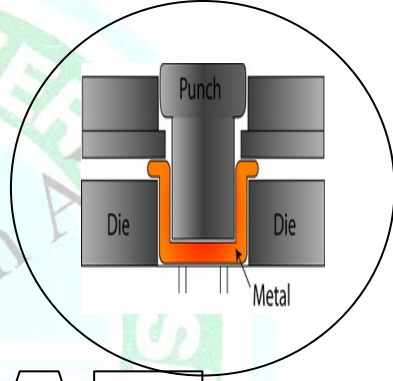


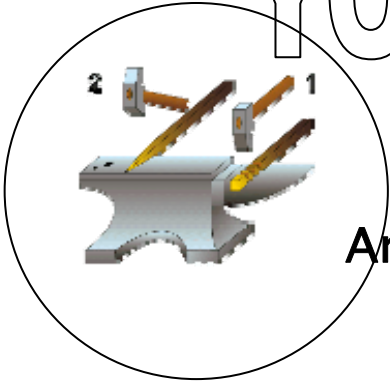
MAKİNA

*

ENDÜSTRİ



İMALAT YÖNTEMLERİ-II



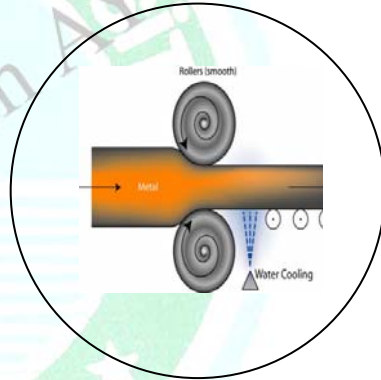
Prof.Dr.İrfan AY

Arş.Gör.T.Kerem DEMİRCİOĞLU

Öğr. Murat BOZKURT



*



Balıkesir – 2008

PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

METALE PLASTİK ŞEKİL VERME

İki şekilde incelenir.

* HACİMSSEL DEFORMASYONLA YAPILAN İŞLEMLER

Dövme –Haddeme –Extrüzyon-Tel çekme

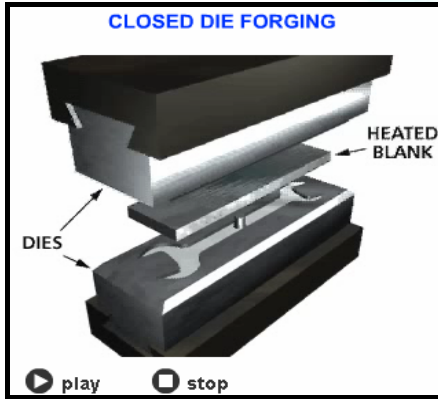
* SAÇ ŞEKİLLENDİRME YOLU İLE YAPILAN İŞLEMLER

Eğme – Derin Çekme – Kesme (Yalnızca bu işlem, plastik deformasyonla şekillendirme işlemin den ziyade kesme işlemini çağrıştırır.)

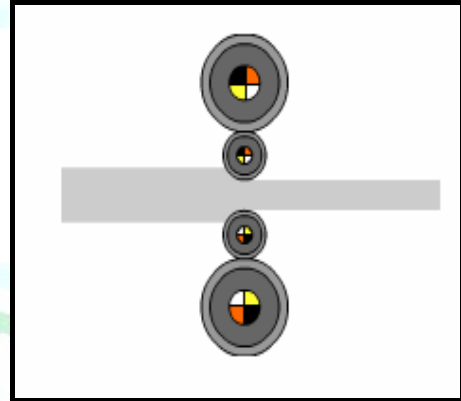
HACİMSAL DEFORMASYONLA PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

İMALAT İŞLEMLERİ

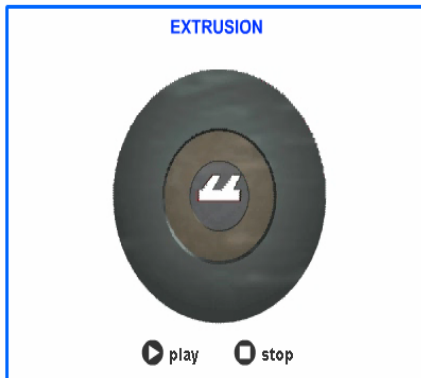
Dövme



Haddeme



Extrüzyon



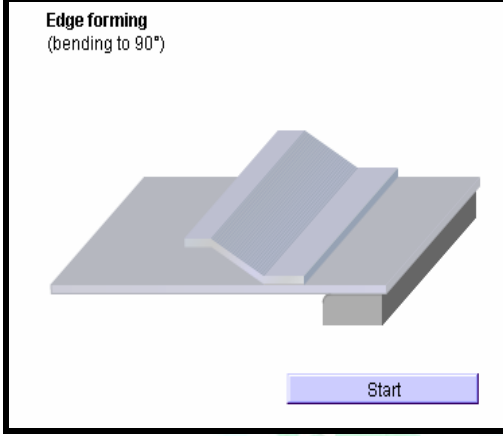
Tel çekme



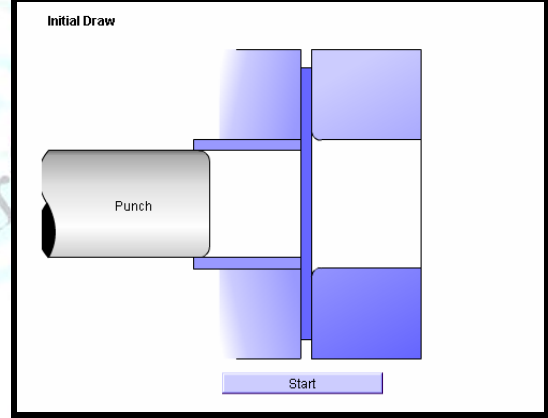
SAC ŞEKİLLENDİRME İLE PLASTİK ŞEKİL VERME YÖNTEMLERİ

SAC İŞLEMLERİ

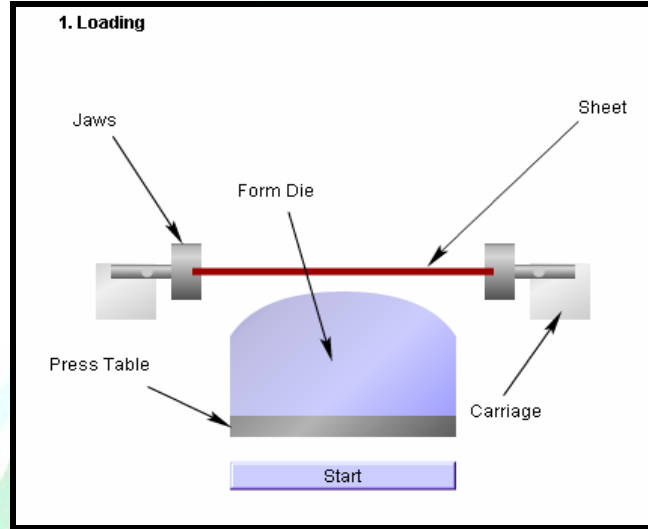
Eğme-Bükme



Derin çekme



Gererek şekillendirme



PLASTİK ŞEKİL VERMEDE TEMEL KAVRAMLAR

DEFORMASYON NEDİR?

Malzemeye uygulanan bir kuvvet sebebiyle malzeme şeklinde değişme olmasına **deformasyon** adı verilir.



Elastik deformasyon

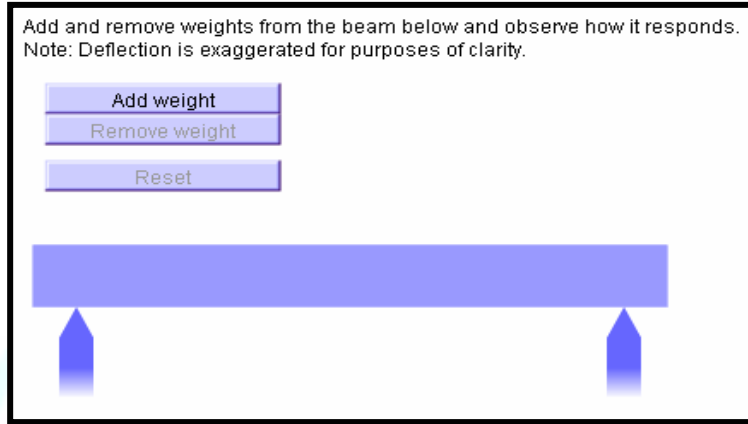


Plastik deformasyon

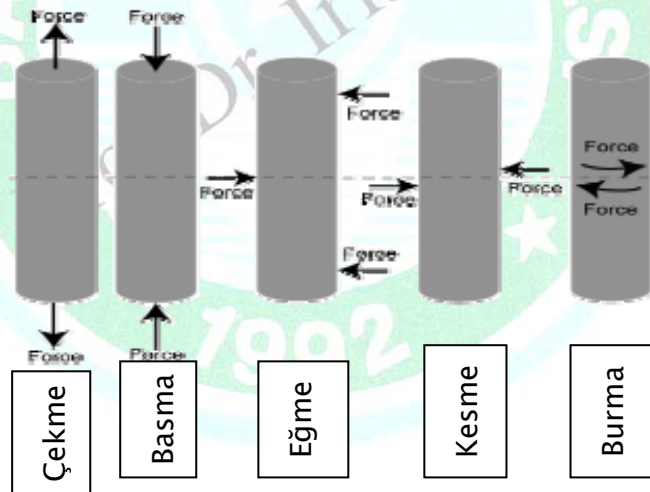
Deformasyon geçici ise **elastik**, kalıcı ise **plastik** deformasyon adı verilir.

ELASTİK / PLASTİK = DEFİORMASYON'UN ANLAMİ

Add and remove weights from the beam below and observe how it responds.
Note: Deflection is exaggerated for purposes of clarity.



DEFİORMASYON İÇİN HANGİ YÜKLER UYGULANIR



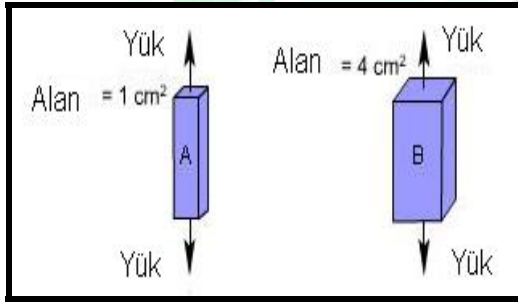
YÜKLERİN MALZEME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ NASIL OLUR?

YÜK NEDİR? GERİLME NEDİR?

Yük, makine parçası üzerine dıştan uygulanan kuvvettir.

Gerilme, Dıştan uygulanan kuvvete karşı malzeme içersin de doğan karşı koymanın adıdır.

a)- Acaba iki parçaya da 5 ton yük uygulasak ne olur?



Cevap:

Küçük kesitte doğacak gerilme $\sigma = F/A$ formülü gereğince $\sigma = 5000 \text{ daN}/100 \text{ mm}^2 = 50 \text{ daN}/\text{mm}^2$
Büyük kesitte doğacak gerilme $\sigma = F/A$ formülü gereğince $\sigma = 5000 \text{ daN}/400 \text{ mm}^2 = 12,5 \text{ daN}/\text{mm}^2$

Buradan yükün doğuracağı gerilmenin **ALAN** la alakalı olduğu görülüyor.

Doğacak gerilme $\sigma = 15 \text{ daN}/\text{mm}^2$ **sabit olsun isteyelim.**

Acaba yükler ne olur?

Küçük kesitte $\sigma = F/A$ dan $F = 15 \text{ daN}/\text{mm}^2 \cdot 100 \text{ mm}^2 = 1500 \text{ daN}$

Büyük kesitte $\sigma = F/A$ dan $F = 15 \text{ daN}/\text{mm}^2 \cdot 400 \text{ mm}^2 = 6000 \text{ daN}$

MUKAVEMET: Malzemenin dıştan etkiyen kuvvetin malzeme içindeki direnme kabiliyetinin bir ölçüsüdür.

Akma mukavemeti

% 0,2 akma mukavemeti

Maksimum çekme mukavemeti

Kopma mukavemeti

Çentik darbe mukavemeti

Yorulma mukavemeti

Eğme mukavemeti

Kesme mukavemeti

Burulma mukavemeti

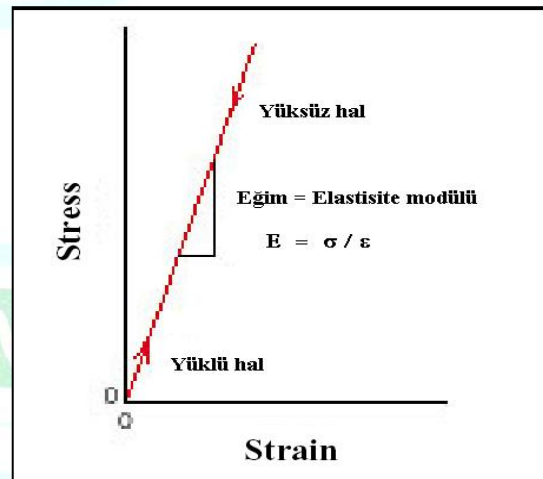
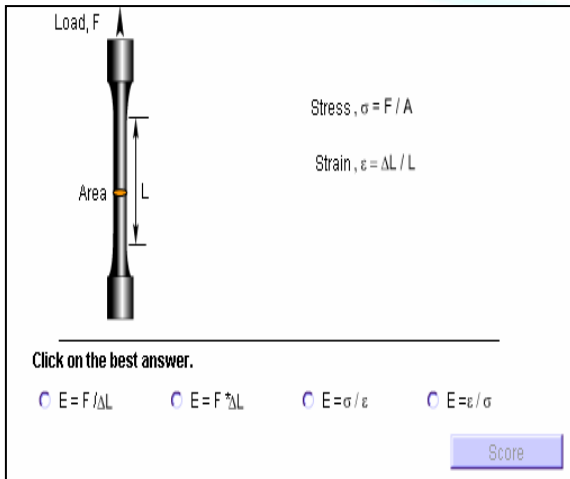
gibi çeşitleri vardır.

KATILIK(Stiffness) = YOUNG MODÜLÜ Malzemeleri plastik deformasyona uğratmadan kullanmak önemlidir. Onun için malzemeler çalışacağı yerde kullanılırken katı = rijit halde olmalıdırlar. Aşağıda görülen köprü, bisiklet ve uçak malzemeleri, üzerlerindeki yükleri minimum esneme ile karşılamaları gerekir.



YOUNG MODÜLÜ (Elastisite) NEDİR?

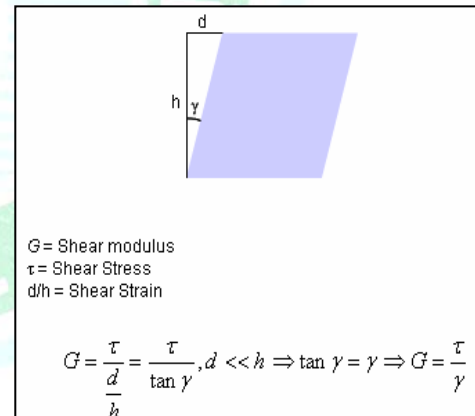
Elastik bölgede malzemenin katılığının = rijitliğinin bir ölçüsüdür.



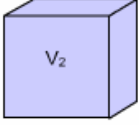
$$E = \sigma / \epsilon$$

KAYMA MODÜLÜ (Shear modül): Elastisite-young modülü, tek eksenli çeki-bası’da elastik bölgede gerilme-strain ilişkisini verir. Başka elastik deformasyon çeşitleri de vardır. Örneğin milin burulması gibi... O zaman kayma modülü ile hesap yapılmalıdır.

$$G = \tau / \gamma$$



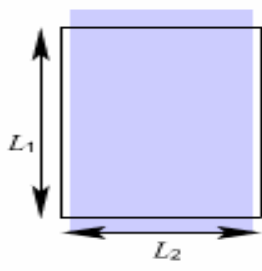
HACİMSAL MODÜL (Bulk modülü) :
Herhangi bir hidrostatik yük uygulandığında, doğan hidrostatik gerilmenin volumetrik strain'e (şekil değişimine) oranına hacimsel modül denir.



κ = Bulk modulus
 σ = Hydrostatic pressure
 ϵ_V = Volumetric strain

$$\epsilon_V = \frac{\Delta V}{V_1}, \kappa = \frac{\sigma}{\epsilon_V} \Rightarrow \kappa = \frac{\sigma \cdot V_1}{\Delta V}$$

POISSON ORANI (Poisson ratio) : Başka bir önemli elastik deformasyon bölgesi özelliğidir. Bir malzeme elastik olarak zorlandığında Çap yönündeki değişimin Boyca değişime oranına **poisson oranı** denir.



Axial strain, $\epsilon_1 = \frac{\Delta L_1}{L_1}$
Normal strain, $\epsilon_2 = \frac{\Delta L_2}{L_2}$
Poisson ratio, $\nu = \frac{-\epsilon_1}{\epsilon_2}$

Poisson oranı

$$\nu = (\Delta L_2/L_2) / \Delta L_1/L_1)$$

$$\text{Al} = 0,33 \quad \text{Cu} = 0,33$$

$$\text{Mg} = 0,35 \quad \text{Ti} = 0,34$$

$$\text{Lastik} = 0,50$$

$$\text{DD} = 0,21-0,26$$

$$\text{cam} = 0,24$$

$$\text{Beton} = 0,20$$

$$\text{Pasl. Çelik} = 0,30-0,31$$

SPESİFİK ÖZELLİK : Bazı kullanım yerlerinde minimum ağırlık , maximum mukavemet istenir. Parça ağırlığı, kullanılan malzemenin yoğunluğuna ve hacmine bağlıdır. Yoğunluk bir malzeme özelliğidir. **Maximum mukavemet / Yoğunluk** oranı önemli bir özellik olarak ortaya çıkar. Buna **spesifik mukavemet** denir



Kuvvetli, fakat aynı zamanda hafif malzemeler =**spesifik mukavemet** için aşağıdakilerden hangi parametreler en uygunudur?

Spesifik özellik = Max.mukavemet / ağırlık

<input checked="" type="radio"/> Maximum strength	<input type="radio"/> Maximum strength × density
<input type="radio"/> Minimum density	<input type="radio"/> Maximum strength / density
<input type="button" value="Score"/>	

Malzeme seçiminde en önemli noktalardan birisi **mukavemet / ağırlık** parametresidir. Bazı kullanım alanları için bu parametre kaçınılmazdır. Bu oran **Ti** için 200×10^3 dür.

Oranlar :

Dökme demir : 21×10^3

Çelik : 64×10^3

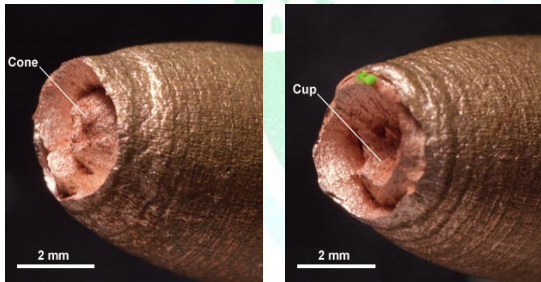
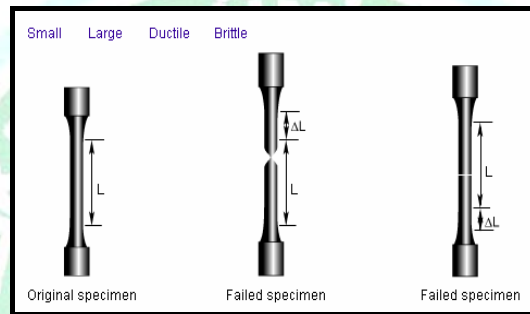
Al alaşımları : 74×10^3

Beton : $1,3 \times 10^3$

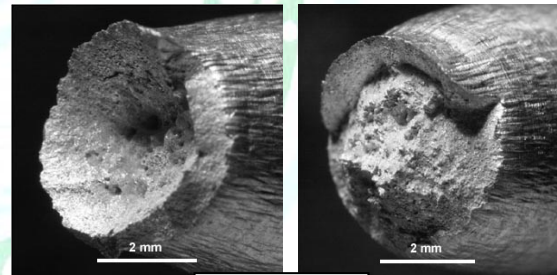
Titanyum : 200×10^3

Material	Strength / MPa	Density / kg m ⁻³
Cast iron	170	7.9×10^3
Steels	500	7.8×10^3
Aluminium alloys	200	2.7×10^3
Concrete	4	3.0×10^3

SÜNEKLİLİK : Bir malzeme plastik olarak deforme edildiğinde deformasyon miktarının bir ölçüsüdür.



Copper



Duralumi

Ductile materials exhibit significant permanent deformation after yielding before fracture.

SÜNEKLİLİK : Aşağıda üç farklı temperleme işlemi görmüş bir alüminyum malzemenin süneklilik kıyasını inceleyiniz?

	Akma / MPa	Çekme / MPa	% uzama / %	%kesit daralması / %
T4	106	206	26	37
T6	220	265	13	17
T7	201	233	11	31

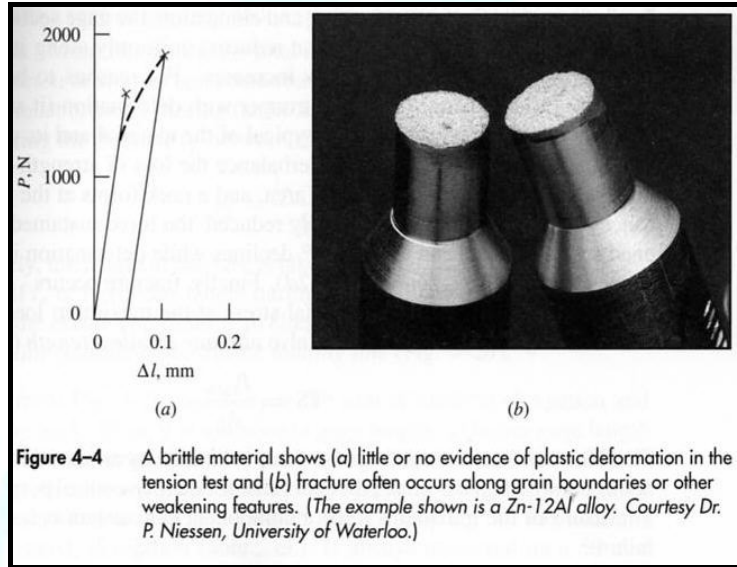
%uzama esas alırsa süneklilik açısından en kötü alüminyum hangisidir?

