

BÖLÜM 2

MALZEMELER

Prof. Dr. Erdem ACAR

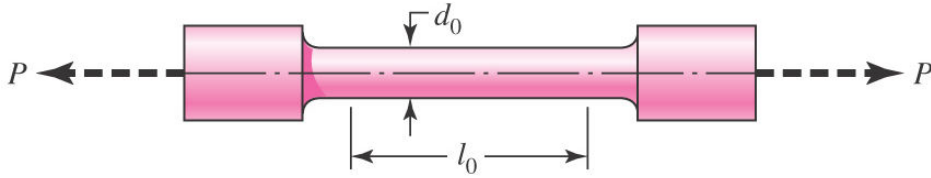
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü



İçerik

- Standart Çekme Testi
- Mühendislik Gerilmesi ve Gerinimi
- Elastik Gerilme-Gerinim İlişkisi
- Gerçek Gerilme ve Gerinim
- Basma Dayanımı
- Burulma Dayanımı
- Rezilyans / Tokluk
- Malzeme Özelliklerinin İstatistiksel Analizi
- Dayanım ve Soğuk Şekillendirme
- Sertlik
- Darbe Özellikleri
- Gerinim Hızı ve Sıcaklığın Dayanım Üzerine Etkileri
- Sürünme
- Kompozit Malzemeler
- Performans Metriği
- Malzeme Seçimi
- Kapanış Notları

Standart Çekme Testi

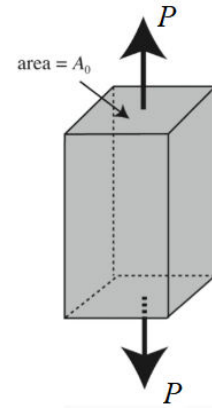


- ISO 6892-1 ve ASTM E8 standartları kullanılır.
- Standart boyutlar:
 - d_0 için: 2,5, 6,25 ve 12,5 mm
 - l_0 için: 10, 25 ve 50 mm
- Malzeme özelliklerini ve dayanım değerlerini elde etmek için kullanılır.
- Yavaşça artan P ile kuvveti altında yüklenir.
- Yük ve deplasman kaydedilir.

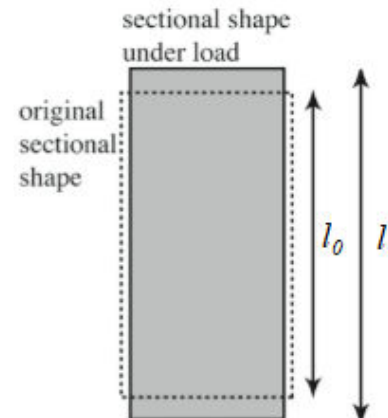
3

Mühendislik Gerilmesi ve Gerinimi

- Mühendislik gerilmesi $\sigma = \frac{P}{A_0}$
 - P : uygulanan kuvvet
 - $A_0 = \frac{1}{4}\pi d_0^2$ başlangıç kesit alanı



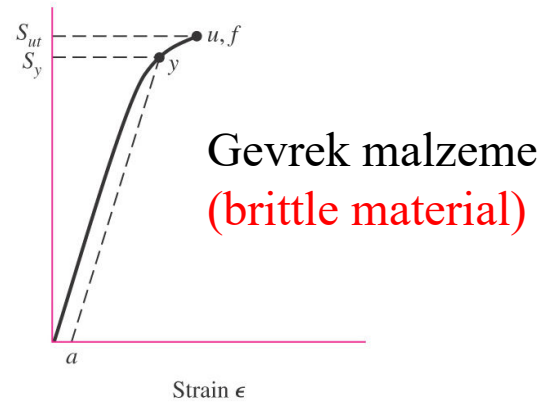
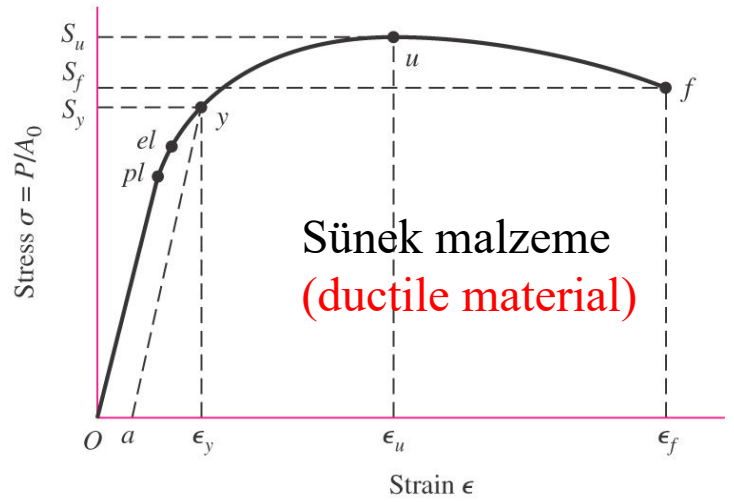
- Normal gerinim $\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$
 - l_0 : başlangıç uzunluğu
 - l : anlık uzunluk



