

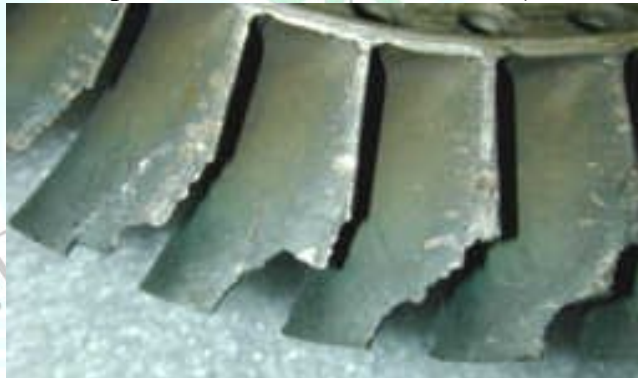
KIRILMANIN TEMEL ESASLARI



GİRİŞ

Başlıca üretim yöntemlerindeki hatalar:

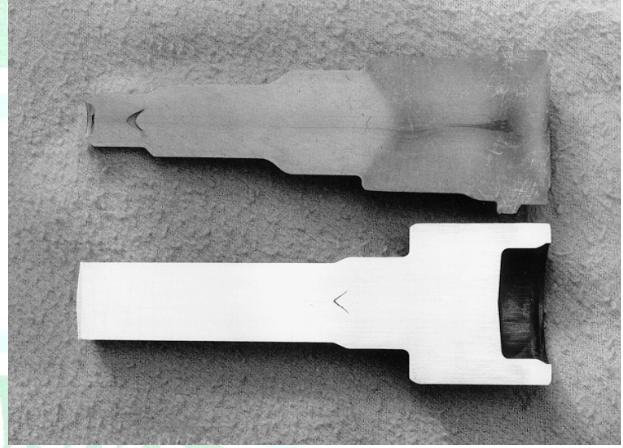
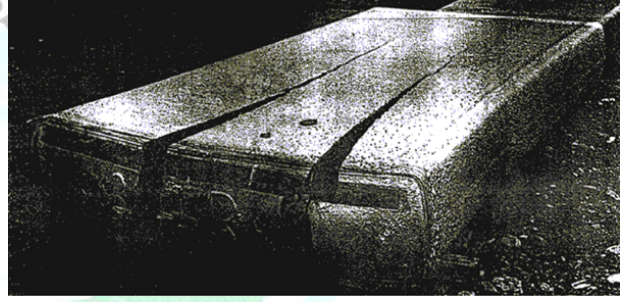
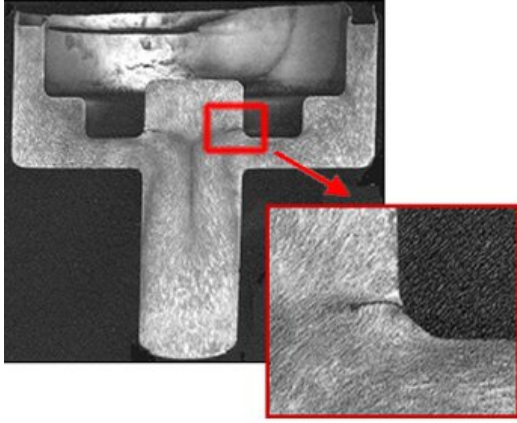
- Döküm (Kum döküm, kokil döküm, pres döküm, hassas döküm vs.) hataları



KIRILMA MEKANİĞİ

Prof.Dr. İrfan AY

- İnküzyonlar (Inclusions)
- Porosite (Porosity)
- Soğuk ve Sıcak Çatlama (Cold and Hot Cracking)
- Yüzey Düzensizlikleri (Surface irregularities)
- Çarpılma (Distortion)
- Yanlış Bileşim (Improper composition)
- Plastik Şekil Verme (Haddeme, dövme, ekstrüzyon, tel çekme, derin çekme vs.) hataları



- Kaynak (Oksiasetileni ark, gaz altı kaynakları vs.) hataları



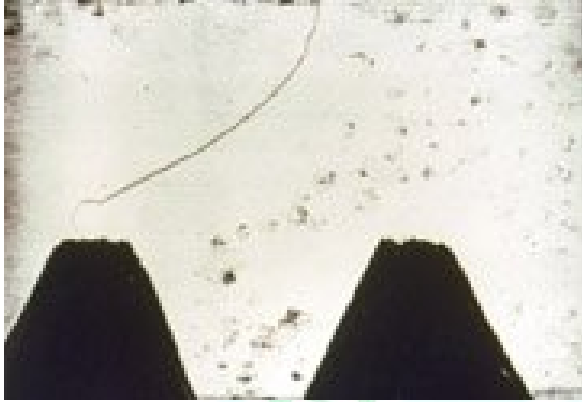
1992



- Perçinleme-Cıvata-Somunla Bileştirme (Gerilmeler ve diğer sebeplerle) hataları



- Isıl İşlem (Gerilmeler ve diğer sebeplerle) hataları



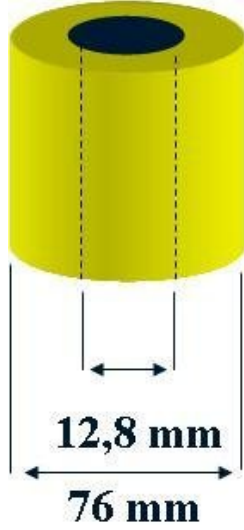
Yukarıdaki tüm imalat yöntemleri sonucu çatlamlar olabilir. Bunun için parçalar kullanılmadan önce mutlaka tahribatsız muayeneden geçirilmelidir. Bu hatalar dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır.

Bir örnekle kırılma konusuna girelim.

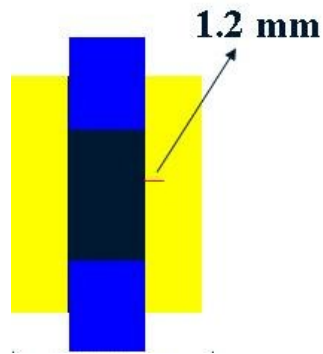
ÖRNEK:

Orta karbonlu (%C 0,25-0,55) Krom çeliğinden yapılmış bir kalıp metal tozlarının preslenmesinde kullanılacaktır. Kalıp malzemesinin özellikleri;

- Kalıba su verilmiş, sertleştirilmiş ardından temperleme (menevişleme) işlemi yapılmıştır.
- Meneviş sonucu HB sertliği 612 kg/mm² olarak ölçülmüştür.



Kalıp iç çapı $d_i=12,8$ mm
Kalıp dış çapı $d_o=76$ mm
Kırılma tokluğu $K_c=22$ MN/m^{3/2}



Kırık yüzeyi mikroskopla incelendiğinde (1.2 mm) çatlak boyu olan bir hata belirlenmiştir.

Metal tozlarının preslenmesi sırasında pres basıncı 350 MN/m² 'ye ulaşıncaya kalıp

kırılmıştır.