T4 T6 T7

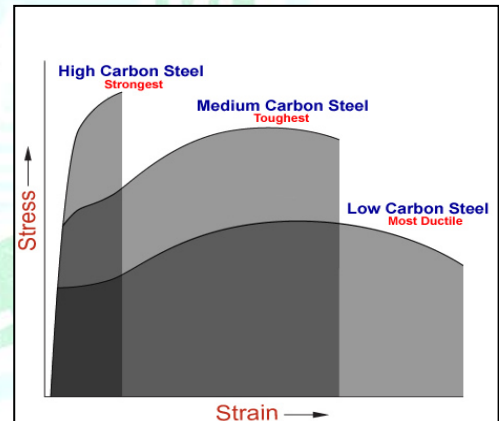
%kesit daralması esas alırsa süneklilik açısından en kötü alüminyum hangisidir?

T4 T6 T7

GEVREKLİK : Bir malzeme zorlandığında plastik deformasyon göstermeden hasar vermesi, onun gevrek olması sebebiyledir.



TOKLUK : Bir malzeme zorlandığında hem yüksek mukavemet göstermesi hem de yüksek süneklilik göstermesi halinde tok malzeme olarak anılır. Aşağıda en güçlü+tok+sünek malzeme örnekleri görülmektedir.



TOKLUK (Toughness) : Malzemelerde (**Mukavemet + süneklilik**) göstergesidir.Aynı zamanda gerilme altında malzemeyi kırmak için harcanan enerjinin de bir ölçüsüdür.Çekme deneyi eğrisi altında kalan eğrinin alanı “enerji” ifadesidir.

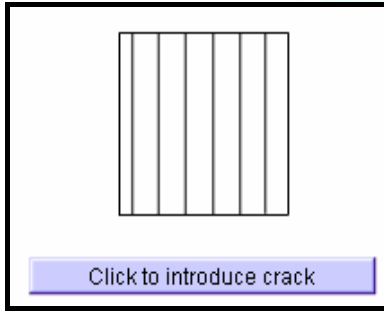
Hangi durumda tokluk çok daha önemlidir?

1. Crash impact bar in a car
2. Beam in a building
3. Aeroplane wing skin

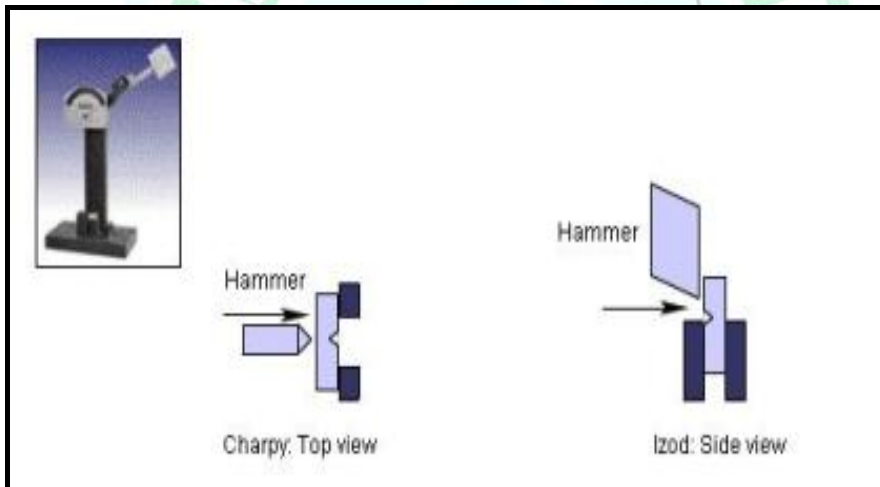
Click the appropriate button after reading each statement.

1 2 & 3 2 1 & 3

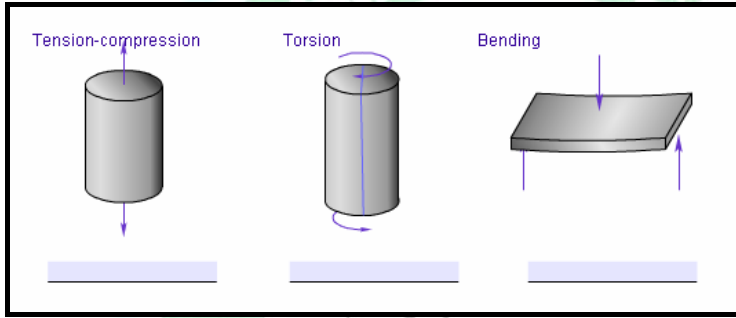
KIRILMA TOKLUĞU : Yük altında malzemenin çatlak yayılmasına karşı direncinin sayı ile ifade edilmesidir. $K = \sigma (\pi.a)^{1/2}$ formülü ile gösterilir. K' sı büyük olan malzemeler çatlak yayılmasına karşı daha dirençli olacaklardır.



ÇENTİK DARBE (Impact)TOKLUĞU= ENERJİSİ : Malzemelerin kırılma(enerjileri) işlerini ifade eder. Sünek malzemeler gevrek malzemelerden daha büyük kırma enerjisi gerektirirler. Süneklilik – tokluk – çentik darbe enerjisi arasında genel bir bağıntı mevcuttur.



YORULMA TOKLUĞU=DİRENCİ : Malzemeler tekrarlı yüklemelerden sonra yorulurlar.Bir malzemenin tekrarlı yük altında, içindeki çatlakları büyütmeğe uğraşırken, malzemenin direnmesini ifade eder.



Çekme deneyi ile plastik şekil verme arasında ilişki varmıdır ?

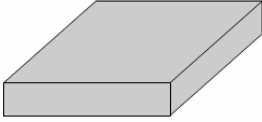
Evet .

Kuvvet ve şekil değiştirmeler arasındaki bağıntuların incelenmesi en iyi çekme deneyi uygulamasından öğrenilir.

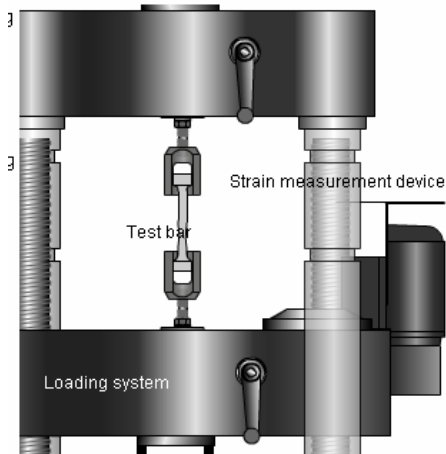
ÇEKME DENEYİ TESTİ

ÇEKME DENEYİ EĞRİSİ : Plastik şekil verme en iyi çekme deneyi eğrisi ile açıklanır.

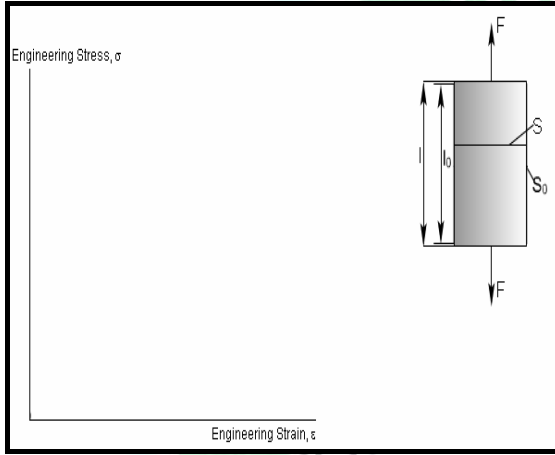
1)-Numune hazırlama



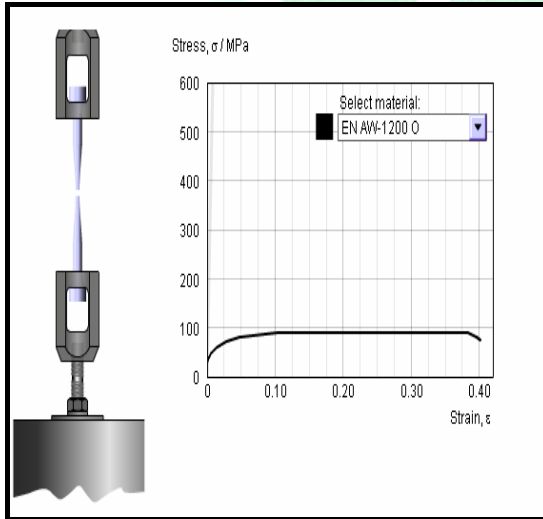
2)-Çekme deneyinin yapıışı



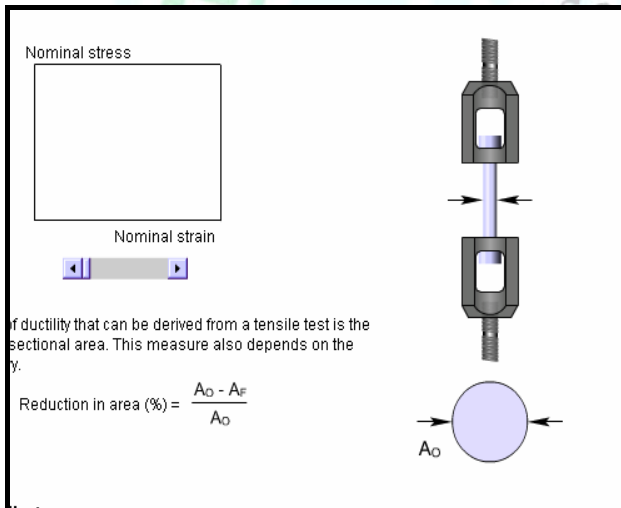
3)- Çekme deneyi eğri çizimi



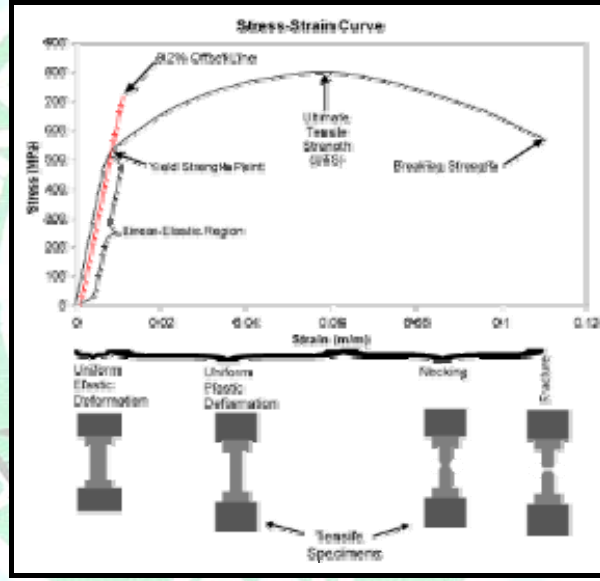
4)- Değişik (Al) alaşımları için çekme deneyi eğrileri



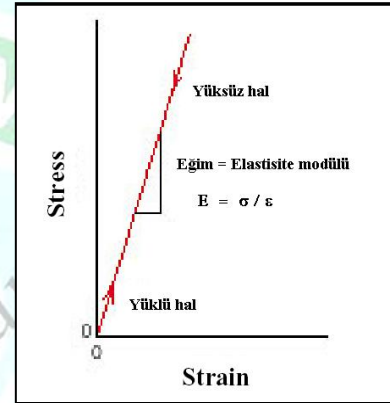
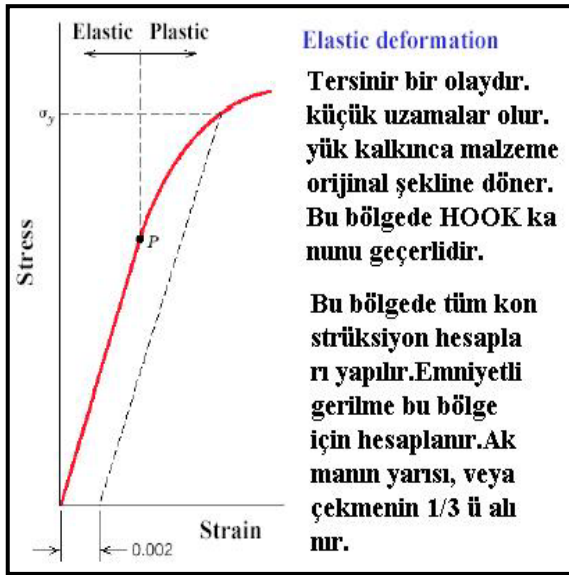
5)- Kesit azalmasının eğri çizimi ile gösterilmesi



MÜHENDİSLİK EĞRİSİ ÇİZİMİ : Bu eğri, yüklerin ilk kesite $A_0 \cdot a$ bölünmesi ile çizdirilir.



Çekme eğrisinin bölümleri : ELASTİK BÖLGE



ÖNEMLİ UYARI !!!!!

ELASTİK BÖLGE : ANELASTİCİTY =(Elastik deformasyonun zamana bağımlılığı)

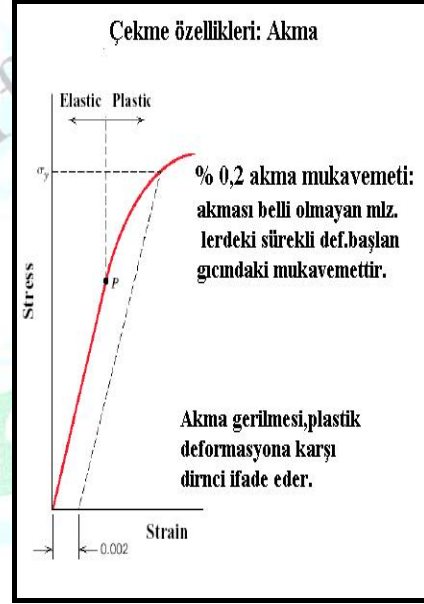
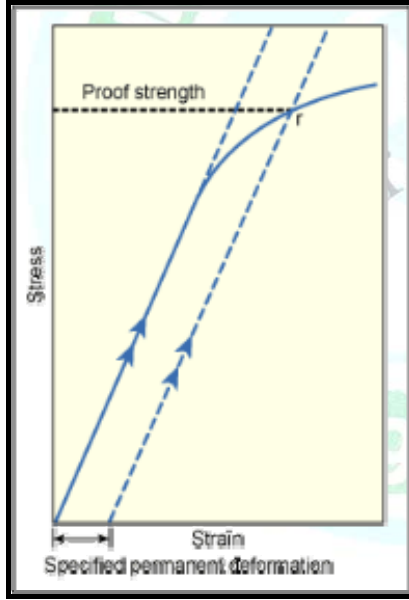
- Şimdiye kadar metal malzemeler için elastik deformasyon zamandan bağımsız farzedildi.

Oysa gerçekte, elastik deformasyon zamana bağlıdır. İlk yüklemekten sonra yükte gevşeme olur.Malzemenin bu davranışına **ANELASTİSİTE** adı verilir.

- Anelastisite'nin etkisi metallerde normalde çok küçüktür. Fakat **plastikler** için çok çok önemli olabilir.
- Buna **VİSCO-ELASTİK DAVRANIŞI** denir.

% 0,2 AKMA MUKAVEMETİ = (Proof strength)

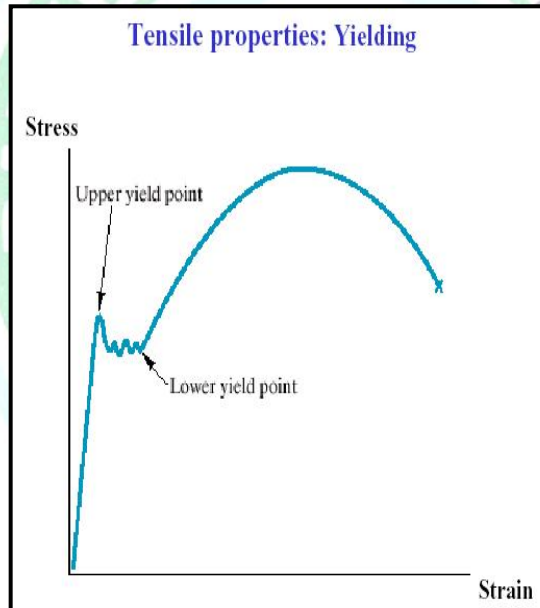
Akması belli olmayan malzemeler için kullanılan mukavemet terimidir.

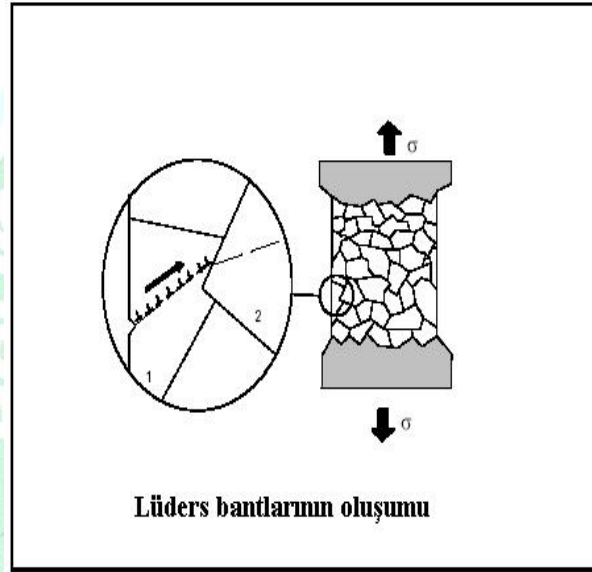


AKMA OLAYI VE AKMA MUKAVEMETİ

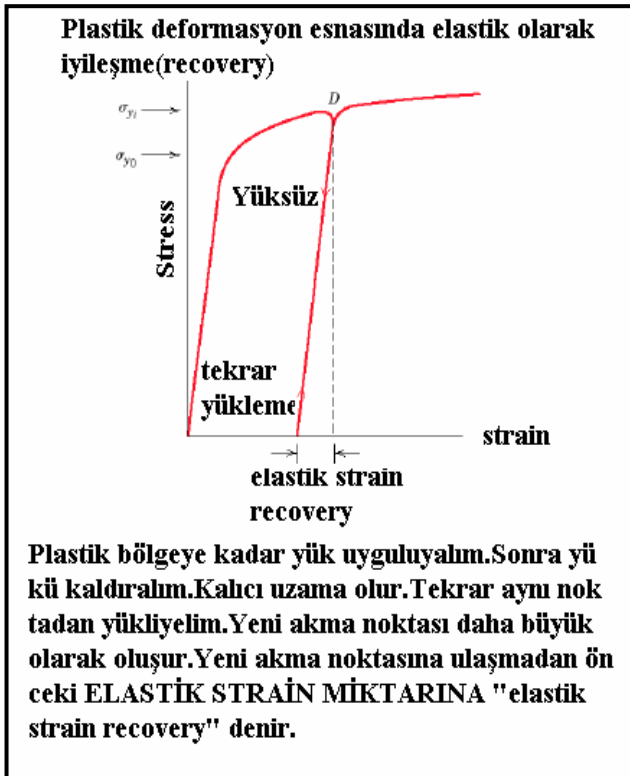
Düşük "C" lu bir çelik te bir üst akma, bir alt akma noktası gösterir. Akma gerilmesi olarak enalt akma gerilmesini esas alır. Akma olayın da inip çıkmalar dislo kasyon hareketlenmesi ve engellenmelerin aşıl ması sebebiyledir.

$$\sigma_{ak} = F_{ak} / A_o$$



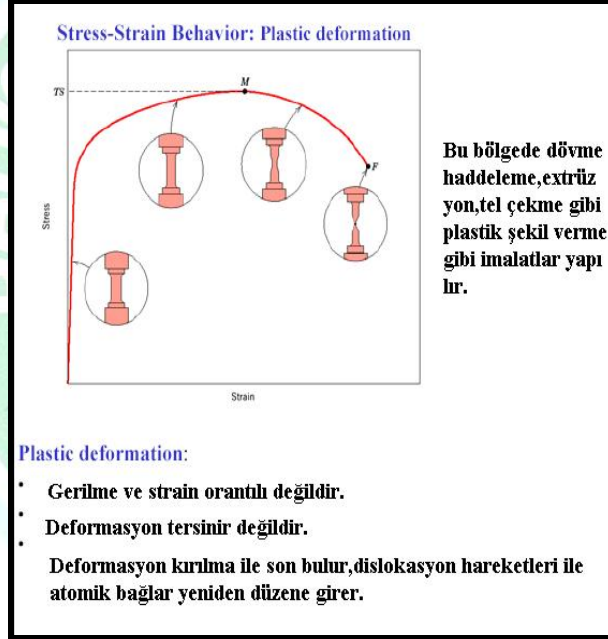


ELASTİK OLARAK İYİLEŞME=(Elastic strain recovery)

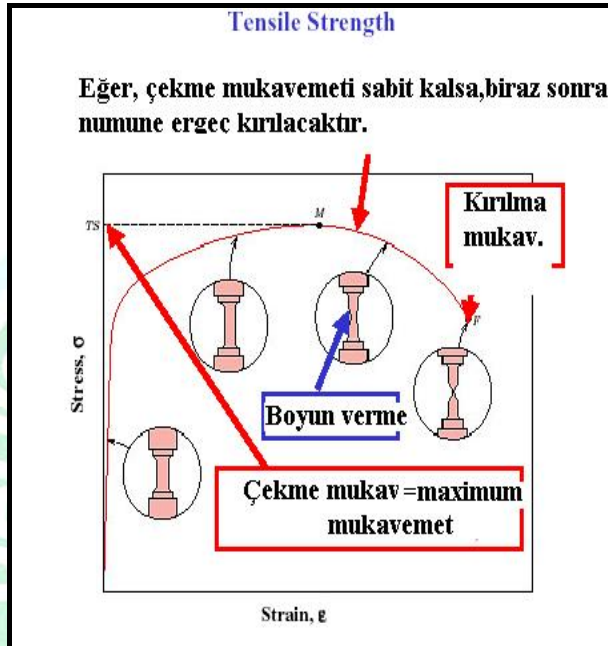


Bu olay saçların şekillendirilmesinde geri yaylanma olarak bilinir.Pekleşme katsayısı (n) ile alakalıdır.