4

Mühendislik Gerilme-Gerinim Diyagramı

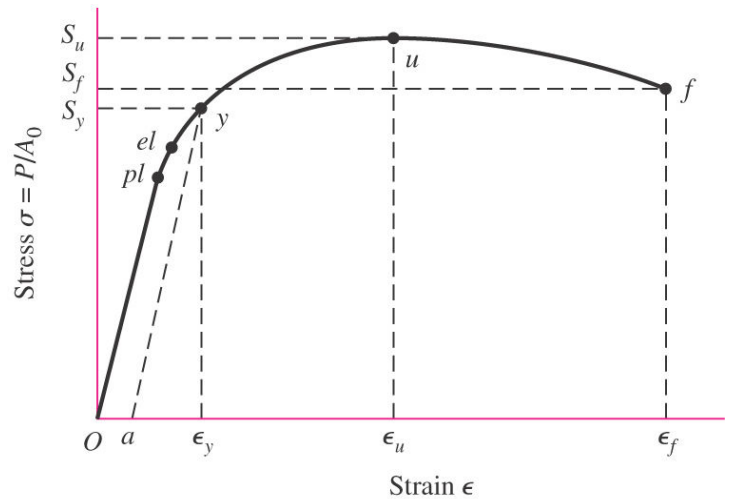
- Genellikle orantılı sınıra (p/l) kadar doğrusal ilişki
- Elastik sınıra (e/l) kadar kalıcı deformasyon yok
- **Akma dayanımı, S_y :** kalıcı deformasyonun orijinal ölçü uzunluğunun %0,2'sine ulaştığı noktada tanımlanır.
- **Kopma dayanımı, S_u :** diyagramdaki maksimum gerilme olarak tanımlanır.



5

Elastik Gerilme-Gerinim İlişkisi

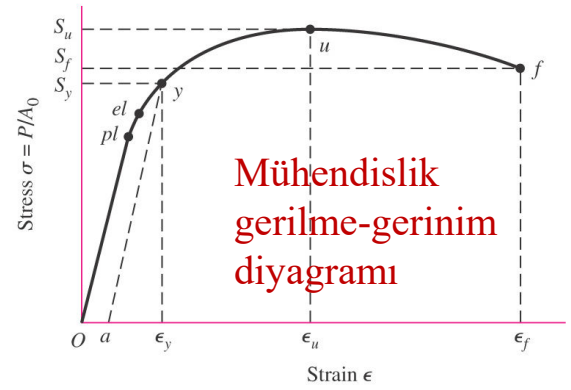
- **Lineer kısmın eğimi:** elastisite modülü (Young modülü)
- **Hooke Yasası:** $\sigma = E\epsilon$
- E, belirli bir malzeme türü için (örneğin; çelik, bakır, alüminyum) nispeten sabittir.
- Tipik değerler ders kitabı Tablo A-5'te bulunmaktadır.
- Genellikle ısıt işlemden, karbon içeriğinden veya alaşımdan bağımsızdır.



6

Gerçek Gerilme-Gerinim Diyagramı

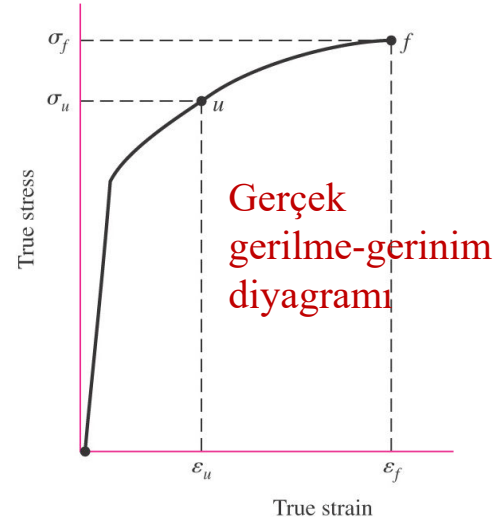
- Mühendislik gerilme-gerinim diyagramları orijinal alana dayanır.
- Alan; yük altında, özellikle u noktasından sonraki "boyun verme" sırasında azalır.