SORU: Kırılmanın nedenleri neler olabilir? Çözüm önerileri sununuz?

CEVAP:

1.Klasik Yönteme Göre Tasarım (σ Akma Kriterine Göre):

$\sigma_{uyg} < \sigma_{ak}$ ise malzeme elastik sınırlar içerisinde güvenle kullanılabilir.

$$\sigma_{uyg} = \sigma_{ak} / N = \sigma_{em} = P/A$$

N:emniyet katsayısı

- Soruda (σ_{ak}) verilmemiştir.HB (Brinell sertliği)'den giderek kitaplardaki formülden :

$$\sigma_{ak} = HB / 3 = 612 / 3 = 204 \text{ kg/mm}^2 \text{ bulunur. Buradan}$$

$$\sigma_{ak} = 2040 / 10^{-6} \text{ (N/m}^2\text{)} = 2040 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 2040 \text{ MPa olur.}$$

$\sigma_{em} = \sigma_{ak} / N = 2040 / 3 = 680 \text{ MN/m}^2 = 680 \text{ MPa}$ olur.
(N = 3 alınmıştır.)

$\sigma_{uyg} \leq \sigma_{em}$ olursa güvenle kullanılır.

- Kalın Cidarlı Silindirler İçin :

$$\sigma_{teğ} = \frac{P \cdot \left(\frac{1}{r_i^2} + \frac{1}{r_0^2} \right)}{\left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_0^2} \right)} = \frac{P \cdot \left(\frac{r_0^2 + r_i^2}{r_i^2 \cdot r_0^2} \right)}{\left(\frac{r_0^2 - r_i^2}{r_i^2 \cdot r_0^2} \right)} = P \cdot \frac{r_0^2 + r_i^2}{r_i^2 \cdot r_0^2} \cdot \frac{r_i^2 \cdot r_0^2}{r_0^2 - r_i^2}$$
$$\sigma_{teğ} = P \cdot \frac{r_0^2 + r_i^2}{r_0^2 - r_i^2} \text{ olur .}$$

$\sigma_{uyg} = \sigma_{teğ}$ (Silindirik parçalarda iç basınç nedeniyle doğan gerilme)

$$\sigma_{teğ} = P \cdot \frac{38^2 + 6,4^2}{38^2 - 6,4^2} = 1,06 \cdot P$$

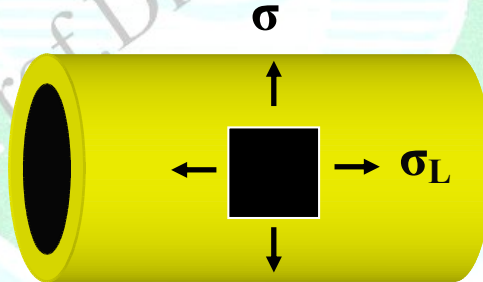
- İnce Cidarlı Silindirler İçin:

$$\sigma_{teğ} = P \cdot \frac{D}{2t} \text{ şeklindedir. } D = 2R \text{ alınırsa } \sigma_{teğ} = P \cdot \frac{2R}{2t} = \frac{P \cdot R}{t}$$

$$\sigma_L = \frac{P \cdot D}{4t} \text{ Uzunlamasına doğan gerilme}$$

$$\sigma_L = \frac{P \cdot R}{2t} \text{ } D=2R \text{ alınırsa olur. Sonuçta}$$

$\frac{\sigma_{teğ}}{\sigma_L} = 2$ olur. Buradan $\sigma_{teğ} = 2 \cdot \sigma_L$ bulunur. Bu nedenle borularda patlama sırasında çatlak açılmaları boru uzunluğu boyunca gelişir.



$\sigma_{uyg} \leq \sigma_{teğ} = 680 \text{ MN/m}^2$ olmalı idi.
 $\sigma_{uyg} \leq 1.06 \times P = 680$ olduğundan
 $P = 680 / 1.06 = 650 \text{ MPa}$ iç basınç olur.

Pres basıncı 350 MPa iken kalıp kırılmışsa 650 MPa'lık iç basınca hiç dayanamaz, kırılır.

2.Kırılma Mekaniğine Göre Tasarım:

Burada kullanacağımız formül;

$$Kc = \sigma_{uyg} \cdot \sqrt{\pi \cdot c}$$

$$22 \text{ MN} / \text{m}^{3/2} = 1,06 \cdot P \cdot \sqrt{\pi \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}} \text{ buradan}$$
$$P = 338 \text{ MN} / \text{m}^2 \text{ Buradan iç basınç bulunur.}$$

Burada;

Kc = kritik kırılma tokluğu
 σ_{uyg} = uygulanan gerilme
c = çatlak boyu

Kalıbın 350 MPa'da kırıldığı söylenmişti. Demek ki; kırılma mekaniğine göre tasarım yapılırsa, **DAHA GÜVENİLİR** sonuçlara ulaşılabacaktır.

Bu Kalıbın Kırılma Nedenleri Ve Önlemler:

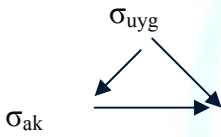
1. Uygulanan ısıl işlem uygun değildir. Çünkü, ısıl işlem sonucu Kc = 22 MN/m^{3/2} kırılma tokluğu değeri çok düşük bir değerdir.
2. Malzeme içerisinde başka hatalar olabilir.

Öneriler:

- a. Meneviş sıcaklığı veya süresi arttırılabilir. O zaman da sertlik ve mukavemet düşer. Fakat gevreklik azalır.
- b. Kırılma tokluğu (Kc) daha büyük olan malzeme (çelik) seçilebilir.
(Örneğin, $\sigma_{ak} = 1500 \text{ MN/m}^2$ olan basınçlı kap çeliği önerilebilir.)

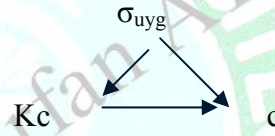
Başlangıçta verdiğimiz örnek, Klasik yöntemle Kırılma mekaniği arasındaki farkı göstermekte olduğundan önemlidir. Bu örnekten açıkça görülmektedir ki;

Klasik yöntemde:

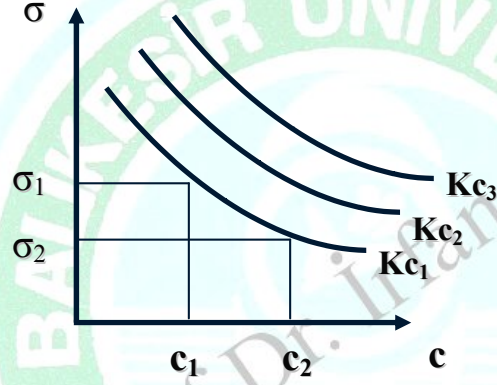


$\sigma_{uyg} = \sigma_{ak} / N = P / A = \sigma_{em}$
P ve A belli ise σ ,
 σ ve A belli ise P,
 σ ve P belli ise A hesaplanır.