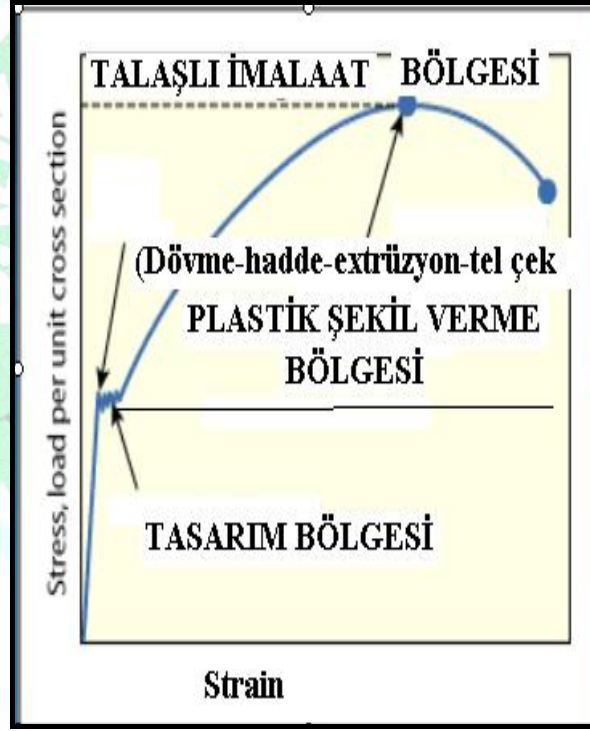
PLASTİK BÖLGE :



Çekme mukavemeti



Çekme deneyi eğrisini 3 farklı iş için kullanırız.Kullanılan bölgeler aşağıda gösterilmiştir.



ÇEKME DENEYİ EĞRİSİNDEN FAYDALANARAK YAPILAN HESAPLAMALAR

Maximum çekme mukavemeti :

$$\sigma_{\max} = F_{\max} / A_0$$

Kopma mukavemeti :

$$\sigma_{\text{kop}} = F_{\text{kop}} / A_0$$

% Kesit daralması :

$$\psi \% = (A - A_0) / A_0 * 100$$

% Uzama miktarı :

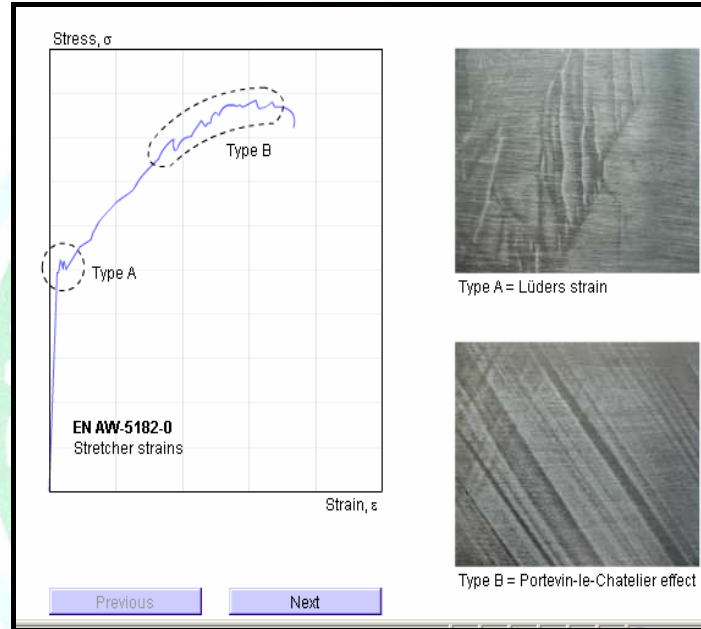
$$\% \varepsilon = (L - L_0) / L_0$$

FARKLI MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Metal&alaşım	Malzemelerin mekanik özellikleri		% Uzama= sünelklilik [in 50 mm (2 in.)]
	Akma muk. MPa (ksi)	Çekme muk. MPa (ksi)	
Aluminum	35 (5)	90 (13)	40
Copper	69 (10)	200 (29)	45
Brass (70Cu-30Zn)	75 (11)	300 (44)	68
Iron	130 (19)	262 (38)	45
Nickel	138 (20)	480 (70)	40
Steel (1020)	180 (26)	380 (55)	25
Titanium	450 (65)	520 (75)	25
Molybdenum	565 (82)	655 (95)	35

Malzemelerin akma ve çekme mukavemetleri önceden yapılan ısı işlem, içlerindeki impürity seviyeleri ve ısıya maruz kalmaları sebebiyle değişir. Bu değişiklik, malzeme içersindeki dislokasyonların davranışları sebebiyledir. Yalnızca (E), bunlardan etkilenmez. Akma, çekme ve (E), artan sıcaklıkla azalır, sünelklilik ise % uzama artan sıcaklıkla artar.

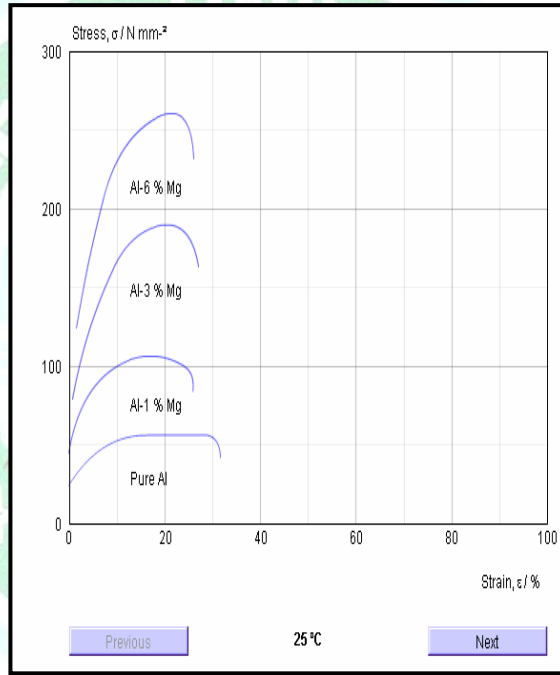
Normal ve tırtıklı akma terimleri : Aşağıda normal ve tırtıklı akma arasındaki farkı göreceksiniz.



1992

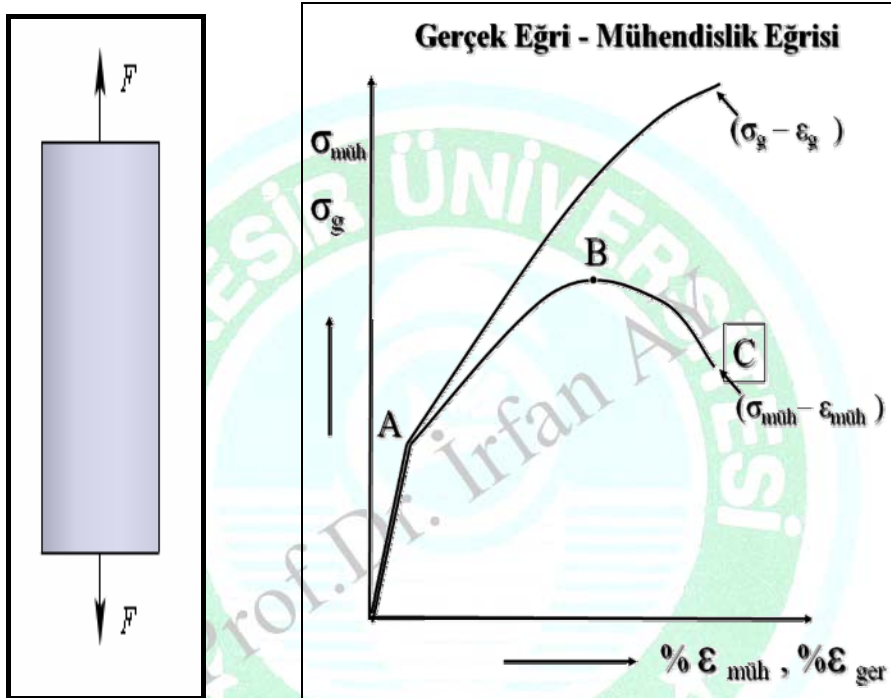
Sıcaklığın çekme eğrisi üzerindeki etkileri :

- Artan sıcaklıkla :
- Gerilme azalır.
 - uzama artar.
 - Tırtıklı akma azalır



GERÇEK ÇEKME EĞRİSİ

Gerçek eğri – Mühendislik eğrisi

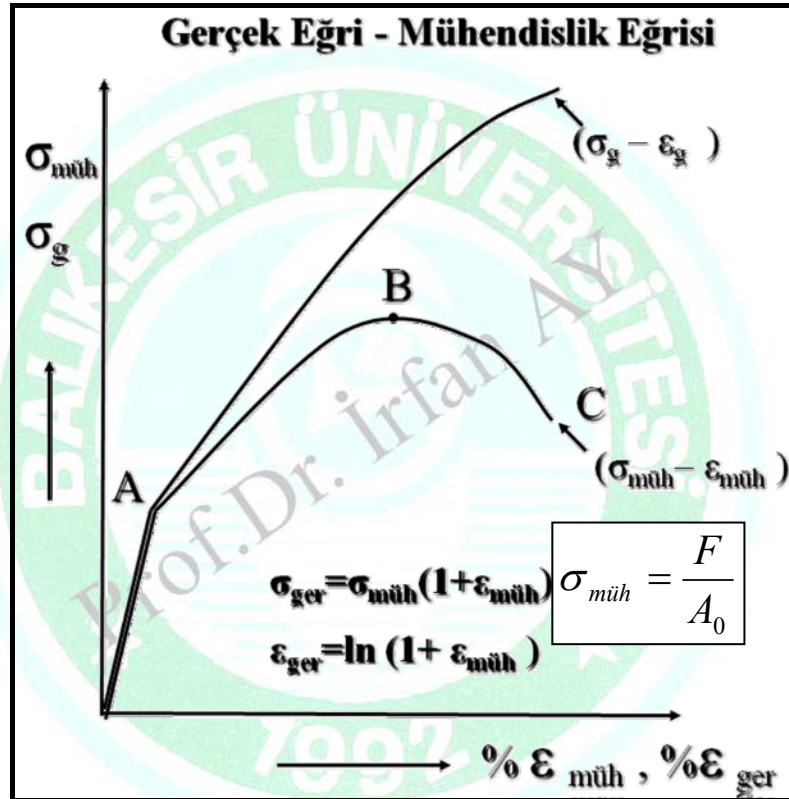
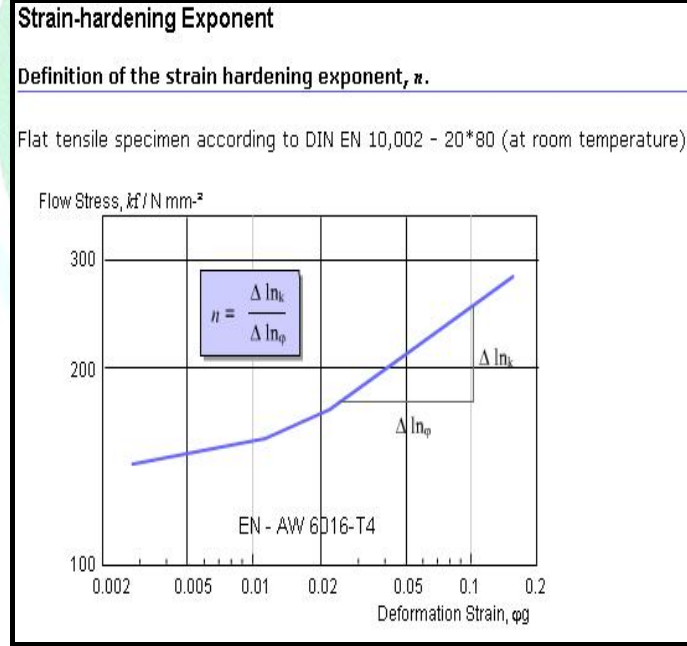


GERÇEK GERİLME-GERÇEK STRAİN EĞRİSİNİN ÖNEMİ :

Gerçek eğri, mühendislik eğrisinden faydalanılarak çıkartılır. Bu eğrinin çıkartılışında yükler o anki ki gerçek kesitlere bölünür. Gerçek eğri **pekleşme katsayısının (n)** bulunması için gereklidir. Bu

katsayı, parça serviste çalışırken malzemenin mukavemetli olmasına yol açan pekleşme ile ilgili bir malzeme özelliğidir. **Dislokasyon karışıklıkları ve kitlenmeleri** sonucu plastik deformasyonla mukavemette artış olur. Güçlü bir pekleşme olması, malzemenin uzamasının sınırını bilmemize yardımcı olur. Bundan dolayı şekil verme proseslerinde çok önemlidir. **Pekleşme**, plastik bölgenin homojen şekil değiştirmenin olduğu kısımda uygulanır.

Pekleşme üsteli (n): : Dislokasyon hareketini, zorlaştıran engel olan herşey malzeme mukavemet artışına sebep olur.



Mühendislik Gerilmesi

$$\sigma_{müh} = \frac{F}{A_0}$$

Mühendislik Birim Şekil Değiştirme

$$\epsilon_{müh} = \frac{L-L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - \frac{L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1$$
$$\left[\epsilon_{müh} + 1 = \frac{L}{L_0} \right]$$

Gerçek Gerilme

$$\sigma_{ger} = \frac{F_g}{A_g}$$

Gerçek Birim Şekil Değiştirme

$$\epsilon_g = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \left| \ln L \right|_{L_0}^L = \ln L - \ln L_0 = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

ϵ_{ger} ile $\epsilon_{müh}$ Arasındaki İlişki

$$\left[\epsilon_{müh} + 1 = \frac{L}{L_0} \right] \quad \text{1}$$

Bulmuştuk

$$\epsilon_g = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right) \quad \text{2}$$

Bulmuştuk

İki nolu denklemde L/L_0 ' in yerine değeri yazılırsa

$$\epsilon_g = \ln(\epsilon_{müh} + 1) \quad \text{Bulunur.}$$

$$\sigma_{müh} = \frac{F}{A_0} \quad \text{1}$$

Bulmuştuk

$$\sigma_{ger} = \frac{F_g}{A_g} \quad \text{2}$$

Bulmuştuk

Hacim sabitliği ifadesinden ($V_0 = V$) değerler yerine yazılırsa

$$L_0 \cdot A_0 = L \cdot A \quad \text{olur. Her iki taraf L ye bölünürse}$$
$$\frac{L_0 \cdot A_0}{L} = \frac{L \cdot A}{L} \quad A' \text{nin değeri bulunur. 2 de yerine konursa}$$
$$\sigma_g = \frac{F}{L_0 \cdot A_0} = \frac{F}{A_0} \cdot \left(\frac{L}{L_0} \right) \quad \text{olur.}$$
$$\text{Buradan } \left[\sigma_g = \sigma_{müh} \cdot (\epsilon_{müh} + 1) \right] \quad \text{bulunur.}$$

Mühendislik Uzaması ile Gerçek Uzama Arasındaki İlişkinin Matematiksel Olarak Tespiti

$\epsilon_{müh}$	0.01	0.05	0.20	1	2	5	10
ϵ_g	0.01	0.048	0.18	0.69	1.1	1.8	2.4

$$\sigma_g = \sigma_{müh} \cdot (\epsilon_{müh} + 1)$$

(ϵ_{ger}) ile % ψ arasındaki ilişki

Gerçek uzama $\epsilon_{ger} = L_n(L/L_0)$ şeklindedir. Hacim sabitliği ifadelerinden $A_0 \cdot L_0 = A \cdot L$, $L/L_0 = A_0/A$ olur. Yerine yazarsak $\epsilon_{ger} = L_n(A_0/A)$ olur. $\Psi = (A_0 - A)/A_0$ idi.

$\Psi = 1 - A/A_0$ yazılır. $A/A_0 = 1 - \Psi$ yazılır. A/A_0 ters yazarsak $A_0/A = 1/(1-\Psi)$ olur. ϵ_{ger} de değeri yerine koyarsak ; $\epsilon_{ger} = L_n(1/(1-\Psi))$ yazılır.

($\epsilon_{müh}$) ile % ψ arasındaki ilişki

En son müh. uzamasını ($\epsilon_{müh}$) ile gerçek uzama arasındaki ilişki $\epsilon_{ger} = L_n(1 + \epsilon_{müh})$ olarak bulmuştuk. $\epsilon_{ger} = \epsilon_{ger}$ eşitlenirse $L_n(1 + \epsilon_{müh}) = L_n(1/(1-\Psi))$ yazılır. L_n 'ler gider buradan ;

$1 + \epsilon_{müh} = 1/(1-\Psi) = 1/(1-\Psi)$ olur. $\epsilon_{müh}$ 'liği yalnız bırakırsak $\epsilon_{müh} = 1/(1-\Psi) - 1$ paydalar eşitlenirse

$$\epsilon_{müh} = 1 - (1 - \Psi) / (1 - \Psi) = \Psi / (1 - \Psi) \text{ olur.}$$

$$\epsilon_{müh} = \Psi / (1 - \Psi) \text{ olarak bulunur.}$$

Gerçek Çekme Diyagramı Mühendislik Çekme Diyagramı Gibi Bir Maksimumdan Geçmez

Dairesel kesitli çubuklarda gerçek şekil değiştirmenin çubuğun o anındaki çapının ölçülmesi ile hesaplanabileceği aşağıdaki denklemden görülür.

$$A_0 \cdot L_0 = A \cdot L$$

$$\epsilon_g = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) = \ln\left(\frac{A_0}{A}\right) = 2 \ln\left(\frac{D_0}{D}\right)$$

GERÇEK EĞRİ İLE MÜHENDİSLİK EĞRİSİ ARASINDAKİ FARKLAR NELER ?

1)- Mühendislik eğrisi deformasyon işini gerçek anlamda göstermez. Çünkü kesit ilk ve son durum alınıyor.

2)- Mühendislik eğrisi YANILGIYA düşer. Şöyle ki ;

Silindirik bir çubuğu çekelim ve ilk uzunluğun 2 katına çıkartalım. Uzama % 100 olur değil mi?

$$\varepsilon_{müh} = (2L_o - L_o) / L_o = 1.0$$

- Aynı büyüklükte (% 100) $\varepsilon_{müh}$ 'ü ters yönde basma ile yapmak istesek ; İlk bakışta uzunluğun sıfıra inmesi akla gelir değil mi?

$$\varepsilon_{müh} = - (L_o - 0) / L_o = - 1.0$$

- Oysa mantıklı olan ilk uzunluk basma yolu ile yarı-yarıya indirilirse aynı büyüklükte fakat ters işaretli olarak % 100 şekil değiştirme sağlanır.
- Oysa **gerçek eğride** bu olay ;

% 100 çekme işleminde $\varepsilon_{ger} = \ln(2L_o/L_o) = \ln 2$ olur.

% 100 basma işleminde $\varepsilon_{ger} = \ln((L_o/2)/L_o) = \ln(1/2)$
 $= \ln(2^{-1}) = - \ln 2$ olur.

Gerçek eğri yanlıgı yapmaz.

3)- **Gerçek eğri**, her kademedeki yapılan birim şekil değiştirmelerin toplanabilir olduğunu gösterirken **mühendislik eğrisi** bu özelliği vermez.Nasıl mı? Şöyle ;

Müh. eğrisinde ; L_o (örnek 10 cm olsun) uzunluğunda bir çubuk 1.kez %20 uzatılsın. sonuç ne olur? $1.2 L_o$ olur değil mi!! (yani 12 cm) 2.kez $1.2L_o$ (12 cm' lik) çubuğu %20 uzatılsın.sonuç ne olur?..

. $1.44 L_o$ olur,yani (14.4 cm).Her iki kademe sonunda toplam uzama % 44 değil mi ? Yani 10 cm 'lik çubuk 14,4 cm olmuşsa % 44 uzamış demektir.

Halbuki her kademedeki %20 + %20 = %40 olmalıydı .

Aynı işlemi gerçek eğride yaparsak ; L_o (örnek 10 cm olsun) uzunluğunda bir çubuk 1.kez %20 uzatılsın.sonuç ne olur? $\varepsilon_{ger} = \ln(1,2 L_o/L_o) = \ln(1,2) = 0,18 = \%18$ yani $1,18 L_o =$ gerçekte %18 uzama ile (11,8 cm) olur. 2.kez $1.18 L_o$ (11,8 cm'lik) çubuğu %20 uzatılsın.sonuç ne olur? yani (14,16 cm) olur. 2.kez de gerçekte %18 uzamakla toplam :

$$\varepsilon_{ger} = \ln(1,36 L_o / L_o) = \ln(1,36) = 0,31 = \%31$$

Her iki kademe toplamı ;

$0,18 + 0,31 = 0,49$ olur. Bunun ilk çubuğa göre gerçek uzaması ise ; $\varepsilon_{ger} = \ln(1,49 L_o/L_o) = \ln(1,49)$

$$\varepsilon_{ger} = 0,40 \text{ bu ise } \% 40 \text{ uzatmayı sağlar.}$$

$$\%20 + \%20 = \%40 \text{ sağlanır.}$$

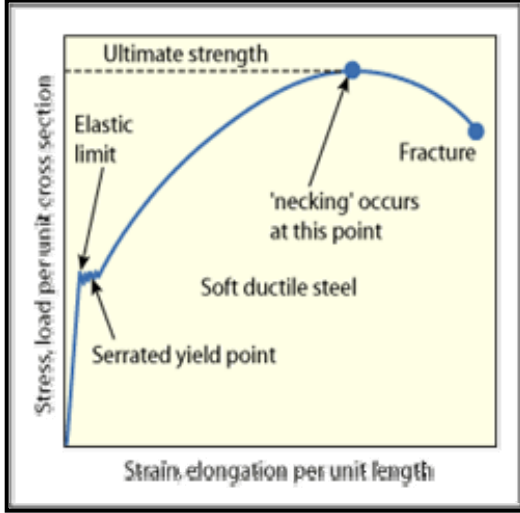
4)- Mühendislik eğrinin tasarımda kullanımı, gerçek eğriden daha kolay ve güvenilirdir.Şöyle ki?