- Gerçek gerilme ise anlık alana dayanır.
- Gerçek gerinim hesabı integrasyona dayanır.

$$\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0}$$

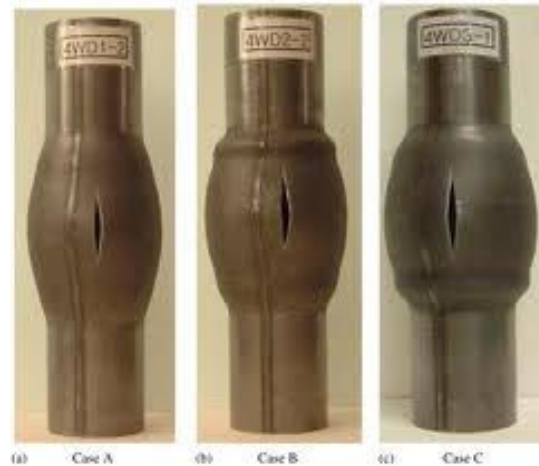
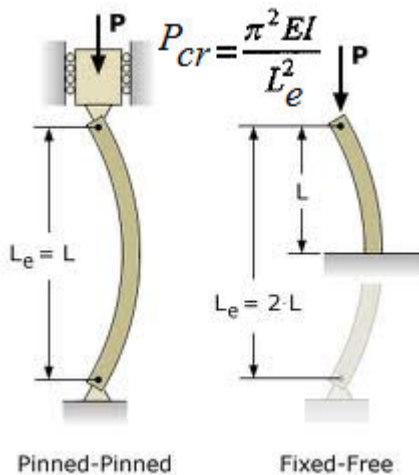
- Gerçek gerilme, kırılmaya kadar sürekli olarak artar.



7

Basma Dayanımı

- Basma dayanımı, basma testleri ile belirlenir.
- ASTM D575 standardı kullanılır.
- Burkulma ve yanal çatılama sorunlu olabilir.
- Sünek malzemeler için basma dayanımları genellikle çekme dayanımlarıyla yaklaşık aynıdır, $S_{uc} = S_{ut}$.
- Gevrek malzemeler için basma dayanımları, S_{uc} , genellikle çekme dayanımlarından, S_{ut} , daha büyüktür.



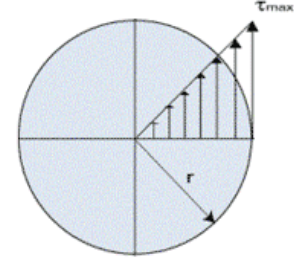
8

Burulma Dayanımı

- Burulma dayanımları, içi dolu dairesel çubukların burulma testleri ile bulunur. ASTM A938-18 standardı kullanılır.
- Numunedeki kayma gerilmeleri, radyal konuma göre doğrusaldır; merkezde sıfır, dış yarıçapta maksimum.
- Maksimum kayma gerilmesi, burulma açısıyla şu şekilde ilişkilidir:

$$\tau_{\max} = \frac{Gr}{l_0}\theta$$

- θ : burulma açısı (radyan cinsinden)
- r : çubuğun yarıçapı
- l_0 : çubuk orijinal uzunluğu
- G : kayma modülü



- Maksimum kayma gerilmesi, uygulanan tork (T) ile şu şekilde ilişkilidir:

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J}$$

- J : polar atalet momenti
- içi dolu dairesel çubuk için $J = \frac{1}{2}\pi r^4$

9

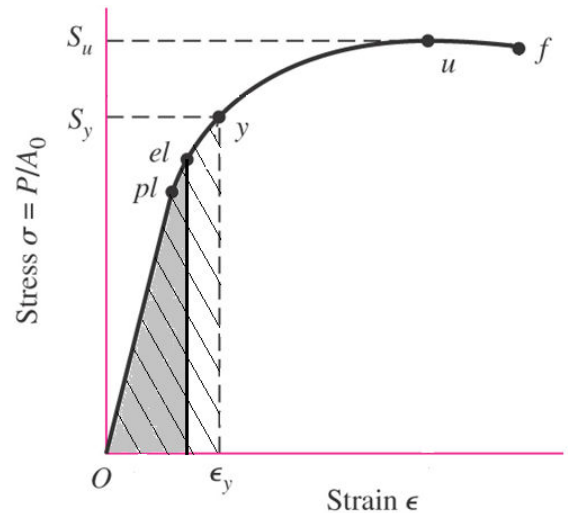
Rezilyans

- **Rezilyans** – Bir malzemenin elastik bölgedeki enerji soğurma kapasitesi
- **Rezilyans modülü, u_R**
- Kalıcı deformasyon olmadan birim hacim başına soğurulan enerji
- Gerilme-gerinim eğrisinin elastik sınıra kadar olan alanına eşittir.
- Elastik sınır genellikle akma noktası olarak alınır.

