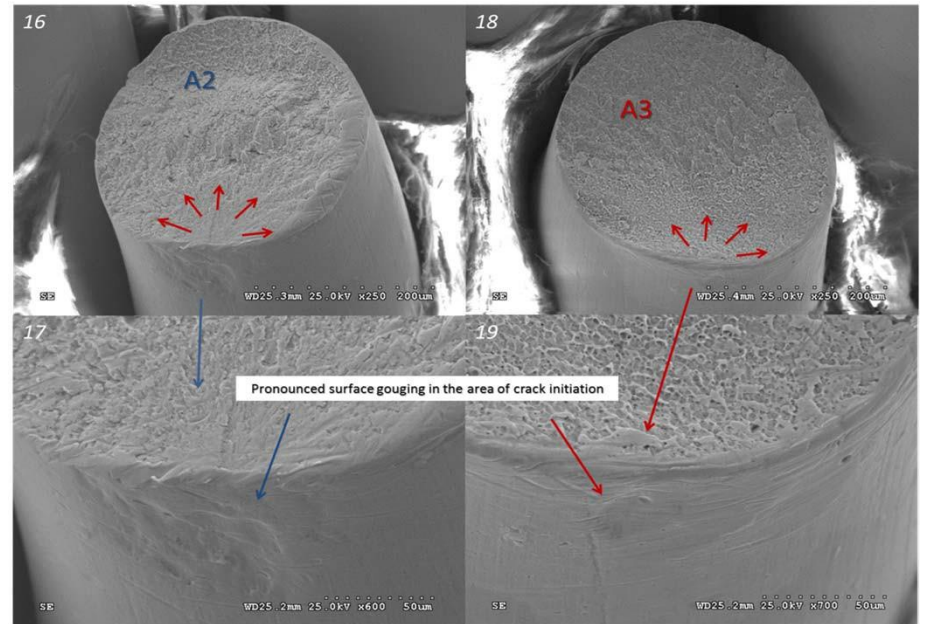
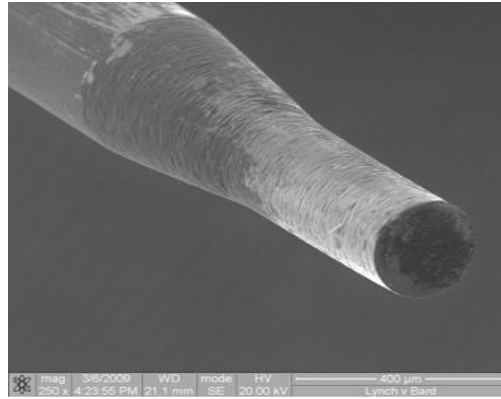
atardamar içinde stent

Vena Cava Filtrelerinin Hasarı

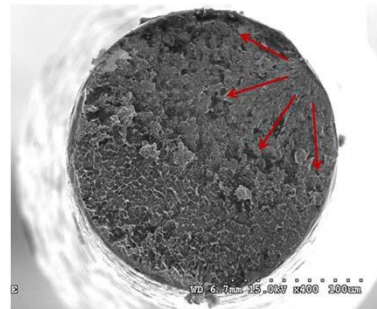
Bard vena kava filtresi



Süper elastik Nitinol'den yapılmış 6 kollu (kan pıhtılarını durdurmak için daha kısa teller) ve 6 ayaklı (çapa kancalı daha uzun teller) filtreler



Bacaklardaki kancalar, taşlama izlerinde başlayan yorulma çatlakları nedeniyle erken hasara uğrar; bu, filtrenin hareket etmesine ve eğilmesine ve daha fazla kırılmaya neden olur



Genellikle yüzey izlerinden bükülme ile başlayan yorulma çatlakları, kolları erken kırar