Tüm mühendislik hesaplamalarında emniyetli gerilme hesabı ya akma mukavemeti (2) ye bölünür ya da maksimum çekme mukavemeti (3) 'e bölünür.Her iki değer de birbirine çok yakındır.

Oysa aynı uygulamayı gerçek eğri için yaparsanız aynı katsayıları kullanamazsınız üstelik her durum için kesiti ölçüp hesaplayabilmelisiniz bu ise pratik değildir.

GERÇEK GERİLME – GERÇEK UZAMA EĞRİLERİ İÇİN YAKLAŞIK DENKLEMLER

Homojen deformasyon bölgesi :



Homojen plastik şekil değiştirme bölgesi :

Deneyel olarak elde edilen gerçek gerilme-gerçek uzama eğrilerine çok uyan bazı AMPİRİK FORMÜLLER geliştirilmiştir.Örneğin ilk formül ;

$$\sigma_{ger} = K. \epsilon^n \text{ (Holloman denk.)}$$

Holloman denklemi' nde ;

eğer $\epsilon = 0$ alınırsa $\sigma_{ger} = 0$ olur.

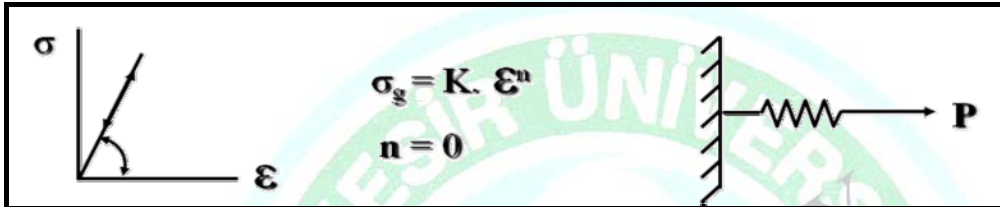
Bu sebeple bu denkleme σ_{ak} eklenmiş ve yeni denk.

$$\sigma_{ger} = \sigma_{ak} +$$

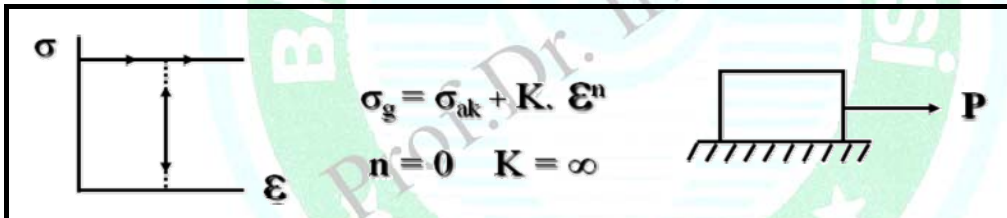
$K. \epsilon^n$ (Ludwing denk.) adını almıştır.

Ludwig'in Değişik Malzemeler İçin Yaklaşık Gerçek Gerilme - Gerçek Şekil Değişirme (Amprık Formülleri)

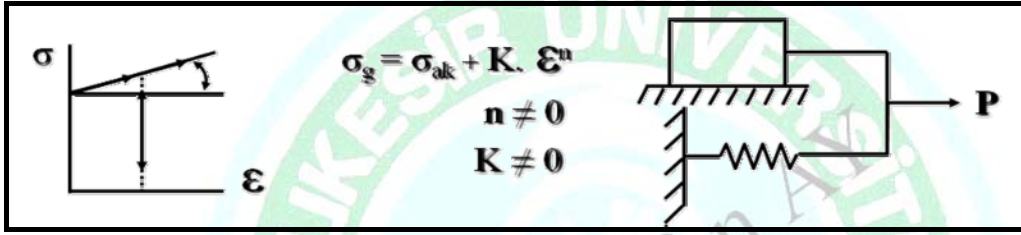
1) Tam Elastik Malzemeler (Cam, seramik, dökme demir)



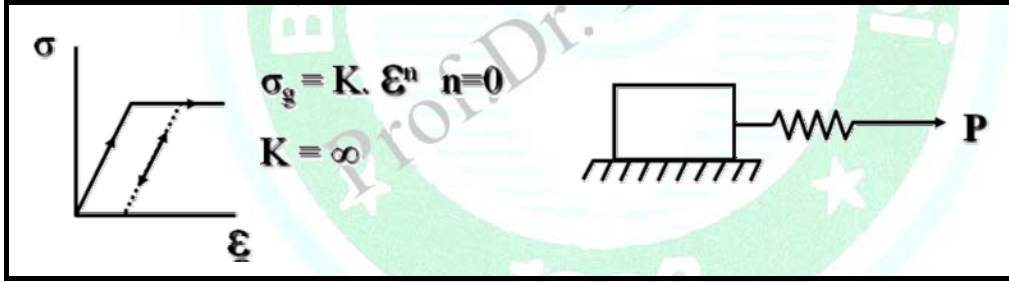
2) Rijit, Tam Plastik Malzemeler ve Dinamik Modeli



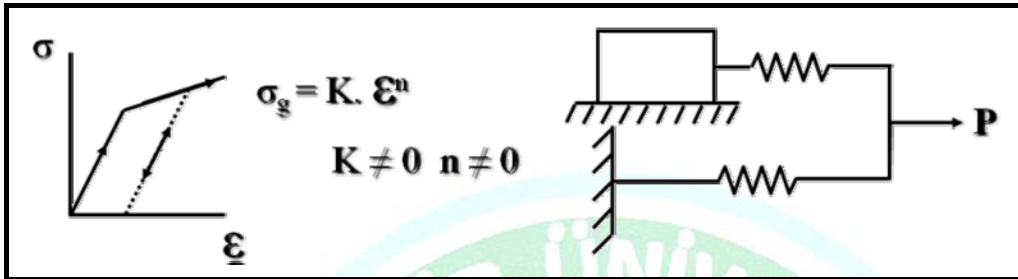
3) Rijit, Linear Pekleşen Malzemeler ve Dinamik Modeli



4) Elastik, Tam Plastik Malzemeler ve Dinamik Modeli



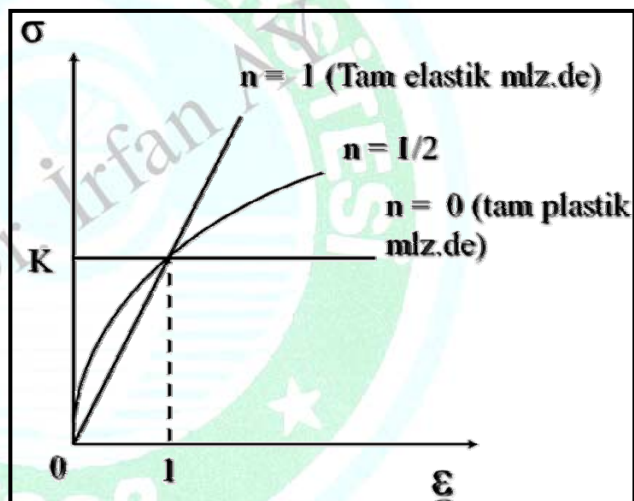
5) Elastik, Linear Pekleşen Malzemeler ve Dinamik Modeli



Homojen plastik şekil değiştirme bölgesi :

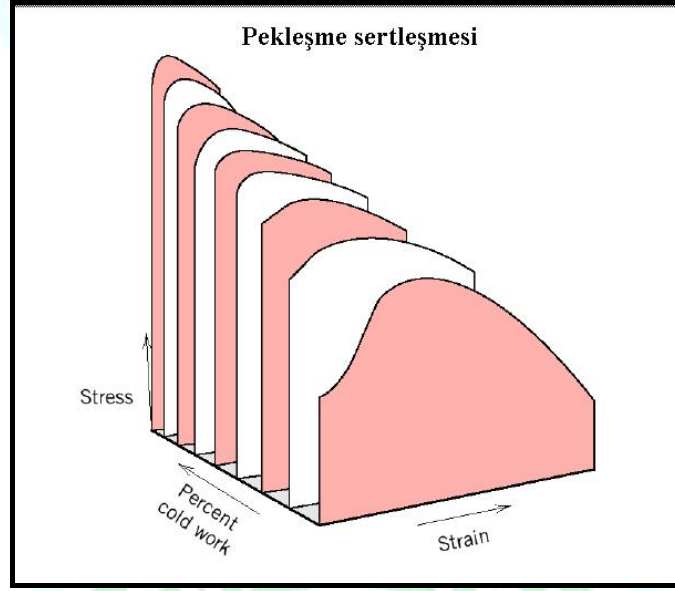
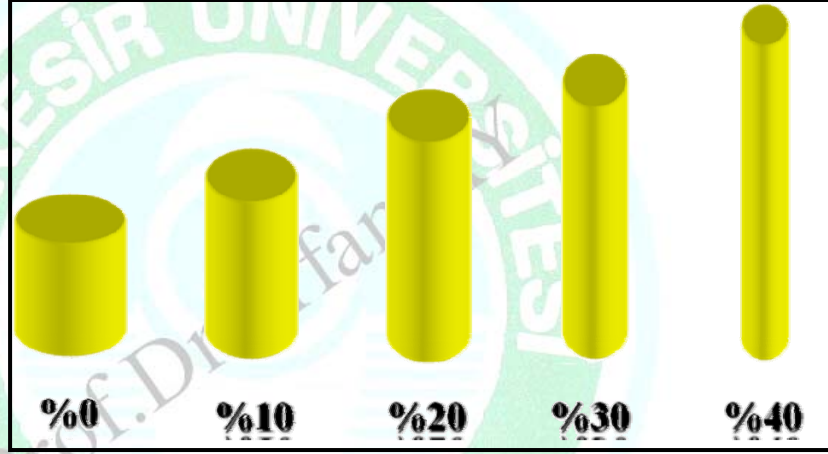
Bu bölgede metalik malzemelerin pekleşme sertleşmesi görülür.

$\sigma_{ger} = K \cdot \epsilon^n$ (Holloman denk.)

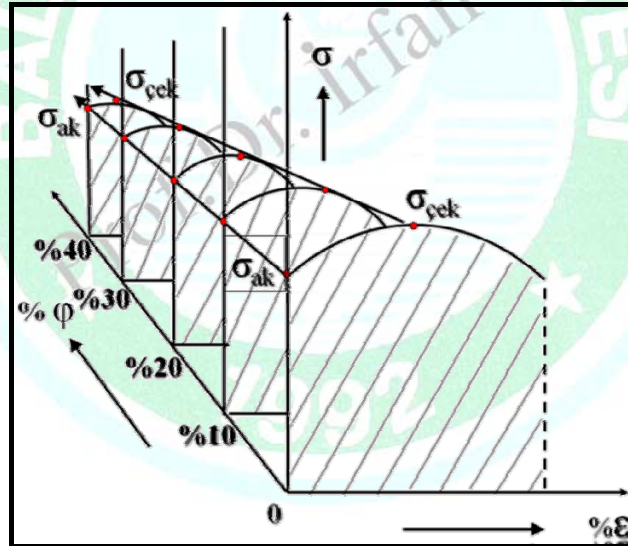


SOĞUK SEKİL VERME

Soğuk şekil vermenin temeli, pekleşme (sertleşme)nin meydana gelmesidir. Pekleşme üsteli ($n = 0 - 1$) arasında değişir. Malzemeyi soğuk olarak deforme ettiğimizi farz edelim. Dökümden çıkmış 6-7 numuneyi ayrı ayrı %10, %20, %30, %40 olacak şekilde deforme edip çekelim.



Gerilme – Uzama – Deformasyon Eğrisi



SOĞUK ŞEKİL VERME

- Plastik deformasyon DİSLOKASYON doğurur. Dislokasyonlar da MUKAVEMET i artırır, SÜNEKLİLİĞİ düşürürler.
- SOĞUK DEFORMASYON HESABI

$$\%CW = \%RA = \frac{A_i - A_f}{A_i} \cdot 100\%$$

$$\%RA = \frac{w_i \cdot l_i - w_f \cdot l_f}{w_i \cdot l_i} \cdot 100\%$$

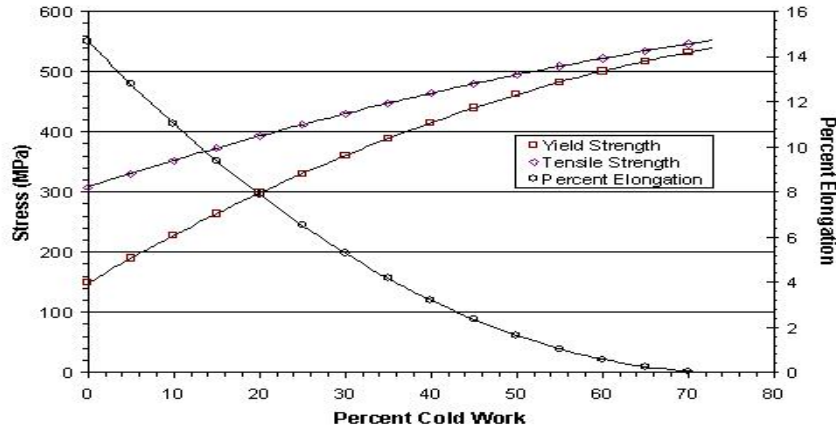
for $w_f \cong w_i$

$$\%RA = \frac{l_i - l_f}{l_i} \cdot 100\%$$

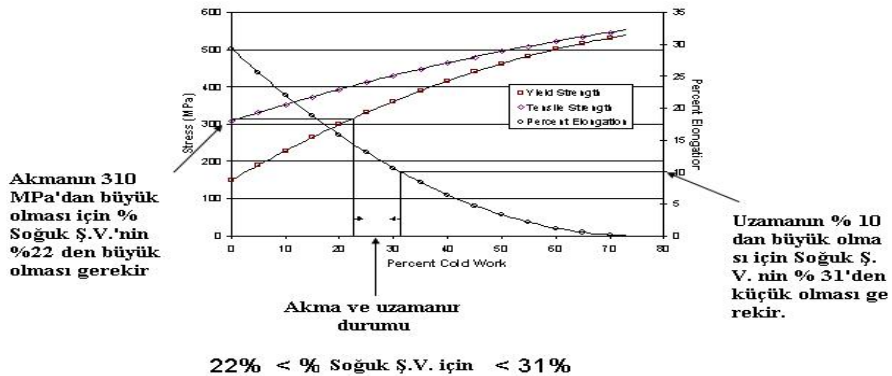


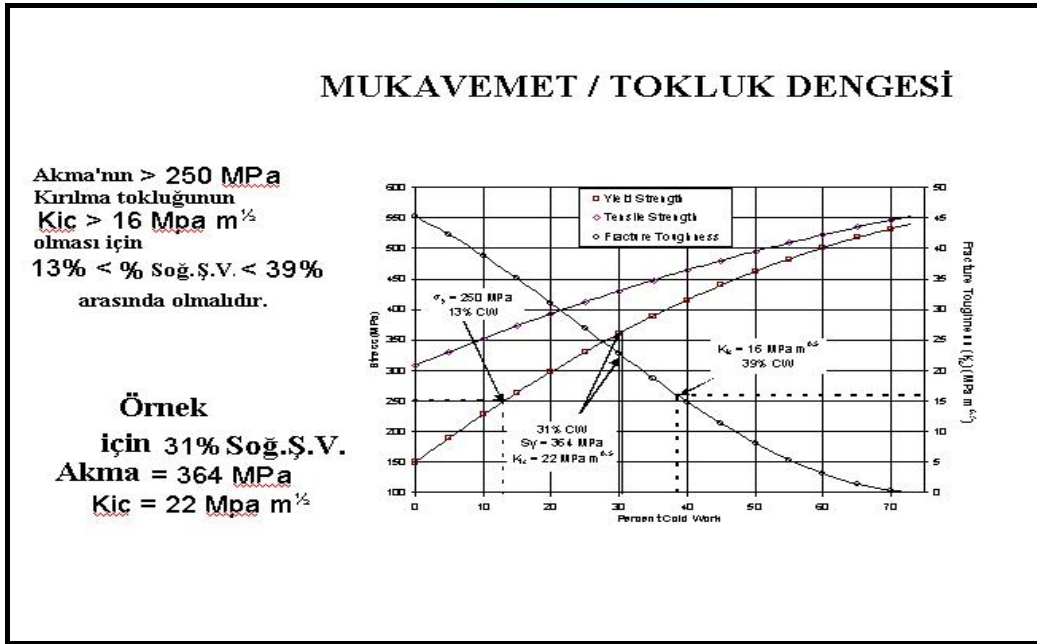
$$\%RA = \frac{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_f^2}{4}}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4}} \cdot 100\% = \frac{d_i^2 - d_f^2}{d_i^2} \cdot 100\%$$

Soğuk şekil vermede özellik değişimi

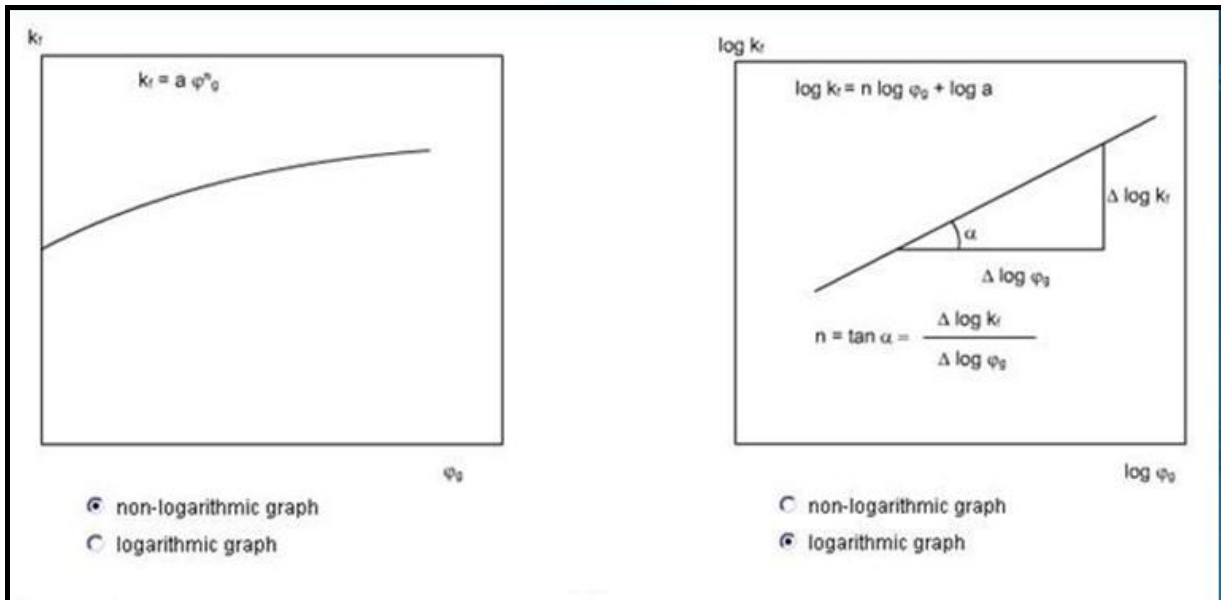


Mukavemet / Süneklilik Dengesi





PEKLEŞME : Plastik deformasyondan dolayı mukavemetteki artıştır. Metalik malzemeler yük altında gerilmeye maruz kaldıklarında ortaya dislokasyonlar çıkar. Kalıcı şekil değiştirmeler gerçekleşir. Düşük sıcaklıklarda, soğuk işlemden dislokasyonlar malzeme dışına atılmaz, içerde birikirler, yığılırlar ve konsantrasyon artar. Birbirleri ile keşirler. Bu hareketler sonucunda mukavemet artar, süneklilik azalır. Soğuk işlem, **dövme, haddeleme, extrüzyon, tel çekme bükme** gibi işlemlerle yapılır. Pekleşme bu proseslerde daha çok görülür. Azalan sünekliliği ve soğuk işlemden istenmeyen etkileri gidermek için tavlama yapılır. Bu tav **recovery** (poligonizasyon) veya **rekristalizasyon** tavidir. Bu tavlama dislokasyon yoğunluğunu azaltmaya yöneliktir.



Sol tarafta log alınmamış, sağ tarafta ise log'u alınmış **homojen bölgenin** eğri çizimi görülmektedir. Pekleşme olayını matematiksel olarak iki denklemlerle ifade ederiz.

1. Hollomon denklemi $\sigma_{ger} = K \cdot \epsilon^n$

2. Ludwik denklemi $\sigma_{ger} = \sigma_{ak} + K \cdot \epsilon^n$

Bu denklemlerde ;

K = Mukavemet katsayısı

n = Pekleşme katsayısı

Burada ki K, malzeme yapısına bağlı ve işlem prosesinden etkilenen bir katsayıdır, ve ($\epsilon=1$, $\log \epsilon=0$) olduğu noktadaki gerçek gerilme değeridir. n ise 0,2 ile 0,5 arasında değişen bir malzeme özelliğidir.

$n = d \log(\sigma) / d \log(\epsilon)$ şeklindedir.