$$u_R \cong \int_0^{\epsilon_y} \sigma d\epsilon$$

- Elastik bölge lineerse,

$$u_R \cong \frac{1}{2}S_y\epsilon_y = \frac{1}{2}(S_y)(S_y/E) = \frac{S_y^2}{2E}$$



Aynı akma mukavemetine sahip iki malzeme için, daha az direngen olan malzeme (daha düşük E) daha fazla rezilyansa sahiptir.

10

Tokluk

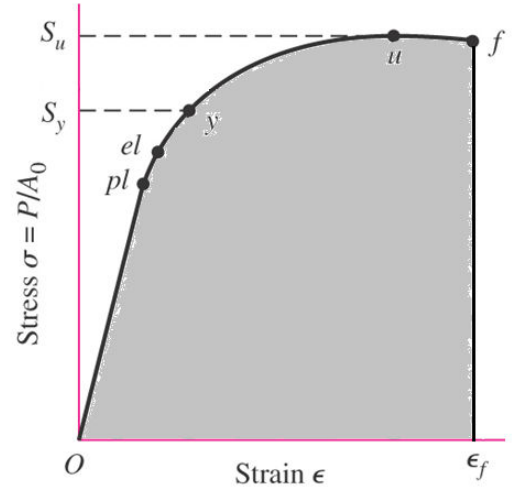
- **Tokluk** – Bir malzemenin kopana kadarki enerji soğurma kapasitesi
- **Tokluk modülü, u_T**
- Gerilme-gerinim eğrisinin tamamının altında kalan alana eşittir.

$$u_T = \int_0^{\epsilon_f} \sigma d\epsilon$$

- Sayısal yöntemlerle hesaplanır.
- Aşağıdaki formül ile yaklaşık olarak tahmin edilebilir:

$$u_T \cong \left(\frac{S_y + S_{ut}}{2} \right) \epsilon_f$$

- Rezilyans ve tokluk düşük gerinim hızlarında test yapılarak belirlenir.
- u_R ve u_T 'nin birimi: J/m³



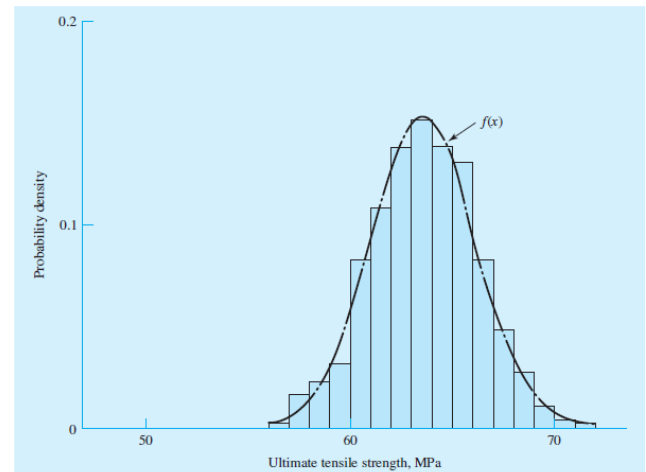
11

Malzeme Özelliklerinin İstatistiksel Analizi

- Dayanım değerleri, nominal olarak aynı olan birçok numunenin test edilmesiyle elde edilir.
- **Örnek** – 1020 çeliği için yapılan 1000 çekme testinin maksimum gerilme değeri için histogramik rapor

Range midpoint S_{ut} (MPa)	56.5	57.5	58.5	59.5	60.5	61.5	62.5	63.5	64.5	65.5	66.5	67.5	68.5	69.5	70.5	71.5
Frequency, f_i	2	18	23	31	83	109	138	151	139	130	82	49	28	11	4	2

- **Olasılık yoğunluğu fonksiyonu** – histogramdaki frekans değerlerinin toplam numune sayısına bölünmesiyle elde edilir.