Kırılma Mekaniğinde ise:



σ_{uyg} ve c belli ise Kc,
Kc ve c belli ise σ_{uyg} ,
Kc ve σ_{uyg} belli ise c hesaplanır.



Kırılma mekaniği için ;
Tokluğu (K_{c1}) olan malzeme (σ_1) gerilmesi altında izin verilebilecek max. çatlak boyu (c_1) kadardır. Oysa aynı malzemede max. çatlak boyu (c_2)'ye müsaade edilebilmesi için gerilmenin, daha düşük olan (σ_2) seviyelerinde olması gerekir.

KLASİK TASARIM İLE KIRILMA MEKANİĞİ TASARIMININ KARŞILAŞTIRILMASI

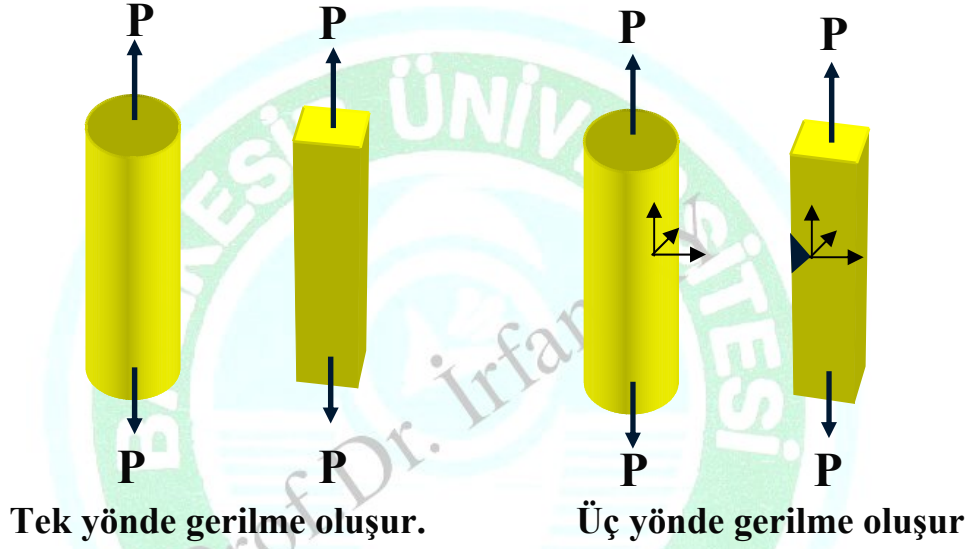
1. Klasik tasarım, malzemenin elastik bölgede hiç kırılmadan güvenle kullanılabilceğini esas alır. Oysa malzeme (σ_{ak})'nın altındaki gerilmelerde kırılır.

- Yön değiştiren yüklerde elastik bölgede kırılır.
- Sürünme sırasında σ_{ak} 'nın altında kırılır.
- Darbeli yükler altında σ_{ak} 'nın altında kırılır.
- Çok büyük çatlak içerirse σ_{ak} 'nın altında kırılır.

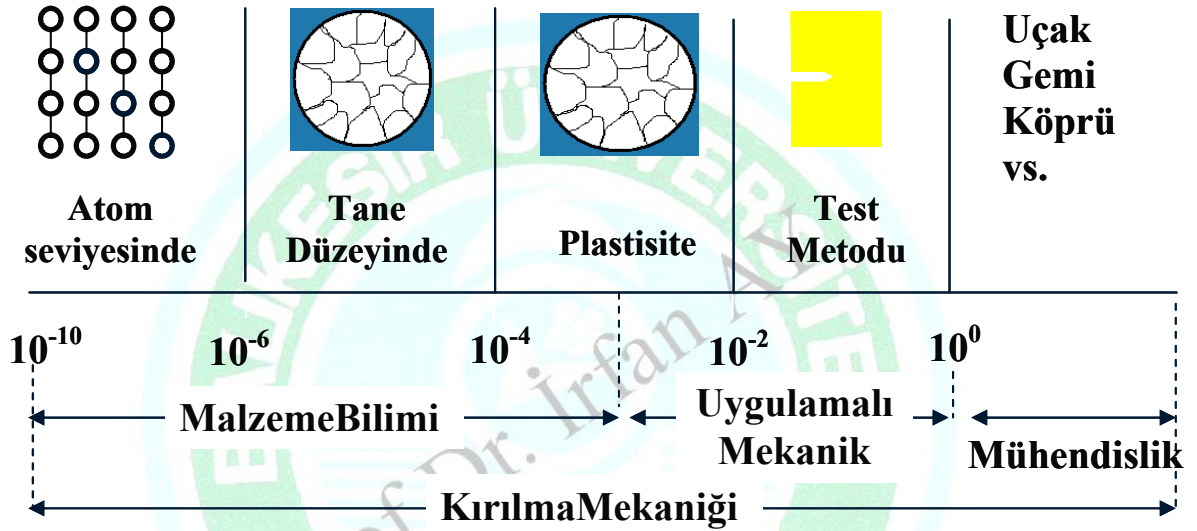
2. Klasik yöntem, malzemenin sünek - gevrek davranış sergileyeceğini dikkate almaz.

Oysa ;

- Oda sıcaklığında sünek olan malzeme, düşük sıcaklıklarda gevrek davranış gösterir
- Statik yüklemde sünek olan malzeme darbeli yüklemelerde gevrek davranış gösterir.
- Çentiksiz malzeme sünek davranış gösterirken, çentikli malzeme gevrek davranış gösterir.

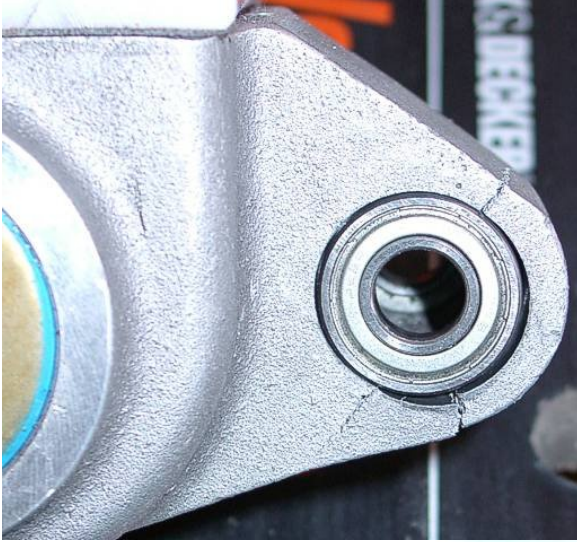


3. Klasik tasarım malzeme içindeki çatlakın varlığını dikkate almaz. Sadece emniyet katsayısını büyük almak suretiyle kırılmayı önleyebileceğini kabul eder.
4. Klasik yöntemde 'KIRILMA TOKLUĞU' diye bir terim yoktur. Oysa kırılma mekaniğine göre kırılma ; önce atom düzeyinde başlar, tane ile ilerler ve neticede kırılma ile son bulur. (bkz.şekil)



KIRILMA NEDİR?