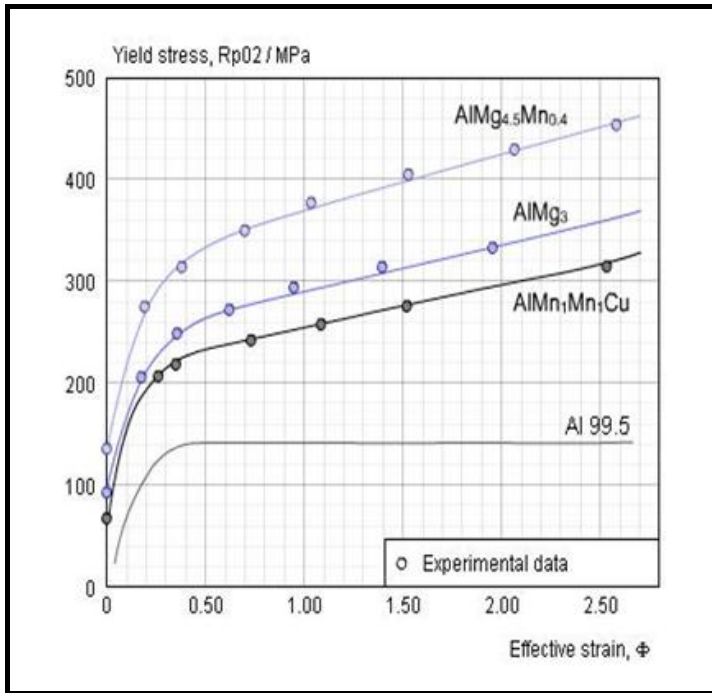
$n = (\epsilon / \sigma) \cdot d\sigma / d\epsilon$

Bu denklem sağdaki diyagramın eğimidir.

Pekleşme hızı ifadesi ise ;

$d\sigma / d\epsilon = n \cdot (\sigma / \epsilon)$ şeklindedir.

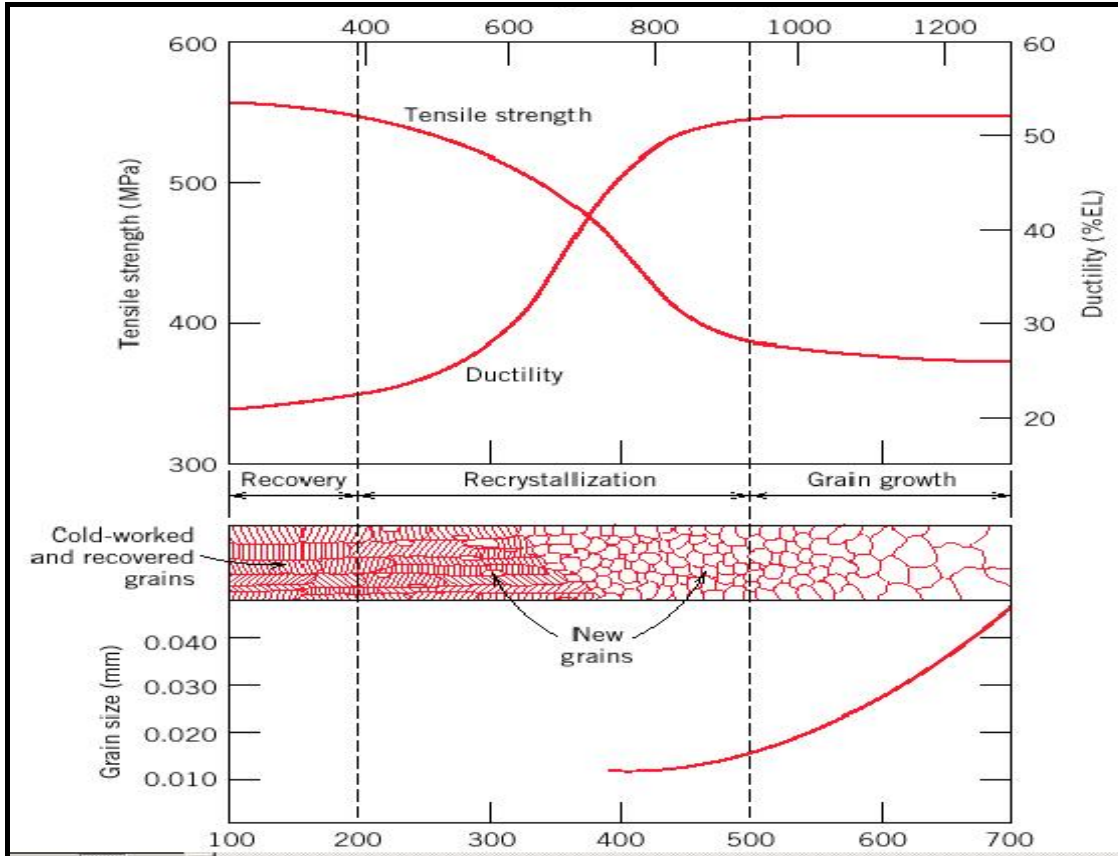
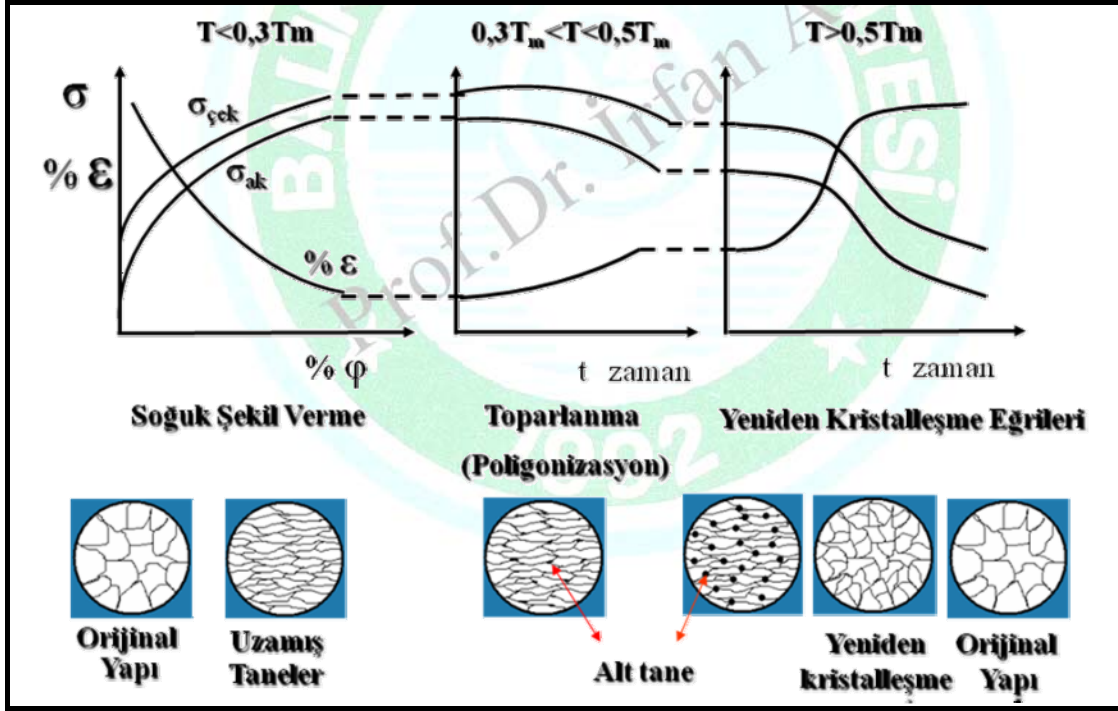
Soğuk haddeleme esnasındaki pekleşme



SOĞUK ŞEKİL VERMENİN ETKİLERİNİN GİDERİLMESİ
TOPARLANMA=POLİGANİZASYON=(RECOVERY),

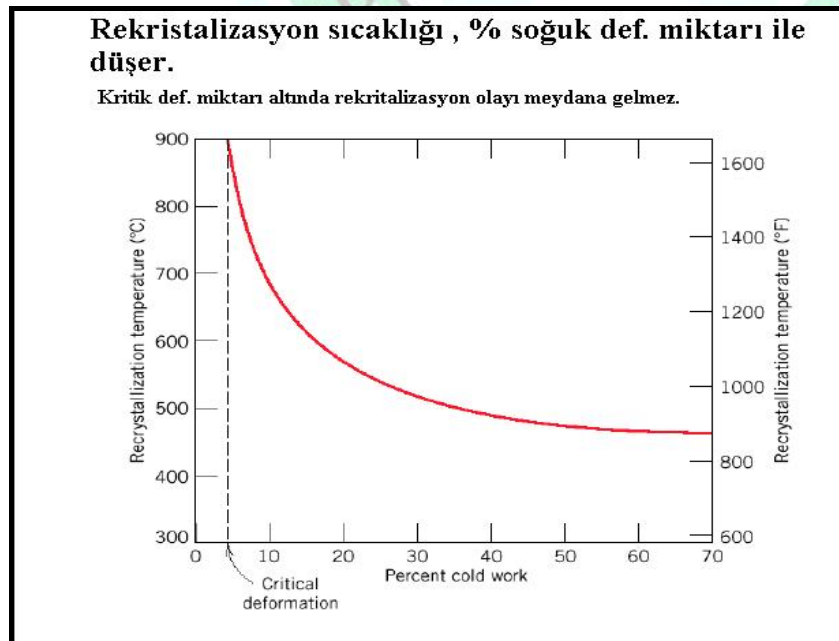
REKRİSTALİZASYON VE TANE BÜYÜMESİ

Soğuk Şekil Verme – Toparlanma (Poligonizasyon) ve Yeniden Kristalleşme Eğrileri



Diyagramların açıklanması :

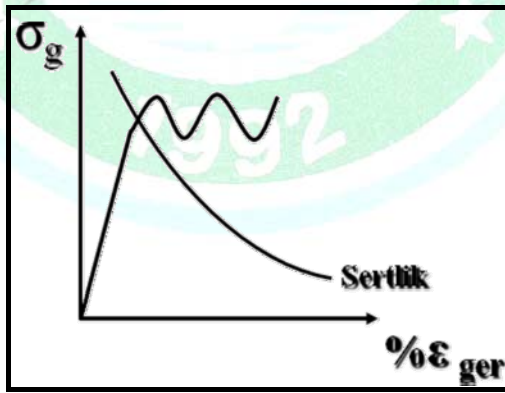
- * Soğuk def.sonucu taneler uzar, dislokasyon birikir.
- * σ_{ak} , $\sigma_{çek}$, sertlik artar , süneklilik (ϵ) azalır.
- * Bütün bunlar sistemdeki depolanmış enerji sebebiyledir.
- * Yapıyı yenilemek için RECOVERY veya REKRİS TELİZASYON işlemi yapılır.
- * **Recovery'de** ; ısıtma – diffusion – dislokasyon hareketi ile birbirini yok etme sonuçta gevşeme olur.
- * **Rekristalizasyon** da ;ısıtma –düşük yoğunluktaki dis lokasyona maruz tanelerin yer değiştirmesi – kısa mesafeli diffusion – alt tane oluşumu- tane çoğalması
- * **Tane büyümesi** ; T_{rek} sıcaklığında uzun süre kalma-tane sınırı hareketi ile tane büyümesi



SICAK ŞEKİL VERME

- 1) Özellikle rekristalizasyon sıcaklığı üzerindeki bir sıcaklıkta şekil verme işlemidir.
- 2) Şekil verme esnasında **PEKLEŞME olmaz**.Kurşun oda sıcaklığında bile sıcak işlemle şekillenir.Çünkü ergime derecesi çok düşüktür.
- 3) Sıcaklık arttıkça,metallerin plastik deformasyona karşı dirençleri düşer.Bu yüzden büyük kütleler dövme,haddeleme extrüzyon v.s gibi sıcak işlemle şekillendirilirler.
- 4) Metaller yüksek sıcaklıklarda belirgin şekilde viskos davranış (**bal kıvamında olma**) gösterirler.
- 5) Yüksek deformasyon hızları ile şekillendirilirlerse, metallerin akmaya karşı dirençleri artar.

- 6) Bu özellik onların viskoz madde davranışı göstermelerinden değil, rekristalizasyon olayının yeteri kadar hızlı olmamasından olabilir.
- 7) Genellikle $0.5 T_m$ 'nin üstündeki deformasyon sıcaklıklarında yapılır.
- 8) Sıcak işleme **gaz boşlukları** giderilir.
- 9) Uzayan taneler küçük ve eş eksenli olur.
- 10) **Oksit, sülfür, nitrür** gibi istenmeyen maddeler kırılır ve üniform şekilde dağılır.
- 11) Şekil verme için gerekli enerji azalır, şekillendirme kolaylığı artar.
- 12) Sıcak şekil vermede **deformasyon hızı** ($\dot{\epsilon}$) çok önemlidir.
- 13) Sıcak şekil vermede ($\sigma_g - \epsilon_g$) eğrisi aşağıdaki gibidir.



Sıcak şekil vermede **mühendislik deformasyon hızı** $\dot{\epsilon}_{müh}$ aşağıdaki şekilde bulabiliriz.

$$\epsilon_{müh} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

$$\dot{\epsilon}_{müh} = \frac{d\left(\frac{L - L_0}{L_0}\right)}{dt} = \frac{1}{L_0} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{V}{L_0}$$

$$\dot{\epsilon}_{müh} = \frac{V}{L_0} \text{ olur.}$$

Deformasyonu yapan takımın hızı

$$\frac{dL}{dt} = V$$

Gerçek deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}_{ger}$) ise aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\epsilon_{ger} = Ln \frac{L}{L_0} \quad \dot{\epsilon}_{ger} = \frac{d\left(Ln \frac{L}{L_0}\right)}{dt}$$
$$\dot{\epsilon}_{ger} = \frac{1}{L} \left(\frac{dL}{dt}\right) \quad \dot{\epsilon}_{ger} = \frac{V}{L} \text{ olarak bulunur.}$$

$$\frac{dL}{dt} = V$$

Deformasyonu yapan takımın hızı

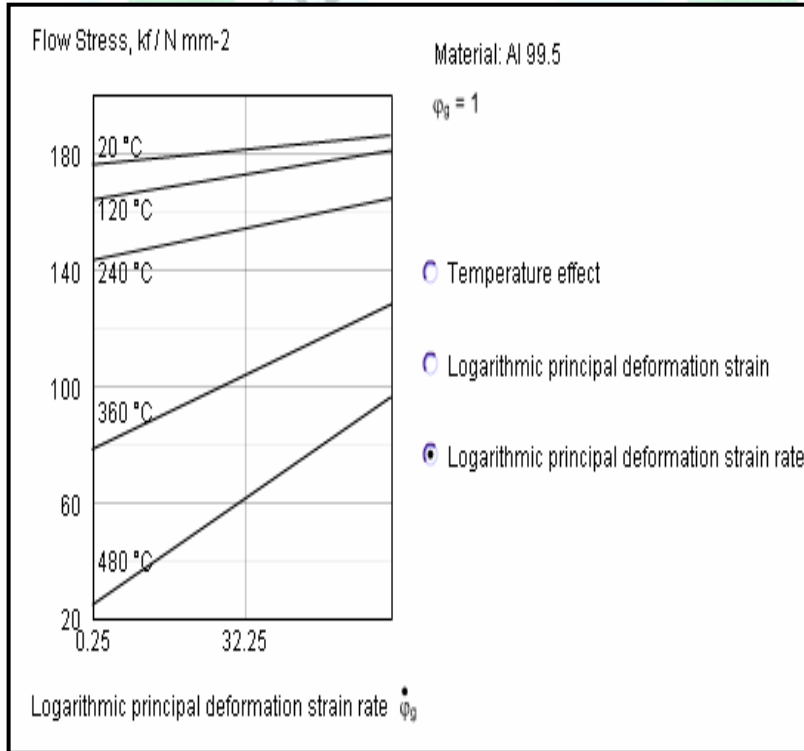
Gerçek gerilmenin hıza bağlı formülü aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\sigma_{ger} = C \cdot \dot{\epsilon}_{ger}^m$$

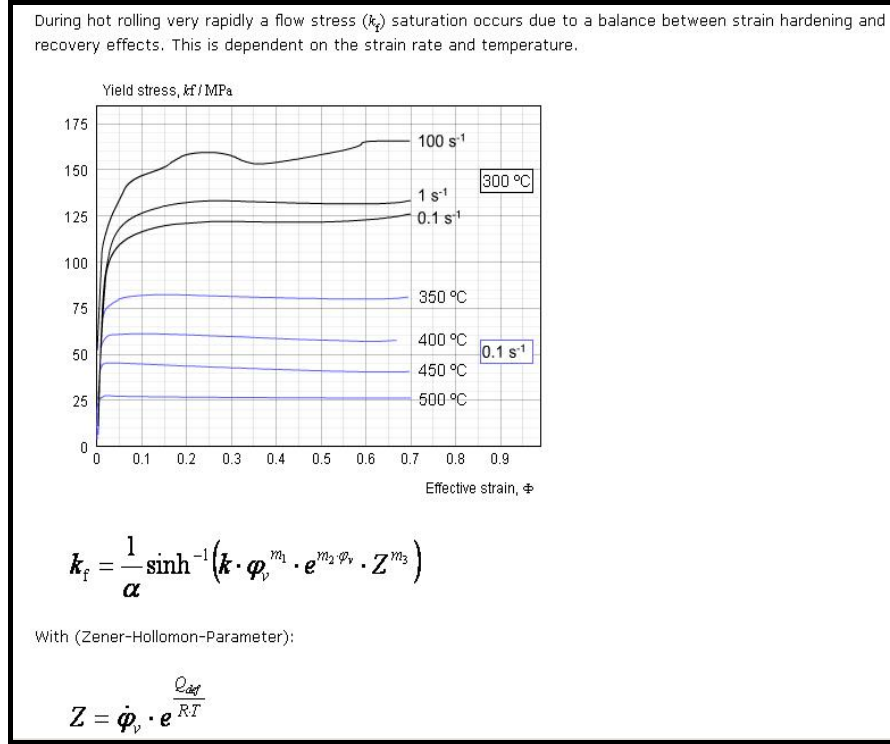
C : Mukavemet katsayısı

m : Şekil verme hızı hassasiyet katsayısı

Sıcak şekil verme $\sigma_g = C \cdot \dot{\epsilon}^m$ etkili parametreler



Sıcak haddeleme
esnasındaki akma
mukavemeti



Sıcak Şekil Verme

(**m**) şekil verme hızı hassasiyet katsayısının şekil verme yöntemine göre değerleri aşağıdaki şekildedir.

- 1) Soğuk şekil vermede **-0.05 < m < 0.05**
- 2) Sıcak şekil vermede **+0.05 < m < 0,3**
- 3) Süper plastisitede **0.3 < m < 0.7**
- 4) Newton sıvılarında **m = 1** olarak alınır.

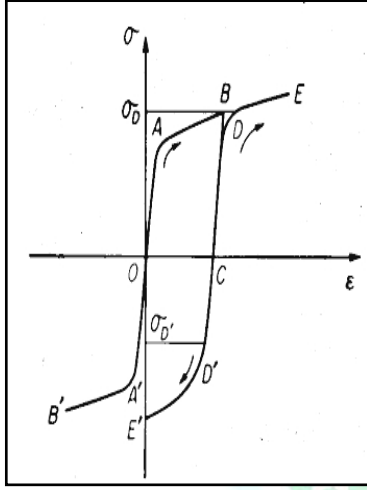
m < 0.1 ise malzeme sünek değildir, gevrektilir.

0.3 < m < 0.4 ise malzeme sünektir.

m > 0.5 ise malzeme süper plastiktir.

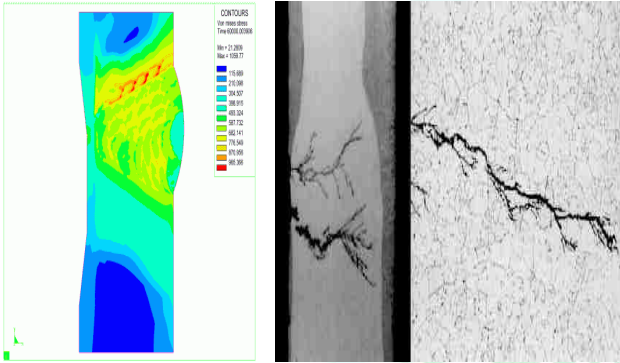
m = 1 ise malzeme cam gibi akar.

BAUSCHINGER ETKİSİ



Basit çekme deneyi yaparken akma sınırından sonra bir noktada yükü boşaltıp tekrar ters yönde basmaya çalışsak, bas ma halindeki akma değerinin çekme halindeki değerinden daha düşük değerde olduğunu görürüz. Şekilde $\sigma_D > \sigma'_D$ olduğu açıkça görülüyor. Bu etki gerilmenin sürekli şekilde bir düz - bir ters yön değiştirdiği proseslerde küçümsenmeyecek öneme sahiptir.

“ARTIK GERİLMELER” İN ETKİSİ



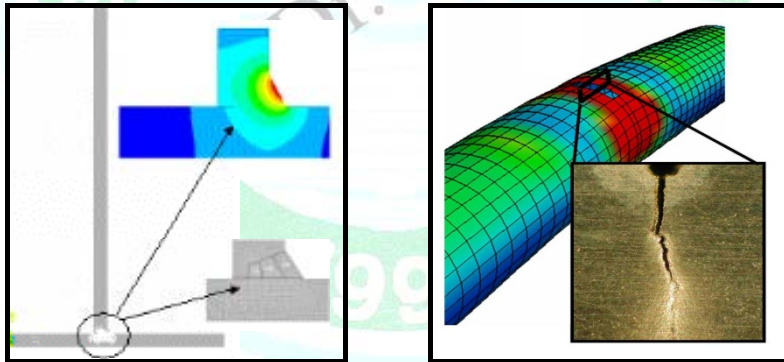
Plastik şekil verme esnasında malzemenin üniform olma yan bir şekilde biçim değiştirmesinden,tüm dış kuvvetler kalktıktan sonra iş parçası içinde var olmaya devam eden gerilmelere “artık gerilme” denir.