12

Tablolardaki Değerler

- Malzeme özellikleri tabloları genellikle yalnızca tek bir değer bildirir.
- Sunulan değer; ortalama, minimum veya belirli bir yüzdelik değerden hangisi olduğunu kontrol etmek önemlidir.
- Tasarımda; örneklerin belirli bir yüzdesinin bildirilen değeri belirli bir güven aralığı ile aştığını gösteren değerler kullanılır.
- **A-taban değeri:** popülasyonun %99'unun %95 güvenle aştığı değerdir.
- **B-taban değeri:** popülasyonun %90'ının %95 güvenle aştığı değerdir.

$$Basis = \bar{X} - k s$$

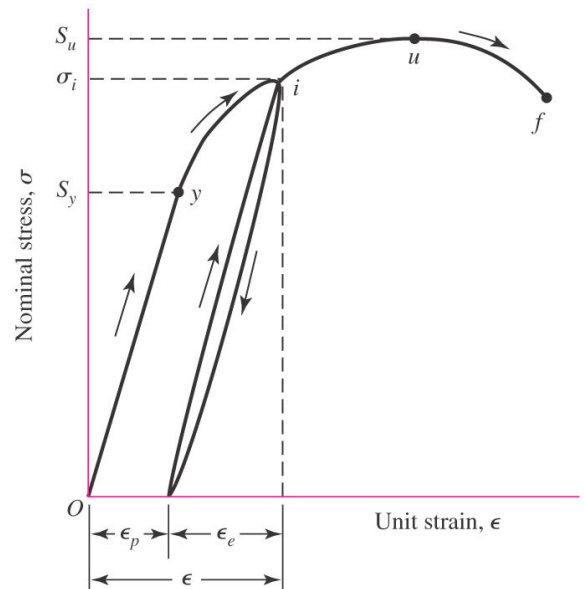
$$k = \frac{z_{1-p} + \sqrt{z_{1-p}^2 - ab}}{a}, \quad a = 1 - \frac{z_{1-\gamma}^2}{2(N-1)}, \quad b = z_{1-p}^2 - \frac{z_{1-\gamma}^2}{N}$$

13

Soğuk İşleme

- **Soğuk işleme** – Gerilme-gerinim diyagramının plastik bölgesinde yeniden kristalleşme sıcaklığının altında plastik deformasyon süreci
- Akma noktasının ötesinde i noktasına yükleme ve ardından boşaltma, kalıcı plastik deformasyona, ϵ_p , neden olur.
- Malzeme i noktasına yeniden yüklendiğinde, i noktasına kadar elastik davranır ve ek elastik gerinim ϵ_e ile devam eder.

$$\epsilon_e = \frac{\sigma_i}{E} \quad \epsilon = \epsilon_p + \epsilon_e$$



- Soğuk işleme ile; akma noktası, i noktasına kadar artırılmış olur.
- Akma dayanımı ile nihai dayanım arasındaki plastik bölge azaldığı için malzeme daha az sünektir (daha kırılmandır).
- Çok tekrarlanan gerinim sertleştirilmesi, gevrek kırılmaya yol açabilir.

14

Soğuk İşleme Denklemleri

$$W = \frac{A_0 - A'_i}{A_0} \approx \frac{A_0 - A_i}{A_0} \quad (2-13)$$

W: soğuk işleme faktörü

$$A'_i = A_0(1 - W) \quad (2-14)$$

$$\sigma = \sigma_0 \varepsilon^m \quad (2-15)$$

$$m = \varepsilon_u \quad (2-16)$$

$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{A_0}{A} \quad (2-17)$$

$$S'_y = \frac{P_i}{A'_i} = \sigma_0 \varepsilon_i^m \quad P_i \leq P_u \quad (2-18)$$

$$S'_u = \frac{S_u A_0}{A_0(1 - W)} = \frac{S_u}{1 - W} \quad \varepsilon_i \leq \varepsilon_u \quad (2-19)$$

$$S'_u \doteq S'_y \doteq \sigma_0 \varepsilon_i^m \quad \varepsilon_i > \varepsilon_u \quad (2-20)$$

15

Örnek 2-1

Tavllanmış bir AISI 1018 çeliğinin (bkz. Tablo A-22) özellikleri:

$S_y = 220$ MPa, $S_u = 341$ MPa, $\sigma_f = 628$ MPa, $\sigma_0 = 620$ MPa, $m = 0,25$ ve $\varepsilon_f = 1,05$ olarak verilmektedir.