Malzemenin iki veya daha çok sayıda parçalara ayrılması yada yük taşıma kapasitesinin sıfır olması diye tanımlanır.

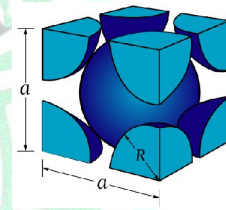


KIRILMA TÜRLERİ

Kırılma olayını 3 grupta inceleyebiliriz.

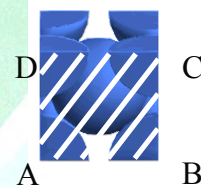
1.Kırılma Yüzeyinin Kristalografik Yapısına Göre :

- Kayma Kırılması (Shear Fracture) : Kristalin kayma düzleminde oluşur.Bu düzlemler atomların en yoğun olduğu düzlemlerdir. Örneğin HMK yapılarında (110) düzlemi gibi.



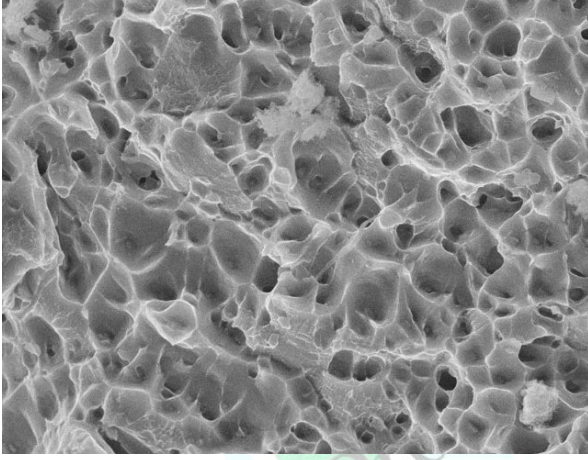
HMK

- Ayrılma Kırılması (Cleavage Fracture): Bu kırılma, atomların en az yoğun olduğu klivaj düzlemlerde oluşur. Örneğin HMK yapılarında (100) = [ABCD] düzlemi gibi.

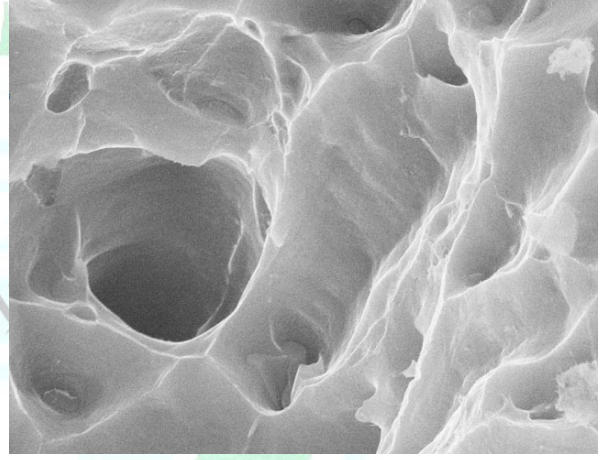


2. Kırılma Yüzeyinin Görünüşüne Göre:

- Lifli Kırılma (Fibrous Fracture): Yüzey pürüzlü olur. Yüzeyde çukurcuklar vardır.

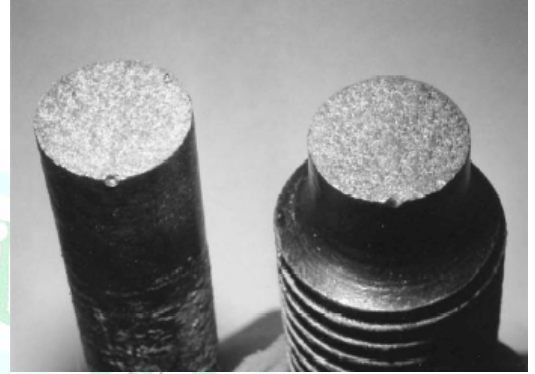
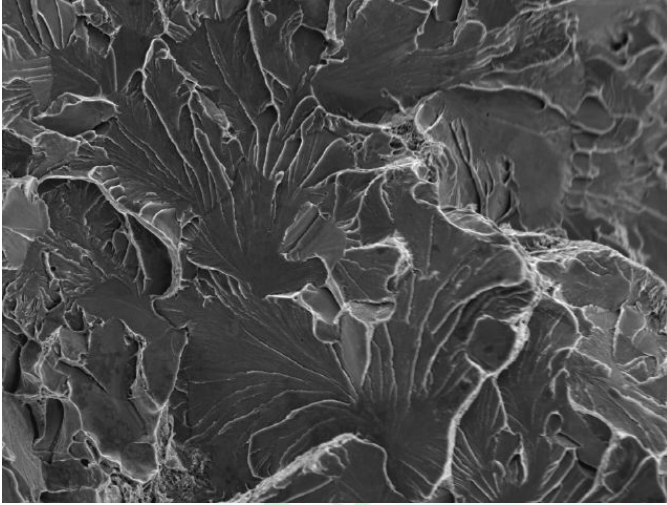


Alüminyumda lifli kırılma 2000X



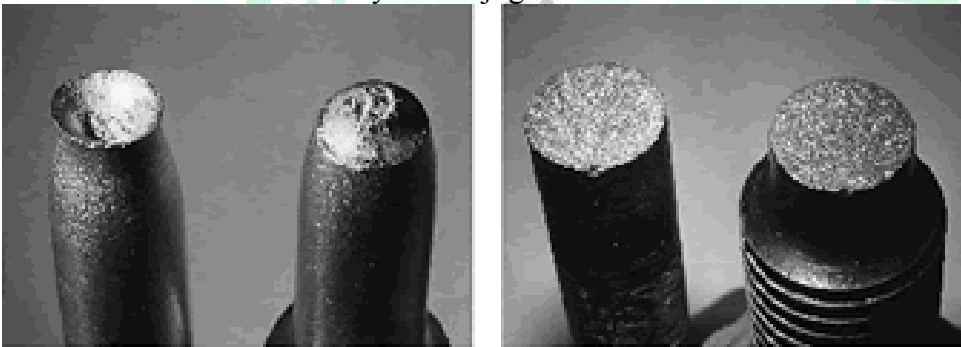
Alüminyumda lifli kırılma 10000X

- Taneli Kırılma (Granular Fracture) : Yüzey pürüzsüz ve parlak olur.



3. Deformasyon Durumuna Göre:

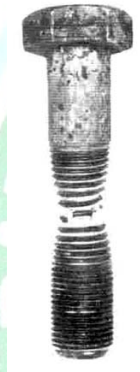
- Sünük Kırılma : Büyük enerji gerektirir.