“ARTIK GERİLMELER” İN ETKİSİ

“Artık gerilmeler” tek boyutlu olabildiği gibi ,bir çok plastik şekil verme işleminde üç boyutludur.

İç” artık gerilmesi” olan bir parçaya silindirik delikler açılırsa deliklerin ovalleştiği görülür.

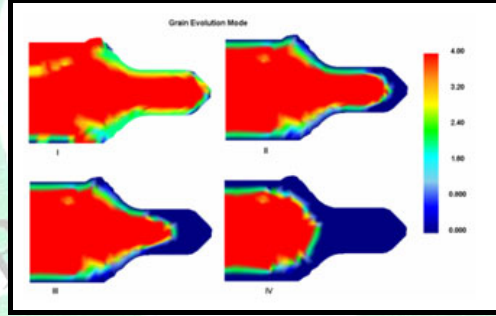
Bir parçada “artık gerilme” dengesi bozulursa, parçada boyut ve şekil kararsızlığı meydana gelir.



“Artık gerilmeler” in doğması :

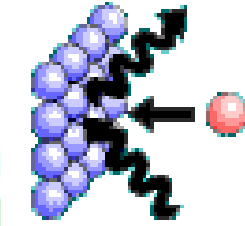
1. Homojen olmayan plastik şekil değişimi
2. Parça kesitlerinin farklı farklı sıcaklıklarda soğumaları

Faz değişiklikleri-fazlar arası yoğunluk farkları mikro seviyede hacim değişikliğine yol açıp“artık gerilme” doğmasına neden olur.



“Artık gerilmeler” in parça yüzeyinde **ÇEKİ gerilmesi** olarak bulunması, parçanın YORULMA ömrünü düşürür.

Yüzeyde **BASI gerilmesi** olarak bulunması, parçanın yorulma ömrünü artırır.Hatta bazen parçalara bilya püskürtme yöntemi ile “ basma artık gerilmesi” enjekte ettirilir.



PLASTİK ŞEKİL VERMEDE AKMA KRİTERLERİ

Plastik şekil verme işleminde akmanın ne zaman başlayacağı önemlidir.Bu konuda iki genel akma kriteri mevcuttur.

1)-VON-MİSES AKMA KRİTERİ :Bu kriter, önce asal gerilmeleri $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ olduğunu farz eder.Sonra da “**cisme uygulanan gerilmelerle DİSTORSİYON ENERJİSİ belli bir (k) değerine ulaştığında**” akmanın başladığını söyler.

Bu ifadeyi matematiğe dökelim.

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = 6 k^2$$

Bu denklemdeki (k) yı bulmak için tek eksenli çekme deneyindeki akma olayı ile bağlantı kuralım. O zaman $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ olur. Bunları denklemde yerine yazalım.

$$[(\sigma_1 - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - \sigma_1)^2] = 6 k^2 \text{ Yeniden yazarsak;}$$

$\sigma_1^2 + \sigma_1^2 = 6 k^2$ olur. Basit çekme de $\sigma_1 = \sigma_{ak}$ olunca akma başlayacağından $2 \sigma_{ak}^2 = 6 k^2$ olur. Buradan akma $\sigma_1 = \sigma_{ak} = \sqrt{3} .k$ olunca başlayacaktır.

Buradan tekrar (k) sabitini tanımlamak için **BASİT KAYMA halindeki akma olayını** irdeleyelim. Bu durumda $\sigma_2 = 0$ olur. $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau$ eşittir. Bu koşullara göre denklemi yazarsak ;

$$[(\sigma_1 - 0)^2 + (0 - (-\sigma_1))^2 + (-\sigma_1 - \sigma_1)^2] = 6k^2$$

$$\sigma_1^2 + \sigma_1^2 + 4\sigma_1^2 = 6k^2 \text{ olur.}$$

$$6\sigma_1^2 = 6k^2 \text{ olur.}$$

Basit kayma halinde akma $\sigma_1 = \sigma_{ak}$ olduğunda başlayacağından $\sigma_{ak} = k$ olur. Diğer denklem $\sigma_{ak} = \sqrt{3} \cdot k$ idi. Bu iki denklemden ; **akma'nın yani (k)'nin asal gerilme σ_1 'nin** ($k = 1 / \sqrt{3} \cdot \sigma_1$) **k = 0,577 . σ_1** katı olduğunda başlayacağı görülmektedir.

2)-TRESCA AKMA KRİTERİ; Buna maksimum kayma gerilmesi kriteri adı da verilmektedir. Bu kriter akmayı “**sisteme uygulanan gerilmeler altında maksimum kayma gerilmesi, tek eksenli çekme deneyindeki kayma gerilmesi değerine ulaştığı anda**” akma başlar. Şeklinde tanımlanmaktadır. Daha önceleri maksimum kayma gerilme değerini

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \text{ şeklinde yazmıştık. Gene tek eksenli çekme deneyinde}$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = 0 \text{ dır. Denkleme yerine yazarsak ;}$$

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - 0) / 2 \text{ olur. Yani } \sigma_1 = \sigma_{ak} \text{ olduğu anda akma başlayacaktır.}$$

Buradan kayma akma gerilmesi de ;

$$\tau_{ak} = (\sigma_{ak} / 2) = (k) \text{ olur. Bu değerler denklemde yerine konacak olursa}$$

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 = \tau_{ak} = (\sigma_{ak} / 2) \text{ olur.}$$

Bu durumda maksimum kayma gerilmesi olan Tresca kriter'i içinde $(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_{ak}) = 2(k)$ şeklinde yazarız.

Basit kayma durumunu da Tresca için yazarsak ; Basit kayma halinde $\sigma_1 = -\sigma_3 = k$ ve $\sigma_2 = 0$ şartlar geçerliydi. Maksimum kayma gerilmesi kriterine göre akma olayı ;

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 2k = (\sigma_{ak}) \text{ durumunda başlayacaktır. Buradan ;}$$

$$k = (\sigma_{ak} / 2) = (\sigma_1 / 2)$$

$$k = 0,5 \cdot \sigma_1 \text{ bulunur.}$$

Yani (k) değeri asal gerilmenin 0,5 katına eriştiğinde akma başlayacağı görülmektedir. ikisi kıyaslandığında ;

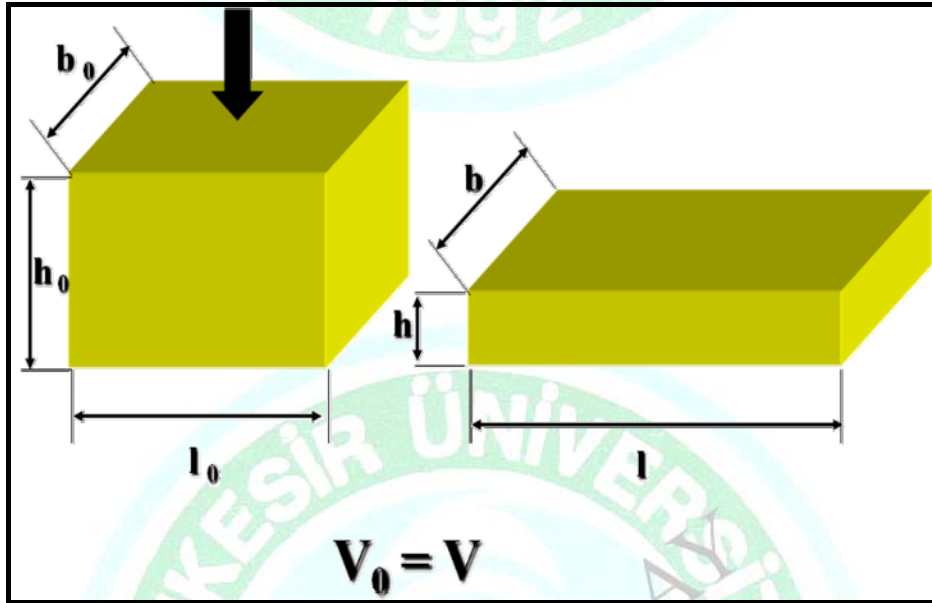
$$\text{Von-Mises' te } 0,577 \cdot \sigma_1$$

$$\text{Tresca' da ise } 0,5 \cdot \sigma_1 \text{ aralarında fark bulunmaktadır.}$$

İki akma kriteri kıyaslanırsa;	
<u>Von-Mises</u> <ul style="list-style-type: none">* Gerilme farklarını kullanır.* Daima kareler var işaretten bağımsızdır.Bu yüzden pratiktir.* Tüm gerilmelere bağlıdır.* Teorik çalışmalarda tercih edilir.	<u>Tresca</u> <ul style="list-style-type: none">* Matematik açısından daha basit* Gerilmelerin (+),(-) olması önemli* Pratik çalışmalarda çok kullanılır.* Mühendislik çalış malarında tercih edilir.

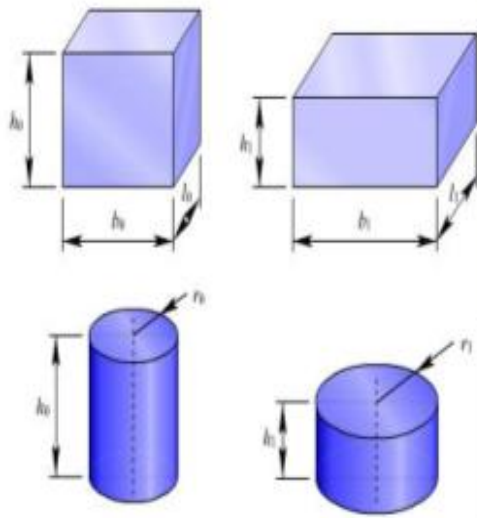
Plastik şekil vermede temel kural

HACİM SABİTLİĞİ



Hacim Sabitliği Kuralı

Küp'te

$$\varphi_h = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right)$$
$$\varphi_b = \ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right)$$
$$\varphi_l = \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right)$$


Silindir'de

$$\varphi_h = \ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right)$$
$$\varphi_r = \ln\left(\frac{r_1}{r_0}\right) = \varphi$$

Hacmin sabitliği kuralı

Homojen yapıldığı farzedilen bir deformasyon işleminde küb'ün hacmi sabit kabul edilir ve $V = V_0$ yazılır.

$$V = h_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = h_0 \cdot b_0 \cdot l_0$$

Buradan

$$\left(\frac{h_1}{h_0}\right) \cdot \left(\frac{b_1}{b_0}\right) \cdot \left(\frac{l_1}{l_0}\right) = 1 \quad \text{yazılır.}$$

Her iki tarafın Ln' i alınırsa ;

$$\ln\left(\frac{h_1}{h_0}\right) + \ln\left(\frac{b_1}{b_0}\right) + \ln\left(\frac{l_1}{l_0}\right) = 0 \quad \text{olur.}$$

Son olarak ta ;

$$\varphi_h + \varphi_b + \varphi_l = 0 \text{ or } \sum \varphi = 0 \quad \text{yazabiliriz.}$$

Sonuçta küp, h yüksekliğinde azalma olurken, b ve l eksenlerinde artış olmuş tüm şekil değişimi gözönüne alındığında (+)'lar ile (-) ler toplamı sıfırlanmıştır.

PROBLEMLER

PROBLEM-1

1)- Bir çekme deney çubuğunun başlangıçtaki boyu $l_0=50$ mm ve çapı $D_0=4$ mm , deney sırasında ölçülen maksimum yük 10 kN ($10\,000\text{ N}=1000\text{ daN}=k_p=1$ ton), ölçü boyunun son uzunluğu $l=80$ mm, büzülme bölgesinin en küçük çapı $D=3$ mm'dir.

- a)- Çekme mukavemetini?
b)-% kopma uzamasını?
c)-%kopma büzülmesini? hesaplayınız?

CEVAP

a)- $\sigma_{\text{çek}} = F / A_0 = 1000 \text{ daN} / (\pi \cdot 4^2 / 4) \text{ mm}^2$
 $= 79,6 \text{ k}_p/\text{mm}^2$

b)-% $\varepsilon_{\text{müh}} = (80-50)/50 \cdot 100 = \% 60$

c)- % $\psi = [(\pi \cdot 4^2 / 4) - (\pi \cdot 3^2 / 4)] / (\pi \cdot 4^2 / 4)$
 $= \% 43,8$

2)- Mukavemet katsayısı $K= 700 \text{ N/mm}^2$ ve pekleşme üsteli $n=0,5$ olan bir malzemenin ;

- a)-Müh. Çekme mukavemeti nedir?
b)-Gerçek çekme mukavemeti nedir?

CEVAP ; a)-Çekme mukavemeti maksimum olduğu anda n ve $\varepsilon=n=0,5$ olur.

Gerçek çekme mukavemeti σ_{ger} ;

$\sigma_{\text{ger}} = K \cdot \varepsilon^n = 700 \cdot (0,5)^{0,5} = 495 \text{ N/mm}^2$ olur.

Deney çubuğunun maksimum yük'teki kesiti A ile gösterilirse ;

$L_n (A_0/A) = n=0,5$ ile ifade edilir.Buradan

$A = A_0 \cdot e^{-0,5}$ yazılır.

Buradan da maksimum yük ;

$F_{\text{max}} = \sigma_{\text{ger}} \cdot A = \sigma_{\text{ger}} \cdot A_0 \cdot e^{-0,5}$ yazılır.

Mühendislik çekme dayanımı ;

$\sigma_{\text{müh}} = F_{\text{max}} / A_0 = \sigma_{\text{ger}} \cdot e^{-0,5}$ yazılır.

$\sigma_{\text{müh}} = 495 \cdot (1/e^{0,5}) = 495 \cdot (1/2,7^{0,5})$

$\sigma_{\text{müh}} = 495 \cdot (1/1,64) = 495 \cdot (0,60)$

$\sigma_{\text{müh}} \approx 300 \text{ N/mm}^2$ olur.

3)- Yüksekliği 40 mm olan bir silindir parça,düzlemsel takımlarla basılmaktadır.Takım hızı $V = 0,1$ m/s dir.Şekil değiştirme hızı ($\epsilon_{müh}$) nedir?

CEVAP $\epsilon_{müh} = V / h_0$ idi
 $= 0,1 / 0,040 = - 2,5 \text{ s}^{-1}$ olur.

4)- Yüksekliği 40 mm olan bir silindir parça, düzlemsel takımlarla basılmaktadır. Takım hızı $V = 0,1$ m/s dir. Silindir yüksekliği 10 mm'ye indiği andaki gerçek şekil değiştirme hızını (ϵ_{ger}) hesaplayınız?

$$\epsilon_{ger} = V / h = - 0,1 / 0,010 = - 10 \text{ s}^{-1} \text{ olur.}$$

5)- Oda sıcaklığında büyük ölçüde şekil değiştirdikten sonra çelik bir parçanın BRINELL sertliği $HB = 300 \text{ kgf/mm}^2$ bulunmuştur. Malzemenin **REZİLYANS MODÜLÜ'** nü bulun?

CEVAP ;

Bu problem de şu bilgi önceden bilinmelidir.Malzeme oda sıcaklığında büyük ölçüde şekil değiştirdi ifadesinden TAM PLASTİK bir malzeme olduğu anlaşılıyor.Tam plastik malzemenin de akma mukavemeti ile HB arasında $\sim (HB / 3) = \sigma_{ak}$ ilişkisi vardır.Buradan σ_{ak}

$$\sigma_{ak} = 300 / 3 = 100 \text{ kgf / mm}^2 \text{ olur.}$$

Çelik için ;

Elastiklik modülü $E = 20\,000 \text{ kgf / mm}^2$ alınır

$$U_R = (\sigma_{ak} \cdot \epsilon_{ak}) / 2 \text{ idi.}$$

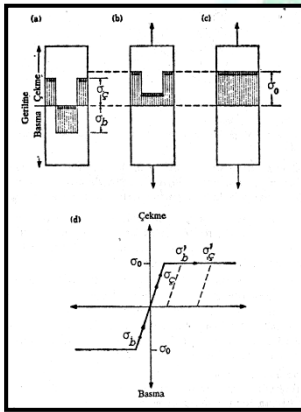
$\epsilon_{ak} = \sigma_{ak} / E$ dir. Denklemden yerine konursa;

$$U_R = (\sigma_{ak}^2) / 2E \text{ olur.}$$

$$= (100^2) / 2 \cdot 20\,000$$

$$= 0,25 \text{ kgf} \cdot \text{mm} / \text{mm}^3 \text{ olur}$$

6)- Uzunluğu 0,25 mm olan (Al) dan bir parçada çeki gerilmesi $\sigma_{çek} = 140 \text{ MPa}$, bası gerilmesi de $\sigma_{bas} = - 140 \text{ MPa}$ dır.“Artık gerilme”lerin giderilmesi amacıyla parçaya çeki gerilmesi uygulanacaktır.Yük kaldırıldığında “artık gerilme”lerin tamamen ortadan yok olması isteniyor. Acaba çekmede parçanın uzunluğu hangi değeri almalıdır? (Malzemenin $\sigma_{ak} = 150 \text{ MPa}$, $E = 70 \text{ GPa}$ dır.)



Açıklama : “Artık gerilmeler” ek plastik şekil değiştirme ile giderilirler.Levhaya üniform bir çeki gerilmesi uygulanırsa önceki $\sigma_{çek}$ ve σ_{bas} gerilmeleri en fazla σ_{ak} ya erişirler. Eski $\sigma_{çek}$ ve σ_{bas} değerleri σ_b ve σ_c olunca ve yük kalkınca “artık gerilme” yok olur.

CEVAP : Homojen çekme yapıldığında bası gerilmesi de -140 MPa dan + 140 MPa ' gelecektir. Sonra bu iki gerilme bası ve çeki birbirini yok etti ancak yük kalktığına tekrar oluşmaması için akma gerilmesine kadar uzamanın devamı gerekir.

Yani ; $\epsilon_{müh} = (\sigma_{bas}/E) + (\sigma_{ak}/E)$ kadar toplam uzama lazımdır.

$$\epsilon_{müh} = (140/E) + (150/E)$$

$$\epsilon_{müh} = (140/70.10^3) + (150/70.10^3)$$

$$\epsilon_{müh} = 0,00414$$

Parçanın yüklü durumundaki uzunluğu (l) ile gösterilirse;

$$\epsilon_{müh} = (l - l_0) / l_0 = (l - 0,25) / 0,25 = 0,0044$$

$$l = 0,251 \text{ m bulunur.}$$

7)- 508 mm çapında ve 2,5 mm et kalınlığında ince cidarlı bir küre (p) iç basıncının etkisi altındadır. Akma sınırı $\sigma_{ak}=14 \text{ kgf/mm}^2$ olan küre malzemesi tam plastik kabul edilmektedir. Akmaya yol açacak (p) iç basıncı **TRESCA** ve **VON MİSES** e göre hesaplayınız?

CEVAP : D : çap s : et kalınlığı ve $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ olduğu varsayılırsa

$\sigma_1 = \sigma_2 = (p.D)/4s$ İnce cidarlı küre için bağıntısı vardır. En küçük asal gerilme σ_3 , (D/2s) oranının büyük olması nedeniyle ihmal edilirse yani $\sigma_3 = 0$ alınır

durumda **TRESCA kriteri** $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{ak}$ ' dan ;

$$(p.D) / 4s - 0 = 14 \text{ yazılır.}$$

$$(p.508) / 4 . 2,5 - 0 = 14 \text{ den}$$

$$p = 0,275 \text{ kgf / mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Von MİSES' e göre

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = 6 k^2 \text{ veya}$$

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = 2 \sigma_{ak}^2 \text{ şeklindedir.}$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 \text{ ve } \sigma_3 = 0 \text{ yazılırsa}$$

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - 0)^2 + (0 - \sigma_1)^2] = 2 \sigma_{ak}^2$$

$$0 + \sigma_2^2 + \sigma_1^2 = 2 \sigma_{ak}^2$$

$$2 \sigma_1^2 = 2 \sigma_{ak}^2$$

$$2[(p.D/4.s)]^2 = 2.(14)^2$$

$$2[(p.508/4.2,5)]^2 = 2.(14)^2$$

$$p = 0,275 \text{ kgf / mm}^2 \text{ bulunur.}$$

8)-Başlangıç kesiti $A_0 = 36 \text{ mm}^2$, ilk boyu $l_0 = 50 \text{ mm}$ olan bir çelik tel için çekme deneyi sırasında aşağıdaki okumalar yapılmıştır.

<u>YÜK(Kgf)</u>	<u>Uzama(Δl) mm</u>
725	0
1125	0,5
1350	2,0
1625	5,0
1900	10,0
2050	15,3
2100 (Büzülme başl.)	22,0
1500 (kopuyor)	24,9

$A_{kınıl} = 10,3 \text{ mm}^2$ dir. Gerçek eğriyi çiziniz?

ÇÖZÜM : Gerçek gerilme $\sigma_{ger} = (F/A)$

Maksimum yük'e kadar gerçek uzama : $\epsilon_{ger} = \ln (l/l_0)$

Kopmada gerçek uzama : $\epsilon_{ger} = \ln (A_0 /A)$

Maksimum yük'e kadar : $l = l_0 + \Delta l$

Hacim sabitliğinden : $V_0 = V$

$$A_0 l_0 = A l$$

$A = (36.50) / (l)$ ifadelerinden

Δl (mm)	l (mm)	ϵ	A (mm^2)	σ (Kgf/ mm^2)
0	50	0	36	20
0,5	50,5	0,01	35,64	31,6
2,0	52	0,039	34,62	39
5,0	55	0,095	32,73	49,65
10,0	60	0,182	30	63,3
15,3	65,3	0,267	27,57	74,4
22,0	72	0,365	25	84
24,9	74,9	0,404	24	62,5

9)-Akma sınırı 20 kp/mm^2 olan bir çelikten küre biçiminde ve 5 m iç çapında bir gaz deposu imal edilecektir.

a)- Basınç dolayısıyla meydana gelen asal normal gerilmeleri belirtin?

b)- Plastik şekil değişiminin 16 kp/mm^2 gaz basıncında başlaması için cidar kalınlığı(et kalınlığı) ne kadar olmalıdır?