Malzeme %15 soğuk işlemeye tabi tutulduğunda, yeni dayanım değerlerini bulun.

16

Sertlik

- **Sertlik** – Bir malzemenin sivri uçlu bir aletle delinmeye karşı direnci
- En yaygın iki sertlik ölçüm sistemi
 - Rockwell
 - Brinell
- Birçok malzeme için, kopma dayanımı ile Brinell sertlik değeri arasındaki ilişki kabaca doğrusaldır.

Çelikler için

$$S_u = \begin{cases} 0.5 H_B & \text{kpsi} \\ 3.4 H_B & \text{MPa} \end{cases}$$

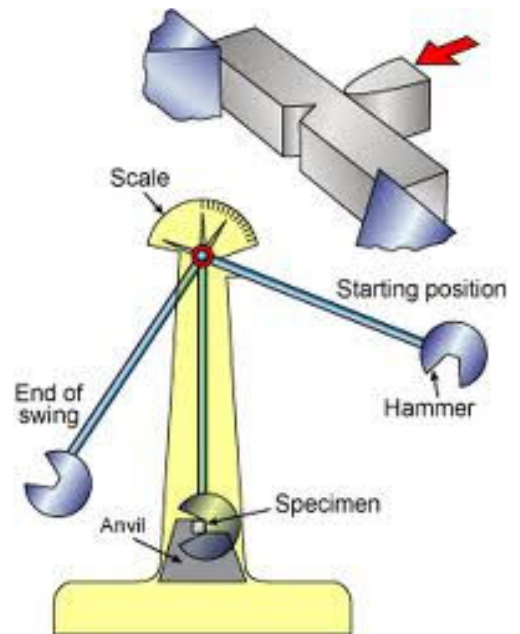
Dökme demir için

$$S_u = \begin{cases} 0.23 H_B - 12.5 & \text{kpsi} \\ 1.58 H_B - 86 & \text{MPa} \end{cases}$$

17

Darbe Özellikleri

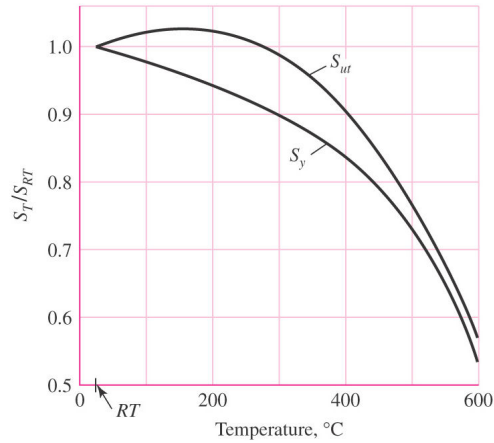
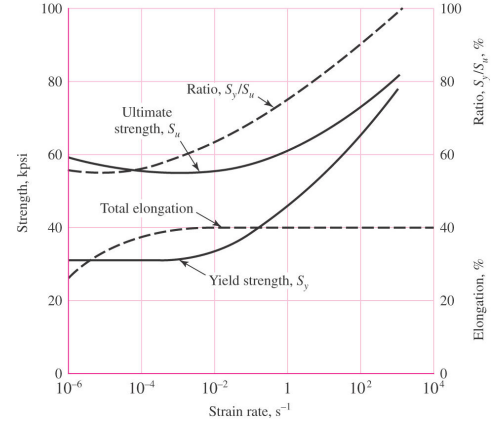
- **Charpy çentikli çubuk testi** – gevrekliği ve darbe dayanımını belirlemek için kullanılır.
- ISO 148-1 standardı kullanılır.
- Darbe dayanımı yüksek metaller, darbe enerjilerini kırılmadan emebilir.
- Çentikli metal bir numuneye, bir sarkaç çekici ile çarpar.
- Test için metal numunesi sarkaç darbe mekanizmasındaki desteklerin merkezine konumlandırılır.
- Çentik, sarkaç çekicinin numuneye çarptığı noktanın tam karşısındadır. Soğurulan enerji, kırılmadan sonraki salınım yüksekliğinden hesaplanır.