KIRILMA MEKANİĞİ

Prof.Dr. İrfan AY

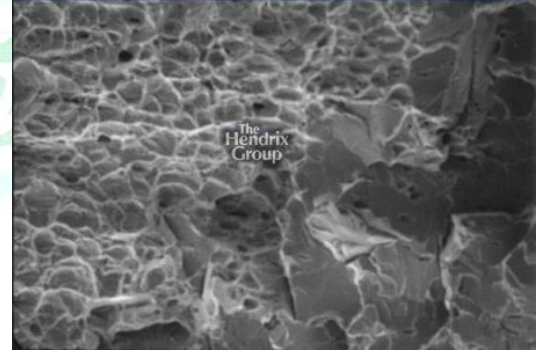
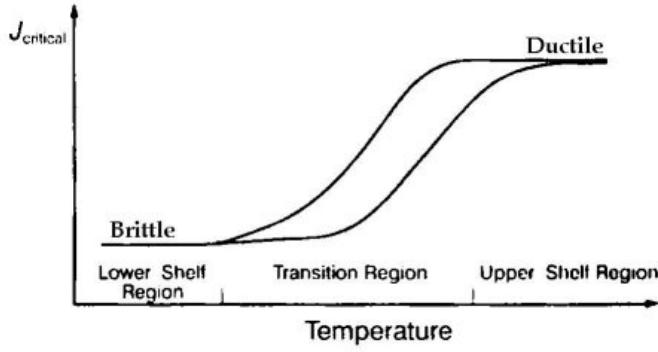
• Gevrek Kırılma : Az enerji gerektirir. Bu tip kırılma istenmez. Çünkü ani ve zamansız olur. Çok tehlikelidir. Kış aylarında sıkça görülür. Gerçek malzemelerin çoğu 'sünek - gevrek' davranış göstererek kırılır. Bu ise çentik-darbe deneyinde kendini gösterir.



Sünek Kırılma



Gevrek Kırılma



Sünek-Gevrek Davranışa Etki Eden Faktörler:

1. Sıcaklık:

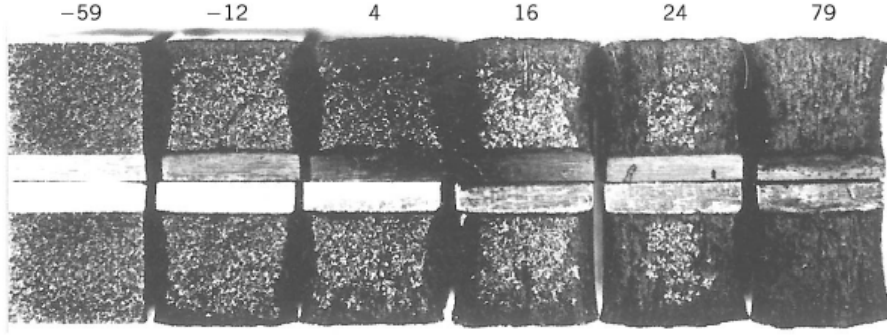
- Yüksek olursa sünek
- Düşük olursa gevrek

2. Yükleme Hızı:

- Yavaş olursa (statik yük) sünek
- Hızlı olursa gevrek

3. Çentik Durumu:

- Çentiksiz olursa sünek
- Çentikli olursa gevrek tarzda kırılma görülür.

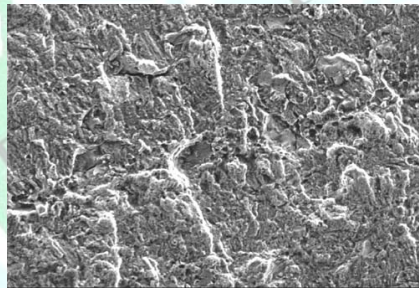
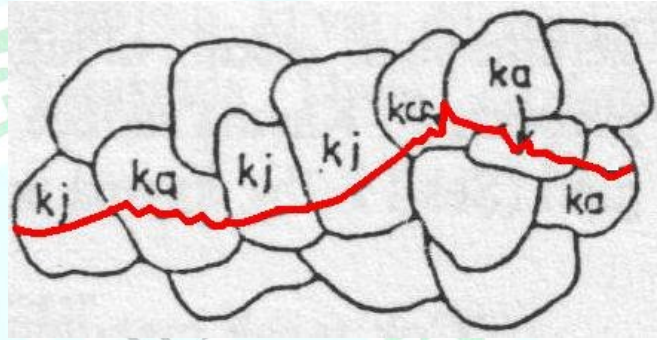
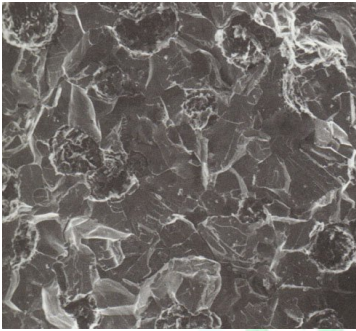


Sıcaklığa bağlı olarak sünek – gevrek dönüşüm kırılma yüzeyleri görünümleri

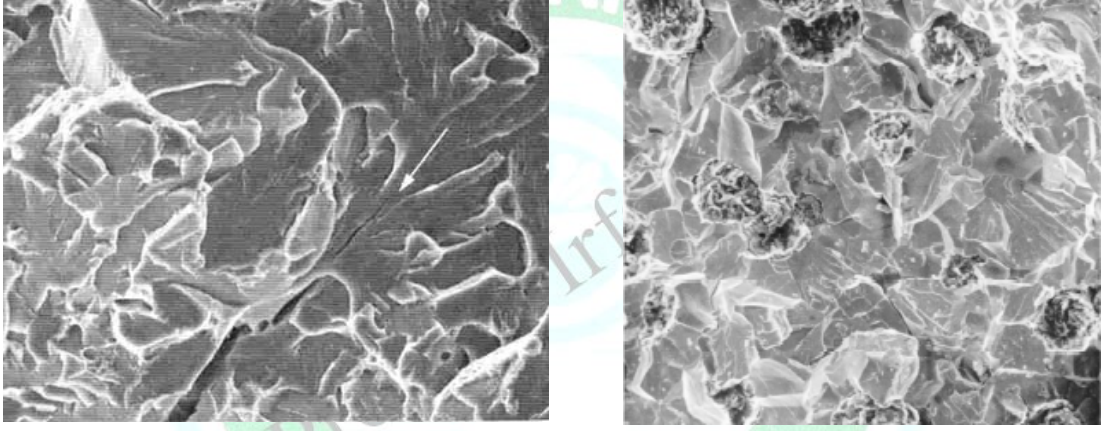
KIRILMA MEKANİZMALARI

1. Tane İçi Kırılma: Taneleri kesen kırılma tipidir. Sünek veya gevrek tarzda olabilir.

- **Sünek Tarzda Tane İçi Kırılma :** Mikro boşluklarda ; tane içindeki metal oksitler, metal sülfürler ve alüminatların ara yüzeyinde oluşurlar. Boşlukların arasındaki bağ incelerek (kayma yolu ile) kopar ve çatlak yayılır. Oluşan kırılma yüzeyi lifli olur. Pürüzlü olur. Yüksek enerjili bir kırılmadır. Çünkü plastik deformasyonla meydana gelmiştir.