CEVAP :

a)- Basınçlı kaplarda etkiyen basınca ve kabın durumuna göre küre kap için $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_r = (D.p)/4s$ $\sigma_3 = \sigma_t = -p$ formülleri geçerlidir.

b)-Maksimum kayma gerilmesi(Tresca'ya göre)

$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{ak} = 2k$ formülünü uygularsak

$(D.p)/4s - (-p) = \sigma_{ak}$ yazabiliriz. Değerler yerine konulursa

$$[(5000 \text{ mm} \cdot 0,16 \text{ kp / mm}^2) / 4.s + 0,16] = 20 \text{ kp/mm}^2$$

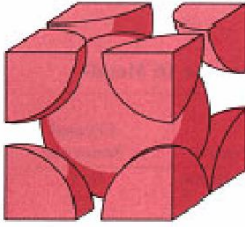
Buradan $s = 10 \text{ mm}$ bulunur.

PLASTİK ŞEKİL VERMEDE METALURJİK ESASLAR

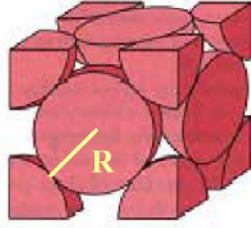
METALLERİN KRİSTAL YAPISI

Metallerde en sık rastlanan üç çeşit kristal kafes yapısı :

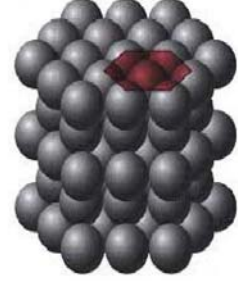
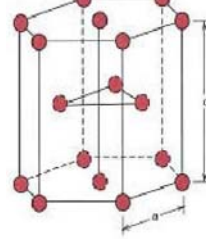
HACİM MERKEZLİ KÜBİK



YÜZEY MERKEZLİ KÜBİK YAPI



HEXAGONAL SIKI PAKET KRİSTAL YAPI



Kayma Düzlemleri

1. What are the most densely packed planes in aluminium (FCC-lattice)?

2. What are the most dense directions in aluminium?

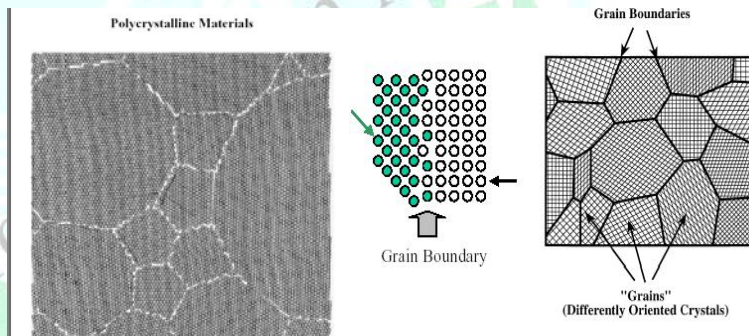
3. How many different slip directions are parallel to a unique slip plane?

2 3 4 6

4. How many slip systems are there in aluminium?

12 18 24 36

Metaller, ya kocaman tek kristalden ya da çok taneli çok kristallerden oluşurlar.



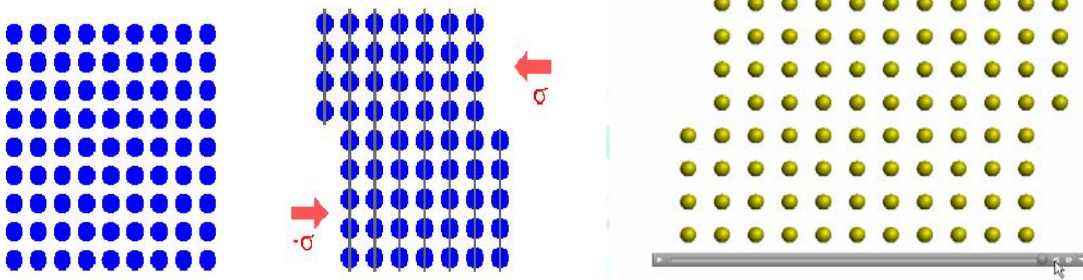
Plastik Şekil Verme Mekanizmaları

1. Kayma Mekanizması - (%99)
2. İkizlenme Mekanizması - (%1)
3. Yayılma Sürünmesi – (%-)
4. Tane Sınırlarının Kayması – (%-)

KAYMA MEKANİZMASI

Kristallerin kayma ile plastik deformasyonu

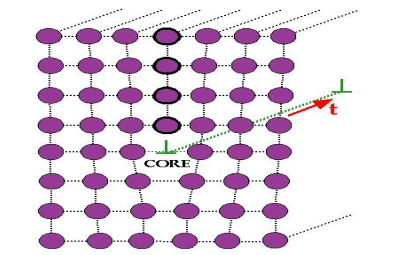
Kayma ile şekil değiştirme



Kristallerin kayma ile plastik deformasyonu

- Metaller niçin kolay deforme edilmektedirler?
- Kimyasal yapı değişmeden metallerin mekanik özellikleri değişebilir mi?
- Mükemmel bir kristalde teorik mukavemet çok yüksek olduğu halde, gerçek metallerde çok daha düşük gerilmelerle plastik deformasyon kolayca nasıl yapılmaktadır ?
- Kayma düzleminde atom bağlarını kırmak için gerekli olan kuvvet, metalin şeklini değiştirmek için gerekli olan kuvvetten niçin çok fazladır?
- **CEVAP:** 1934 'te tüm bu soruların cevapları TAYLOR, OROWAN ve POLYANI tarafından verilmiştir.
- **ÇÜNKÜ** Plastik deformasyon , **çok büyük sayıda dislokasyon hareketleri** sayesinde olabilmektedir.
- **DİSLOKASYON NEDİR?**

Kristaldeki “**çizgisel kusur**” dur. Yani atomların dizilişlerindeki kusurlardır.



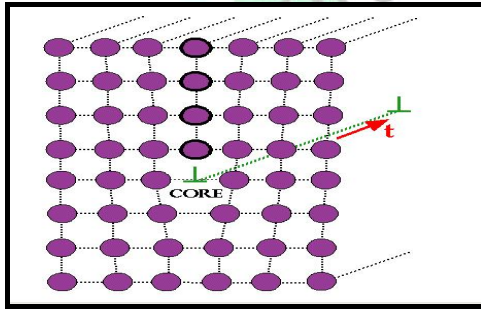
DİSLOKASYON NEDİR?

- Hemen hemen her gerçek kristalde dislokasyon mutlaka vardır.
- 10 cm^3 lük bir malzeme yığımında yaklaşık 10^{17} atom çizgisel kusurludur.
- Metal ve seramiklerin mekanik özellikleri üzerinde dislokasyonların çok büyük etkileri vardır.

ÇİZGİSEL KUSUR = DİSLOKASYON

Dislokasyon yeşil renkle gösterilmiştir.

Dislokasyona teğet bir (τ) vektörü çizebiliriz. Bu pozitif yön gösterir, bu yön keyfidir, ama sürekli kullanılmalıdır.



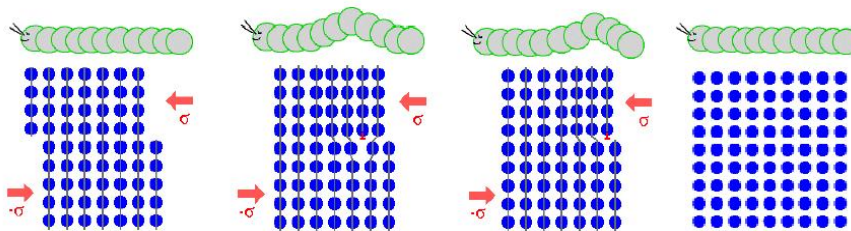
Gerçek akma ile teorik akma arasındaki bu kadar büyük fark niçin?

Cevap : DİSLOKASYON sebebiyledir.

Metallerde teorik akma ile gerçek akma kıyası

Metal	Theoretical Yield Strength (GPa)	Actual (GPa)
Al	6.9	0.0008
Al (polycrystal)	6.9	0.028
Cu	11.0	0.0005
Cu (polycrystal)	11.0	0.069
Ni	20.7	0.138
Ti	10.7	0.014
Ti (polycrystal)	10.7	0.240
Ag	9.2	0.0004
Fe	21.0	0.027
4340 Steel	20.7	0.86
Brass	10.1	0.250

DİSLOKASYONLAR PLASTİK DEFORMASYONU KOLAYLAŞTIRIRLAR

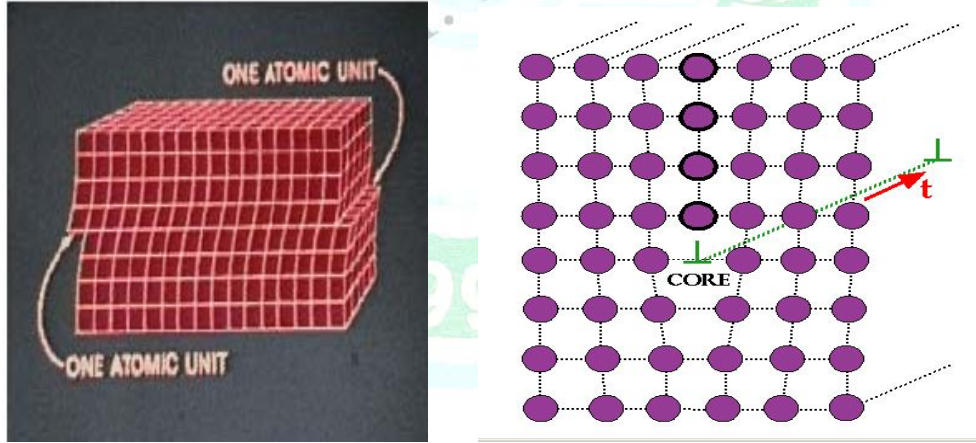


DİSLOKASYON ÇEŞİTLERİ

Metallerde üç çeşit dislokasyon etkilidir.

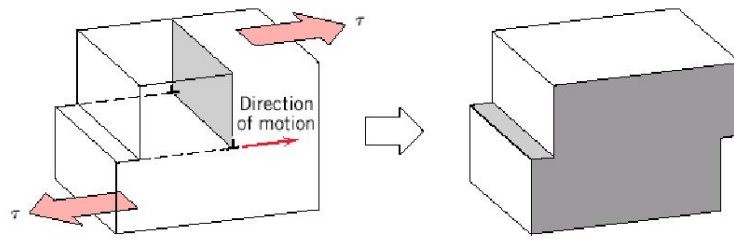
- 1)- KENAR DİSLOKASYONU
- 2)- VİDA DİSLOKASYONU
- 3)- KARIŞIK DİSLOKASYON

KENAR DİSLOKASYONU



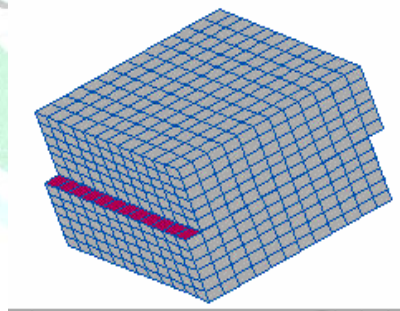
Kenar dislokasyonun yönü

DİSLOKASYON HAREKETİNİN YÖNÜ

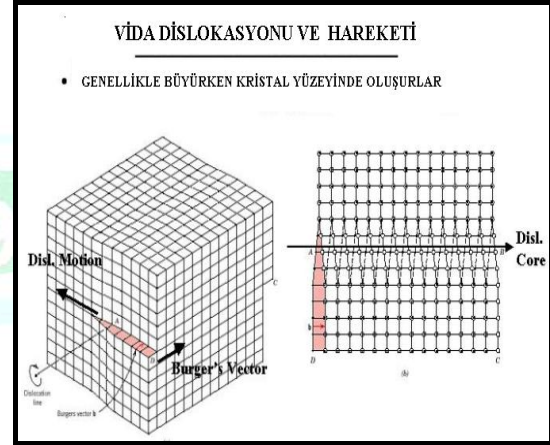
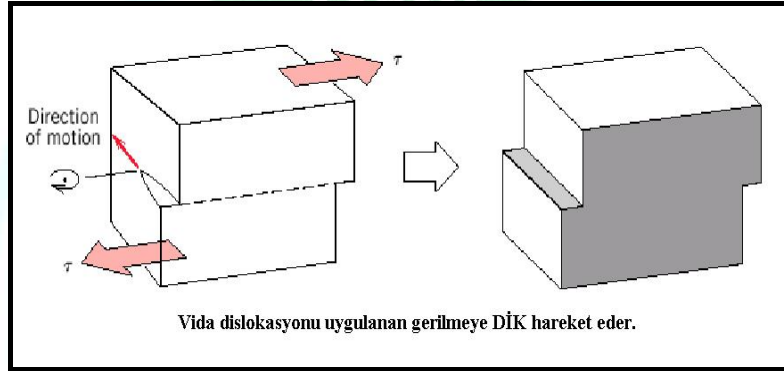


Kenar dislokasyonu , uygulanan gerilmeye PARALEL hareket eder.

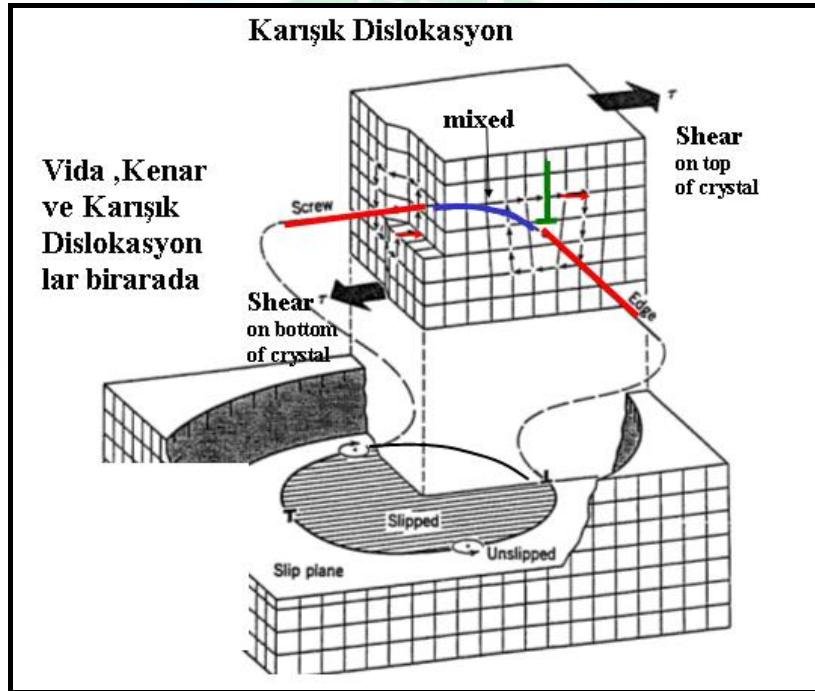
VİDA DİSLOKASYONU



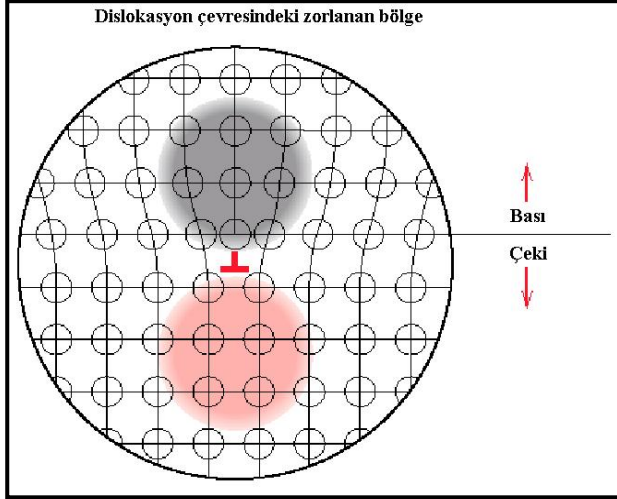
Vida dislokasyonunun yönü



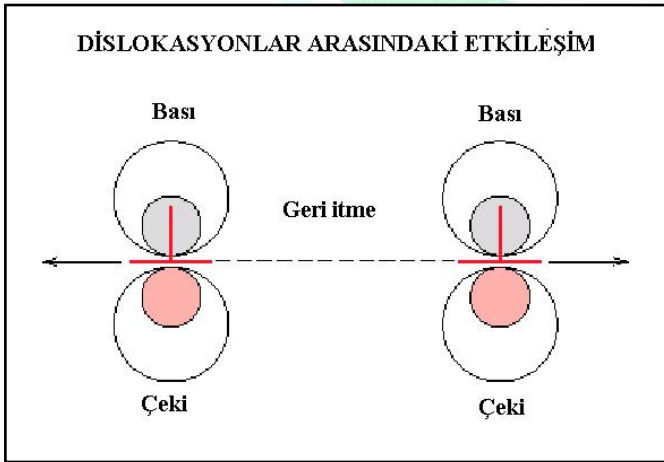
KARIŞIK DİSLOKASYONLAR



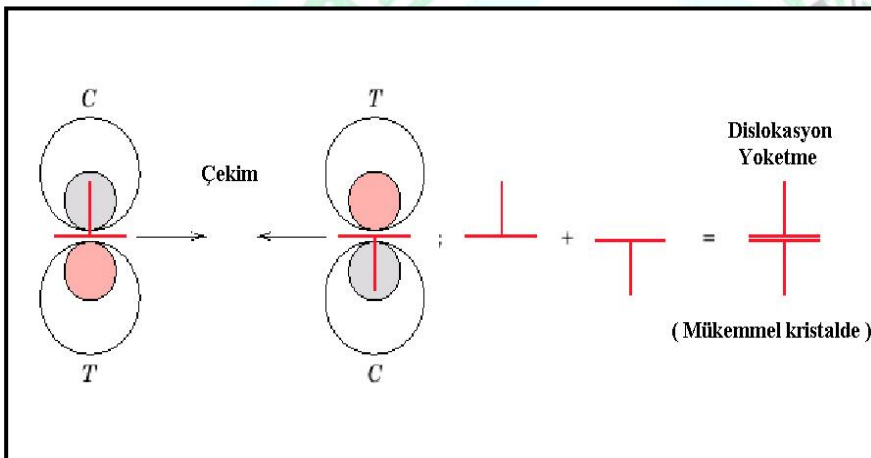
Dislokasyon çevresinde zorlanan bölge



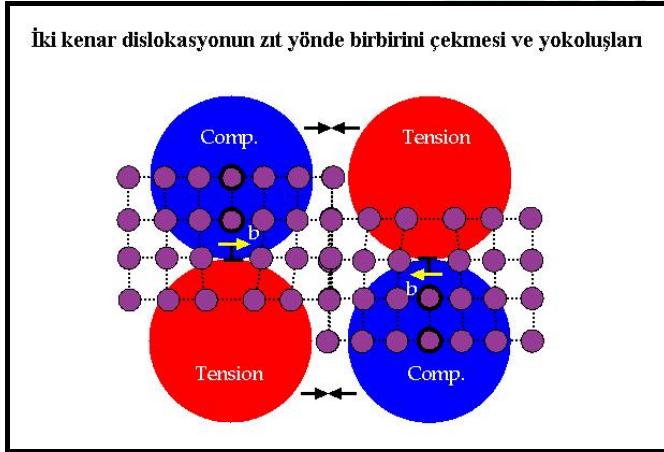
Dislokasyonlar arasındaki ilişki



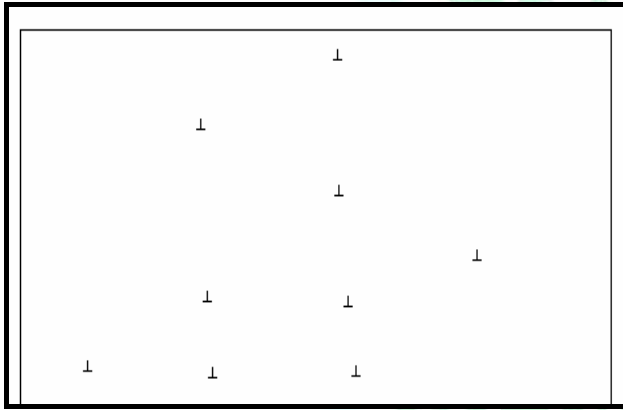
Zıt dislokasyonların karşılaşmaları ve birbirlerini yok edişleri



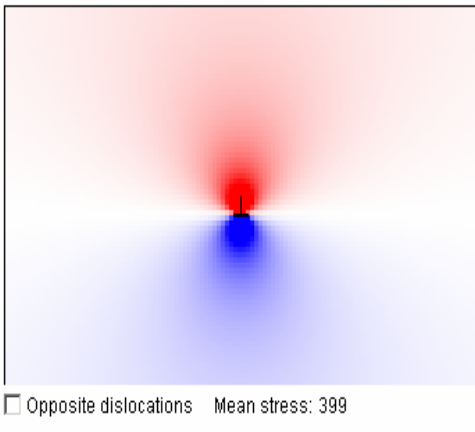
Kristallerin kayma ile plastik deformasyonu



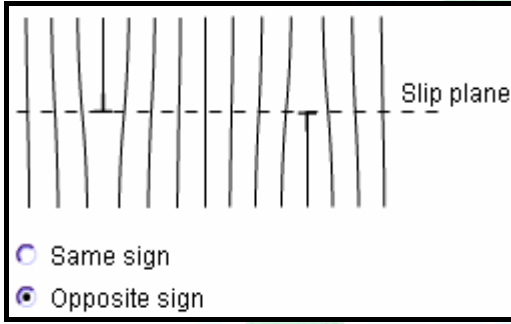
Dislokasyon sayılarının gittikçe artması, aynı ve farklı işaretli dislokasyonların birbirlerini engellemeleri ve yok etmeleri



İki dislokasyonun kesişmesi



Aynı ve farklı işaretli kenar dislokasyonunda kristalin gerilme durumu



Bir dislokasyonu hareket ettirmek için gereken gerilme

Here we review the basic principles of strain hardening in terms of a standard tensile test. Then we can go on to look at the behaviour in real aluminium materials.