18

Gerinim Hızının ve Sıcaklığın dayanım üzerine etkileri

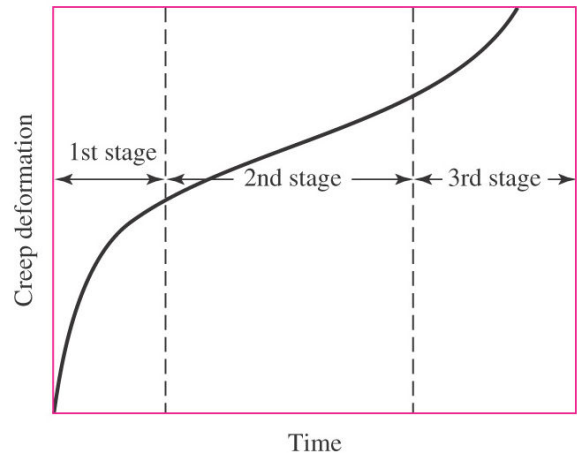
- Gerinim hızının artması dayanım değerlerini artırır.
- Karbon ve alaşımlı çeliklerde, sıcaklık oda sıcaklığının üzerine çıktıkça;
 - S_{ut} hafifçe artar, sonra önemli ölçüde azalır
 - S_y sürekli azalır
 - Sünekliğin artmasına neden olur.



19

Sürünme

- **Sürünme** - yüksek sıcaklıklarda uzun süreler boyunca yük altında sürekli deformasyon
- Genellikle üç aşamada gerçekleşir:



- **1. aşama:** elastik ve plastik deformasyon; gerinim sertleşmesi nedeniyle azalan sürünme hızı
- **2. aşama:** tavlama etkisinin neden olduğu sabit minimum sürünme hızı
- **3. aşama:** alanda önemli bir azalma; artan gerçek gerilme değeri; kırılmaya yol açan daha yüksek sürünme hızı

20

Alaşımlı Çelikler

- Krom
- Nikel
- Manganez
- Silikon
- Molibden
- Vanadyum
- Tungsten

21

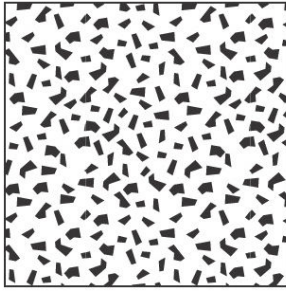
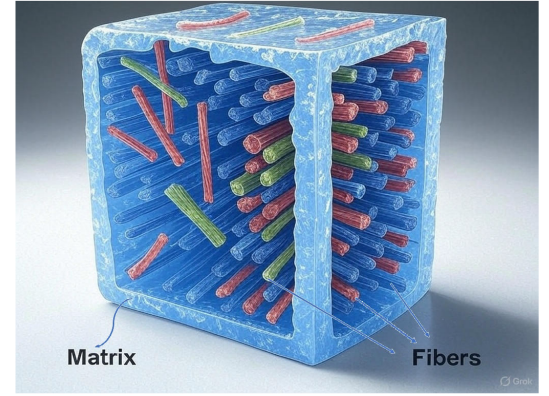
Demir dışı Metaller

- Alüminyum
- Magnezyum
- Titanyum
- Bakır bazlı alaşımlar
 - %5 ila %15 çinko içeren piringç
 - Yıldızlı piringç, ticari bronz, kırmızı piringç
 - %20 ila %36 çinko içeren piringç
 - Düşük piringç, kartuş piringç, sarı piringç
 - Düşük kurşunlu piringç, yüksek kurşunlu piringç (gravür piringç), serbest kesim piringç
 - Alüminyum piringç
 - %36 ila %40 çinko içeren piringç
 - Muntz metali, donanma pirinci
 - Bronz
 - Silikon bronz, fosfor bronz, alüminyum bronz, berilyum bronz

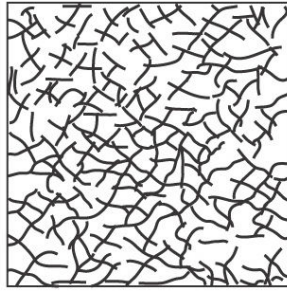
22

Kompozit Malzemeler

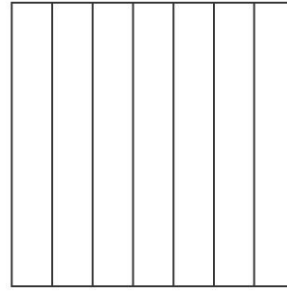
- Her biri nihai özelliklere katkıda bulunan iki veya daha fazla farklı malzemeden oluşur.
- Malzemeler makroskobik düzeyde birbirlerinden farklıdır.
- Genellikle amorf ve izotropik değildir.
- Direngenlik ve dayanım sağlamak için fiber (elyaf), malzemeyi bir arada tutmak için bir matristen oluşur.