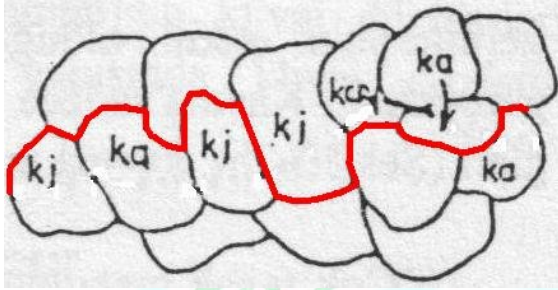


- **Gevrek Tarzda Tane İçi Kırılma** : Buna ayrılma kırılması adı da verilir. Az enerji gerektiren bir kırılmadır. Atomların en az yoğun olduğu kristal düzlemlerinde ayrılma olur. Pürüzsüz, parlak bir yüzey görüntüsü vardır. Hızlı ve tehlikelidir.

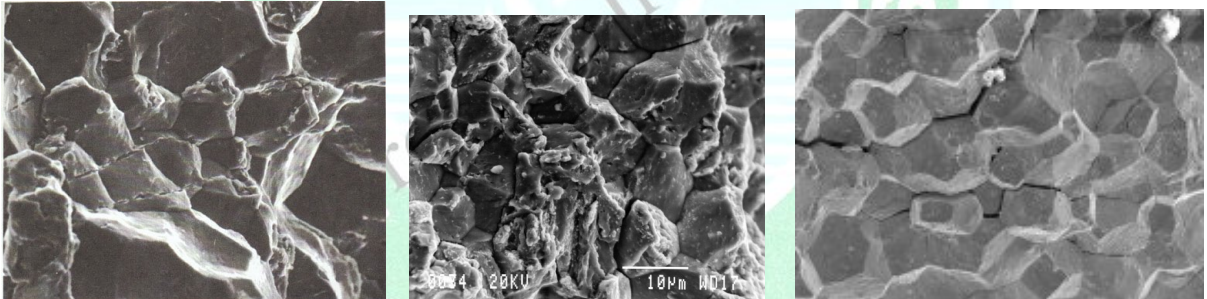


2. Taneler Arası Kırılma:

- **Taneler Arası Sünek Kırılma**: Mikro boşluklar taneler arasındaki tane sınırlarında oluşursa, bu tip kırılma meydana gelir. Yüksek enerjili kırılma tipidir.

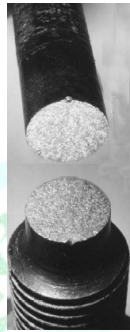
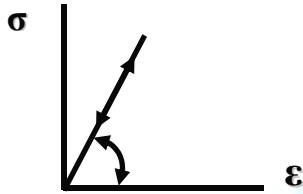
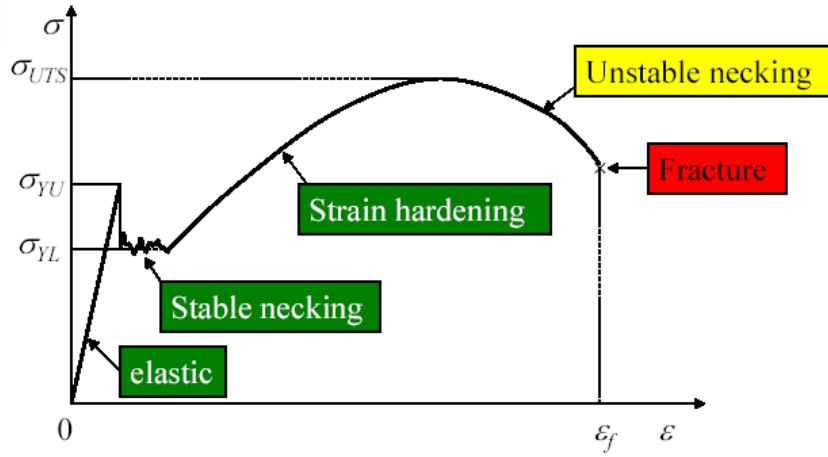
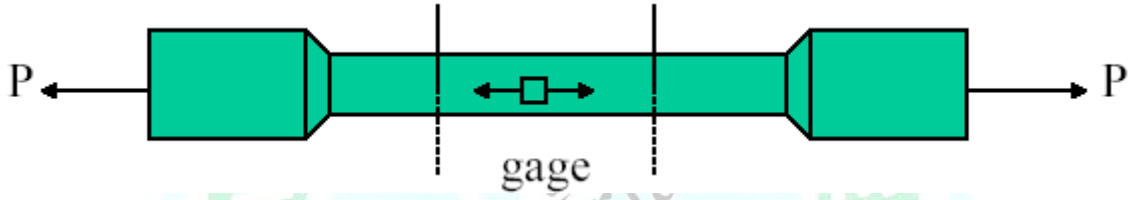


- **Taneler Arası Gevrek Kırılma** : Az enerjili, hızlı ve tehlikeli bir kırılma tipidir. Plastik deformasyon çok az oluşur yada oluşmaz.

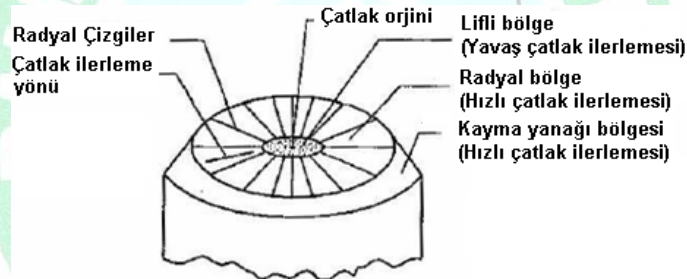


ÇEKME DENEYİ İLE SÜNEK-GEVREK KIRILMA İLİŞKİSİ

A. Çentiksiz Silindirik Bir Çekme Numunesi Alalım :



Çekme eğrisinin **elastik bölgesinde** kopma olursa yandaki şekilde görüldüğü gibi gevrek kırılma ile olur.



Çekme eğrisinin **plastik bölgesinde** kopma olursa yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi kırılma yüzeyleri oluşur

Tek bir bölgeden oluşan kırılma yüzeyi, ya çok gevrek yada aşırı sünek kırılma olursa meydana gelir. Diğer durumlarda kırılma yüzeyi ;

1. Lifli +kayma yanağı



2. Lifli +radyal +kayma yanağı

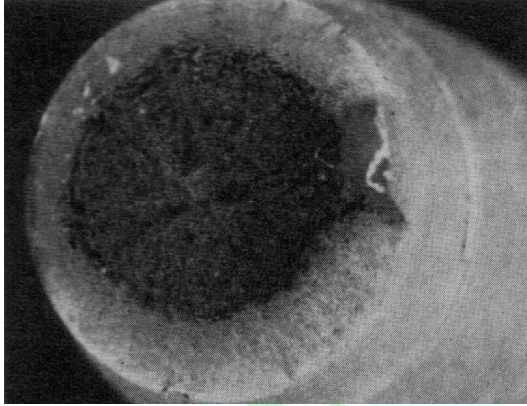


3. Radyal +kayma yanağı şeklinde olur.



LİFLİ BÖLGE

- Yavaş çatlak büyümesinin olduğu bölgedir. Numune merkezinde oluşur.
- Gelişigüzel çukurcuklar yada dairesel tepcikler dizisi şeklinde görülür.
- Bu tepcikler çatlağın ilerleme yönüne diktir.
- Yumuşak çelikte lifli kırılma yüzeyi oluşur.
- Lifli kırılma kararlı çatlak büyümesini ve yavaş kırılmayı temsil eder.
- Plastik deformasyon sonucu oluşur.
- Çatlak yayılması için yüksek enerji gerektirir.
- Çatlak, mikro boşluktan oluşur, birleşir ve büyüme sonucu ilerler.
- Çentiksiz silindirik çekme numunesinde çatlak merkezde başlar, dışarı doğru yayılır.



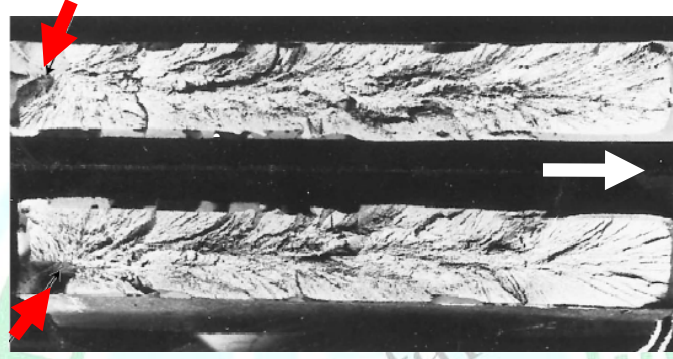
Yanda dairesel çentikli silindirik bir çelik numunede küp-koni şeklindeki kırılma yüzeyi görüntüsü

RADYAL BÖLGE:

- Kararsız çatlak yayılmasının başladığı bölgedir.
- Radyal çizgiler, lifli bölgeden dışa doğru birbirinden uzaklaşarak ilerler.
- Radyal çizgiler birbirinden gittikçe uzaklaşıyor ise, çatlak o yöne ilerliyor demektir.

Çizgilerin birbirine yaklaştığı yer ise çatlağın orijini.

- Radyal çizgiler ince veya kalın olabilir. Bu, malzemenin iç yapısına ve test sıcaklığına bağlıdır.

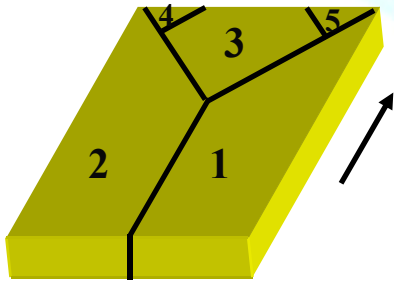


Örnek: Yüksek mukavemetli bir çelik menevişli martenzit ise kırılma yüzeyinde radyal çizgiler ince ve sıktır. Aynı şartlardaki orta mukavemetli bir çelikte ise kaba çizgi görülür.

- Düşük sıcaklıklarda radyal çizgiler ince ve sık olur.

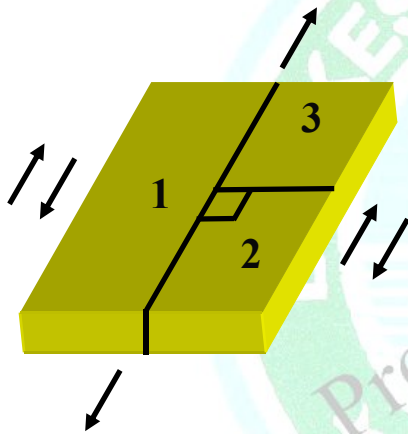
DALLI ÇATLAKLARDA ÇATLAĞIN ORİJİNİ NASIL BULUNUR?

Kırık yüzeyine bakıldığında dallanmanın olduğu kısım **ÇATLAK YAYILMA** yönüdür. Tersisi orijin kısmıdır. Çatlak ilerlemesi **DAR AÇILI** kolların ayrıldığı taraf olacaktır.



Çatlak ilerleme yönü

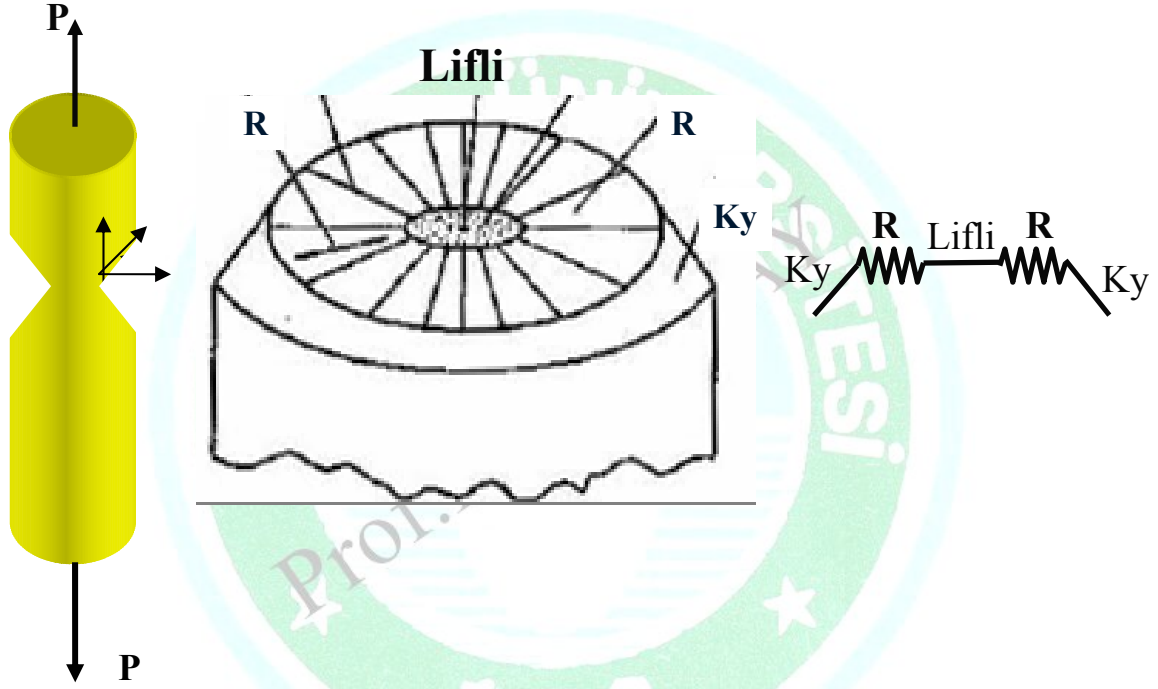
Aşağıdaki durumda ise çatlak yayılması hem kuzeye hem de güneye doğru ilerlemiş olabilir.