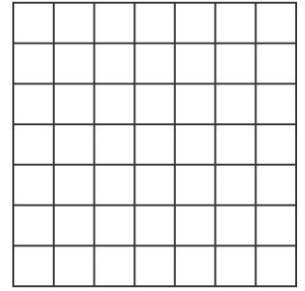
Particulate composite



Randomly oriented short fiber composite



Unidirectional continuous fiber composite



Woven fabric composite

23

Performans Metriği

- Performans metriği;
 1. fonksiyonel gereksinimler,
 2. geometri
 3. malzeme özelliklerinin bir fonksiyonudur.

$$P = \left[\left(\begin{array}{c} \text{functional} \\ \text{requirements } F \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} \text{geometric} \\ \text{parameters } G \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} \text{material} \\ \text{properties } M \end{array} \right) \right] \rightarrow P = f(F, G, M)$$

- Fonksiyon genelde ayırık formdadır:

$$P = f_1(F) \cdot f_2(G) \cdot f_3(M)$$

- $f_3(M)$, malzeme verimlilik katsayısı olarak adlandırılır.
 - bu fonksiyonun maksimize veya minimize edilmesi, malzeme seçiminin P'yi optimize etmek için kullanılmasına olanak tanır.

24

Performans metriği – Örnek 1

Uçtan yüklü, dairesel kesitli, ankastre kiriş için malzeme seçimi

Gereksinimler: Hafiflik ve direngenlik

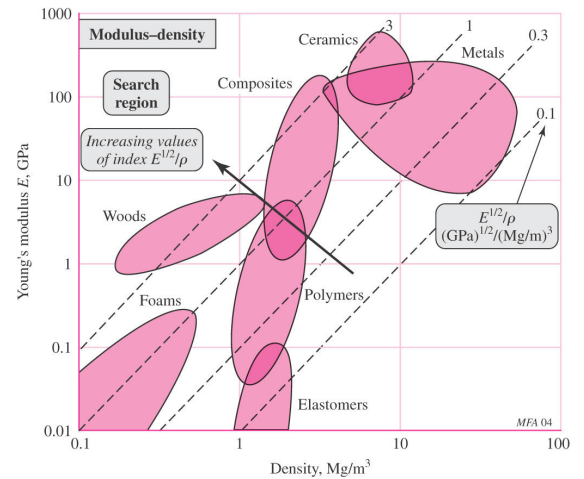
- Kirişin kütlesi m , performans ölçütü olarak seçilerek en aza indirilebilir
- Direngenlik ise fonksiyonel bir gerekliliktir

$$k = \frac{F}{\delta}$$

25

Çözüm sonrası malzeme seçimi

- M , malzeme endeksi olarak adlandırılır
- $E^{1/2}/\rho$ konturlarını kullanın
- M 'yi artırarak yukarı ve sola doğru hareket edin
- Bu örnek için iyi adaylar belirli ahşaplar, kompozitler ve seramiklerdir



26

Performans metriği – Örnek 2

Eksenel yüklenen, dairesel kesitli bağlantı elemanı için malzeme seçimi

Gereksinimler: Hafiflik ve direngenlik

- Kirişin kütlesi m , performans ölçütü olarak seçilerek en aza indirilebilir
- Direngenlik ise fonksiyonel bir gerekliliktir

$$k = \frac{F}{\delta}$$

27

Kapanış Notları

- Bir makine elemanı için malzeme seçimi, tasarımcının vermesi gereken en önemli kararlardan biridir.
- Dersin 3. ve 4. Bölümlerde, makine elemanlarının gerilme ve deformasyonlarını tahmin etme yöntemleri sunulacaktır.
 - Bu tahminler, elemanın yapılacağı malzemenin özelliklerine dayanmaktadır.
 - Deformasyon ve kararlılık değerlendirmeleri için malzemenin elastik (direngenlik) özellikleri gereklidir.
 - Bir makine elemanında kritik kesitteki gerilme değerleri, malzemenin dayanım değerleriyle karşılaştırılmalıdır.
- Makine elemanlarının tasarımında gerilme ve deformasyon ne kadar önemli olsa da, malzeme seçimi her zaman bu faktörlere bağlı değildir.
 - Parçalar genellikle korozyona dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalıdır.
 - Bazen sıcaklık etkileri tasarımda gerilme ve zorlanmadan daha önemlidir.
 - Tasarımcının, yeterli düzeyde malzeme ve proses bilgisine sahip olması oldukça önemlidir.

28