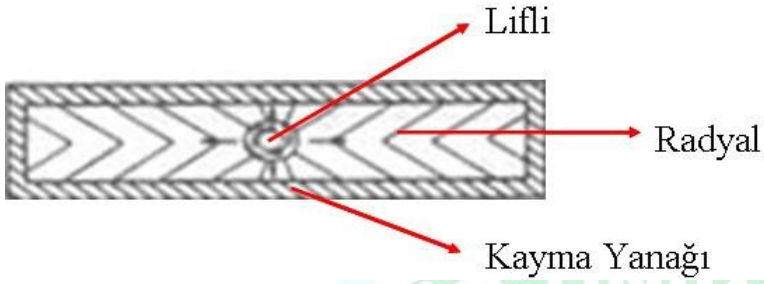
Çatlak ilerleme yönü

B. Çentikli Silindirik Numunede Durum:

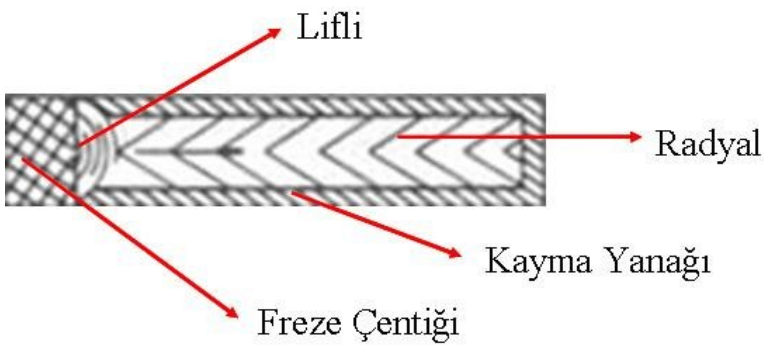
Çatlak dıştan içe doğru yayılır. Çentik ucundan içeri doğru önce lifli, sonra radyal çatlaklar oluşur, daha sonra hızla kopar.



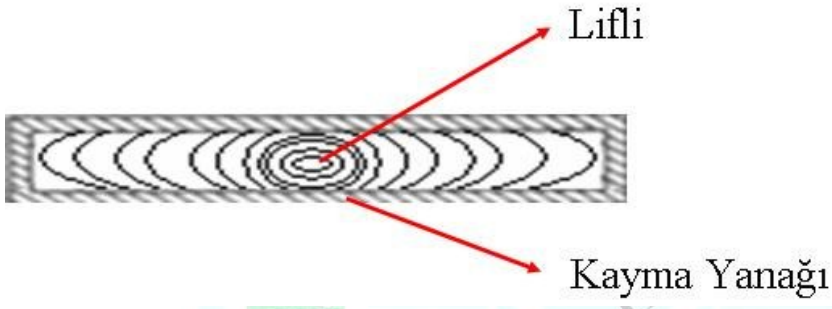
C. Dikdörtgen Kesitli Çentiksiz Kalın Numunede Durum:



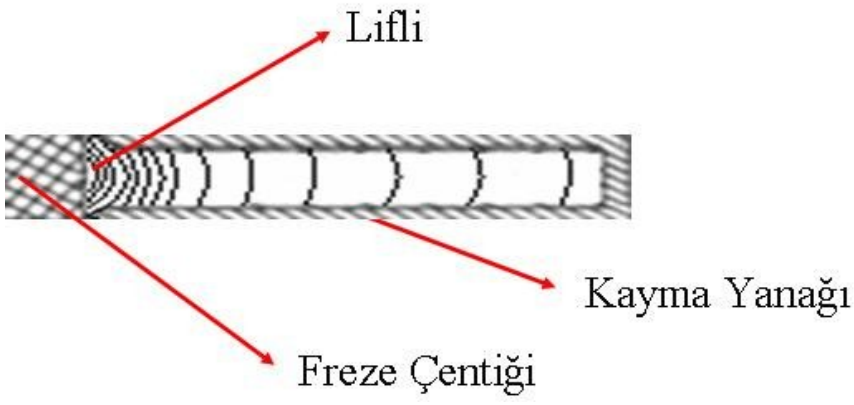
D. Dikdörtgen Kesitli Çentikli Kalın Numunede Durum:



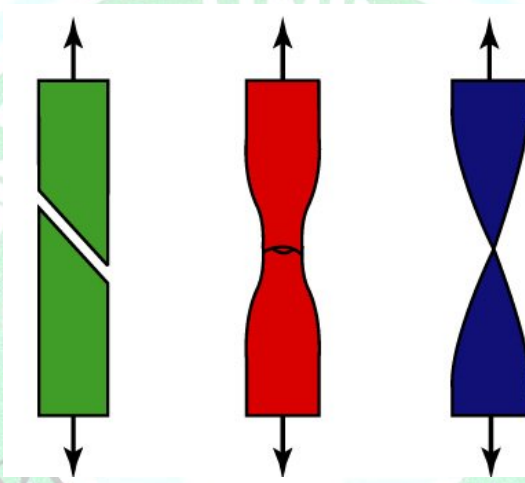
E. Dikdörtgen Kesitli Çentiksiz Çok İnce Numune:



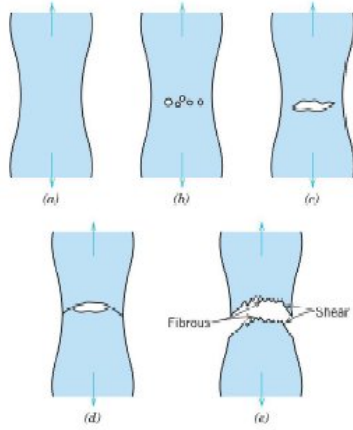
F. Dikdörtgen Kesitli Çentikli Çok İnce Numune:



SÜNEK KIRILMAYA TOPLU BAKIŞ



Küp Koni Çift Küp Koni



Küp-koni tipi sünek kırılma

Sünek kırılmada ;

- Plastik deformasyon için $\sigma_{uyg} > \sigma_{ak}$ olmalıdır. Oysa, (σ_{ak}) elastik bölgede iken bile kırılma olabilmektedir.
- Kırılmaya neden olan gerilme (σ)'dır.
- Kaymaya neden olan gerilme (τ)'dur.
- Malzemenin atomları arasındaki bağlar çok kuvvetli olduğu halde, malzemenin çok düşük gerilmeler altında kırıldıkları bilinmektedir. Buna sebep, malzeme içerisindeki hatalardır. Deformasyonda birinci özelliğe sahip hatalar ile kırılmada birinci özelliğe sahip hatalar farklıdır.