Typically, a specimen of standard dimensions is subjected to a gradually increasing load (force) and the extension measured as a function of the force. These are usually converted to stress and strain and plotted graphically.

Click 'Continue' to start the sequence.

Dist density, ρ

10^{16} m^{-2}

10^{14} m^{-2}

10^{12} m^{-2}

10^{10} m^{-2}

Continue

Bir dislokasyonun pekleştirme yapması

Here we review the basic principles of strain hardening in terms of a standard tensile test. Then we can go on to look at the behaviour in real aluminium materials.

Typically, a specimen of standard dimensions is subjected to a gradually increasing load (force) and the extension measured as a function of the force. These are usually converted to stress and strain and plotted graphically.

Click 'Continue' to start the sequence.

Dist density, ρ

10^{16} m^{-2}

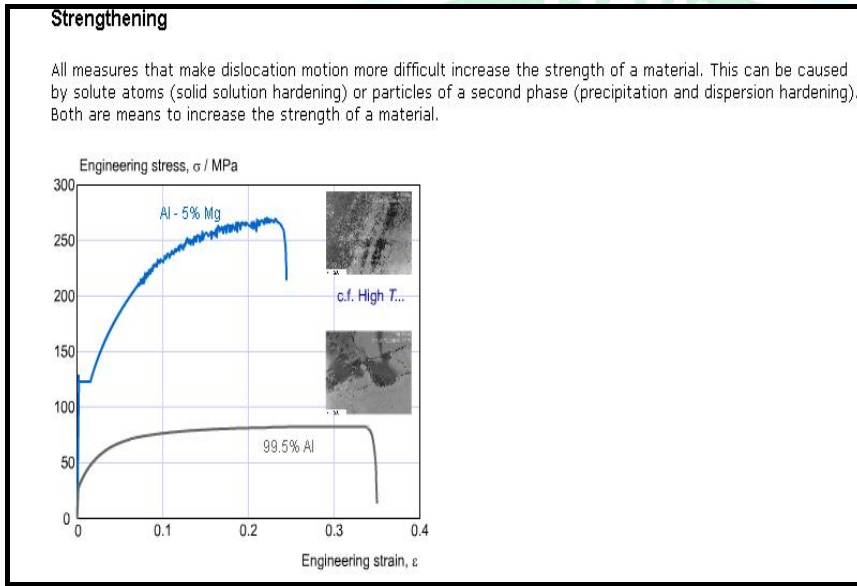
10^{14} m^{-2}

10^{12} m^{-2}

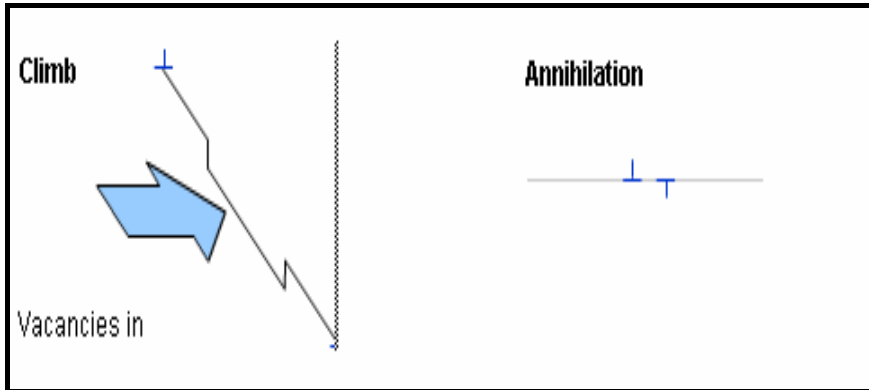
10^{10} m^{-2}

Continue

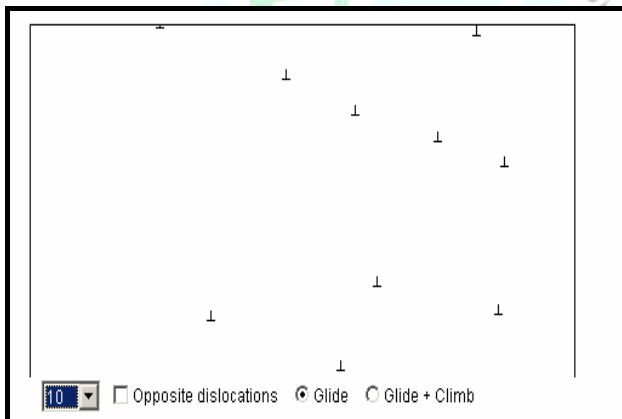
Bir dislokasyonun pekleştirme yapması ve mukavemet artışı



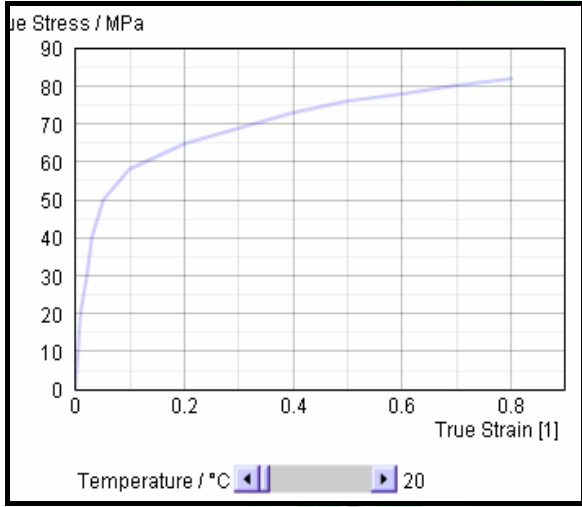
Dinamik Recovery : Dislokasyonların tırmanması engel aşmaları, mukavemet artırmaları-Sıcaklığı görünce, hareketleri sonucu birbirlerini yok edişleri



Dinamik Recovery : Animasyonu

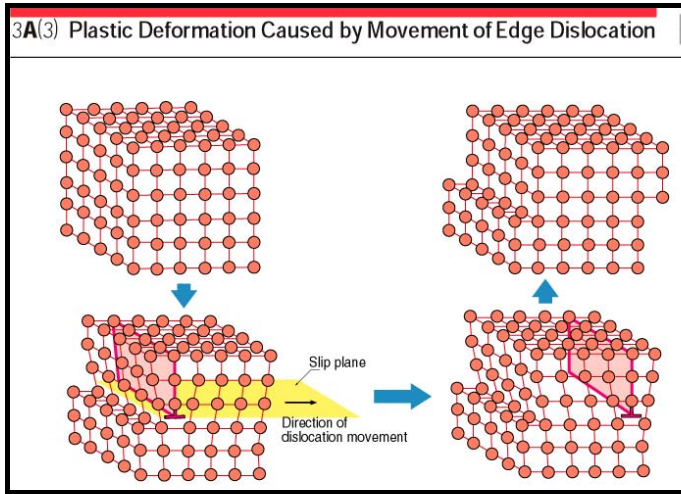


Sıcaklığın dislokasyonlara etkisi sonucu gerçek eğrinin değişimi

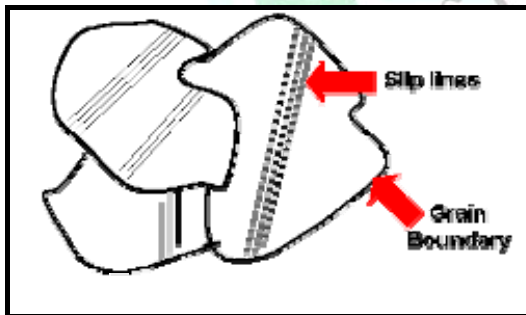


TEK KRİSTALDE KAYMA OLAYI

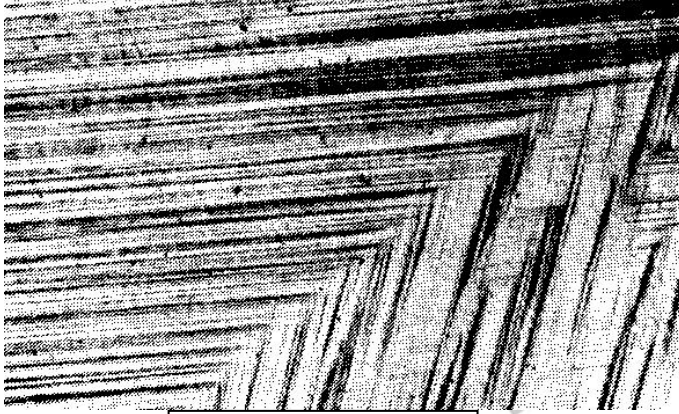
Eğer bir tek kristal akacak kadar zorlanırsa,atomlar yer değiştirir.Atomlar arası mesafenin katı kadar ilerler.Kuvvet artırılırsa bir adım daha ilerleme olur.



Böylece komşu atomlar zorlanarak hep ileri itilir.Bu olay malzeme kırılınca kadar sürer.Atomlar kayma düzlemlerinde hareket eder.Bu olayın mikroskoptaki görüntüsü **İNCE ÇİZGİ**'ler halinde görülmesidir.Bu çizgiler polisaj işlemi yapılmca gider,kaybolur.



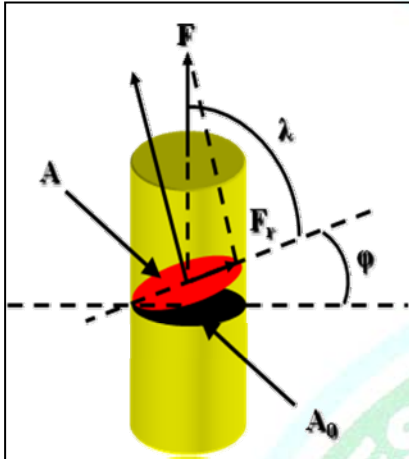
Cu 'da kayma sonucu oluşan çizgiler aşağıda görülmektedir.



Cu' da kayma

Plastik Şekil Verme Mekanizmaları

Kritik Kayma Gerilmesi Hesabı –Tek Kristalde (SchmidKanunu)



Kuvvet İlişkileri

$$\cos \lambda = \frac{F_r}{F} \quad \text{buradan}$$
$$F_r = F \cdot \cos \lambda$$

Alan İlişkileri

$$\cos \varphi = \frac{A_0}{A} \quad \text{buradan}$$
$$A = \frac{A_0}{\cos \varphi}$$

Kritik kayma gerilmesini hesaplamak istersek ;

$$\tau_k = \frac{F_r}{A} = \frac{F \cdot \cos \lambda}{\frac{A_0}{\cos \varphi}} = \frac{F}{A_0} \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \quad \text{buradan}$$
$$[\tau_k = \sigma_n \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi] \quad \text{olur}$$

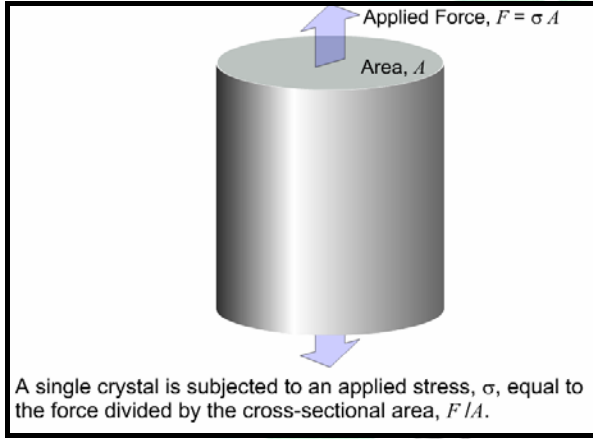
Açılara değer verirse $\varphi = \lambda = 0^\circ$ iken (Örn: Cam ve dökme demirler)

$$\tau_k = \sigma_n \cdot \cos 0 \cdot \cos 0 \Rightarrow [\tau_k = \sigma_n]$$

Açılara değer verirse $\varphi = \lambda = 45^\circ$ iken

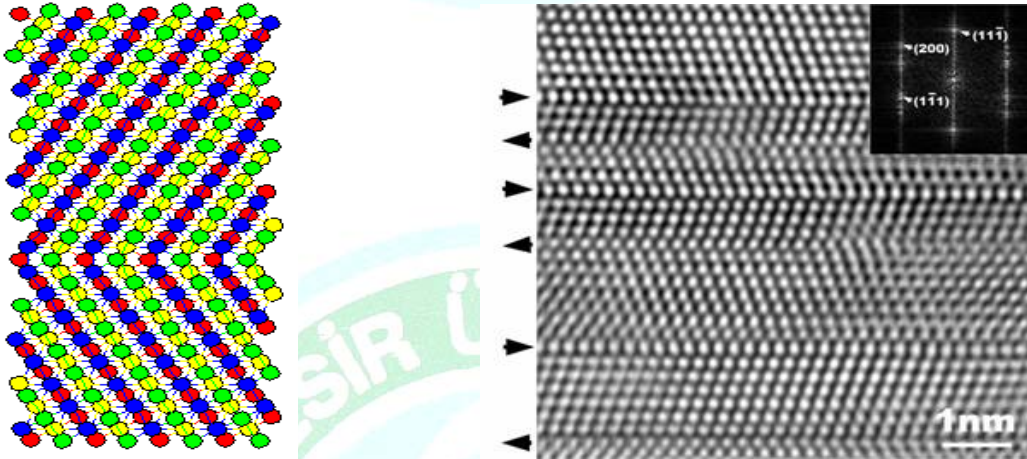
$$\tau_k = \sigma_n \cdot \cos 45^\circ \cdot \cos 45^\circ$$
$$\tau_k = \sigma_n \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{\sigma_n}{2} \Rightarrow [\tau_k = \frac{\sigma_n}{2}]$$

(Schmid Kanunu) : Animasyonu



İKİZLENME MEKANİZMASI

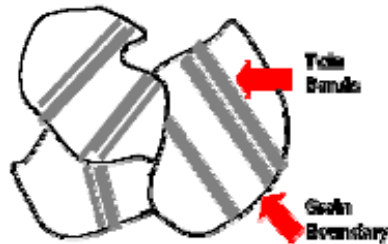
Eğer deformasyon ikiz mekanizması yolu ile olursa, referans bir eksene göre atomlar, atomlar arası mesafenin kesri kadar bir yerdeğiştirme yaparlar. Mikroskop altındaki görüntüleri GENİŞ BAND 'lar şeklinde olur. Bu geniş bandlar polisaj işlemi ile giderilemezler.



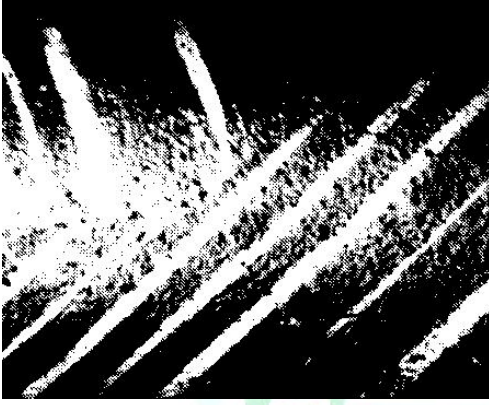
İki tip ikiz oluşumu söz konusudur.

1)- Deformasyon veya mekanik ikizlenme : En yaygın şekilde Hexagonal sıkı paket kristal yapılarda görülür. (Mg,Zn,Ferrit ağırlıklı Fe)

2)- Tavlama ikizi : En çok yüzey merkezli kübik yapıli metallerde (Al,Cu,Pirinç, ve ostenit ağırlıklı Fe) Bu metallere önceden işlem görmüş ve sonra da ısıli işleme tabi tutulmuşlardır.



İkiz oluşumunda GENİŞ BANDLAR

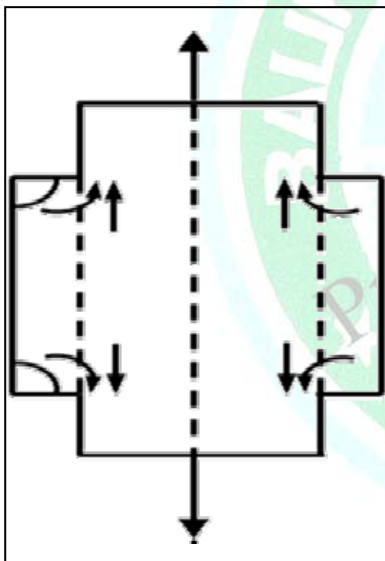


Zn' de ikiz band görüntüsü

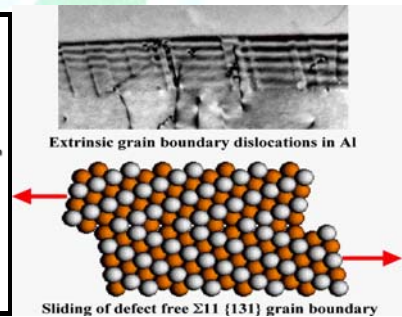
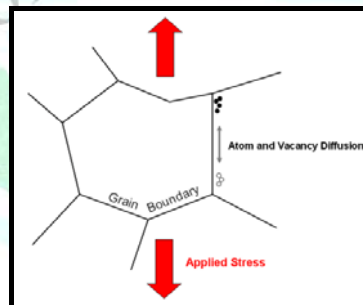
Kayma ile ikiz arasındaki farklar ;

1. Atomların yer değişimi açısından ;
 - a, 2a, 3a, 4a (kayma)
 - a, $\frac{a}{2}$, $\frac{a}{3}$, $\frac{a}{4}$ (ikiz)
2. Oluşum açısından ;
 - T° normal, ϵ° kritik (kayma)- kayma düzleminde
 - $T^\circ \downarrow \downarrow$, $\epsilon^\circ \uparrow \uparrow$ (ikiz) _ Referans düzleme göre simetrik
3. Mikroskop görüntüsü açısından ;
 - İnce çizgi band'ları halinde (kayma)
 - Geniş çizgi band'ları halinde (ikiz)

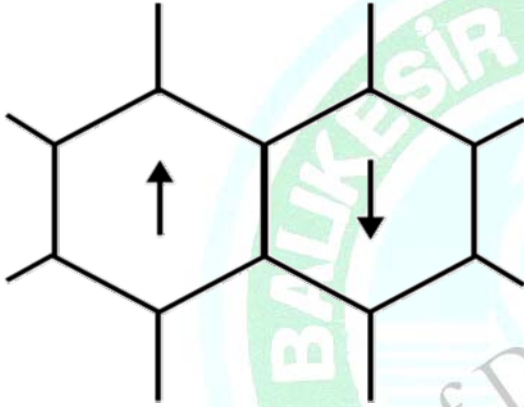
Yayınma Sürünmesi Yoluyla PSV:



Oluşum şartı $T^\circ \uparrow \uparrow$, $\epsilon^\circ \downarrow \downarrow$ ise Atomlar plastik deformasyonun olduğu tarafa doğru sürüklenerek



Tane Sınırı Kayması Yoluyla PSD:



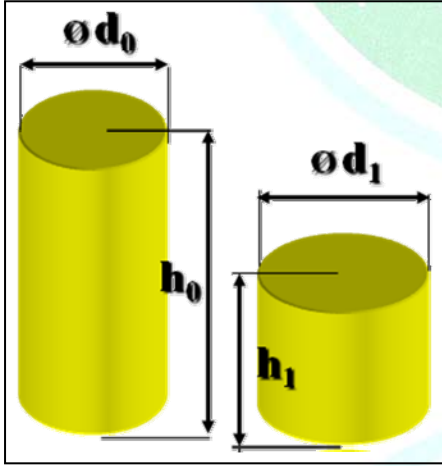
_Oluşum şekli ;

$$T^{\circ} \uparrow \uparrow, \varepsilon^{\circ} \downarrow$$

Tanelerin birbirine göre konumlarını değiştirmesiyle P.Ş.D' ye katkısı olur.

KUVVET VE İŞ HESABI

SOĞUK VE SICAK ŞEKİL VERMEDE "KUVVET" HESABI



Malzemenin sağlamlığı :

$$(kf) = (kp/mm^2)$$

$$\text{Gerekli olan kuvvet : } A.kf = mm^2.kp/mm^2 = kp$$

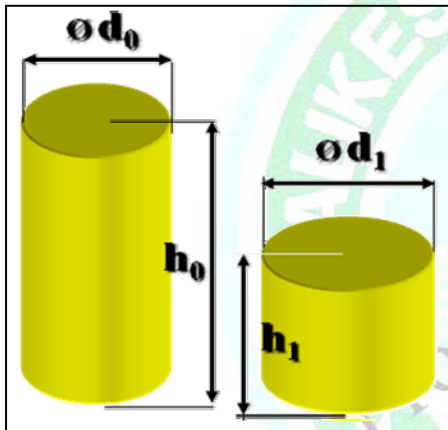
İdeal kuvvet : (F_{id})

$$(F_{id}) = A.(kf_{id})$$

Gerçek Kuvvet : (F_g)

$$(F_g) = A.(kf_g)$$

SOĞUK VE SICAK ŞEKİL VERMEDE "İŞ" HESABI



$$W = F . \Delta h$$

$$dw = A.kf.dh \cdot \frac{(h)}{(h)} \Rightarrow \int_{h_1}^{h_0} dw = A.h.kf \int_{h_1}^{h_0} \frac{dh}{h}$$

$$W = V.kf \cdot \left| \ln h \right|_{h_1}^{h_0} = (\ln h_0 - \ln h_1)$$

$$W = V.kf \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}$$

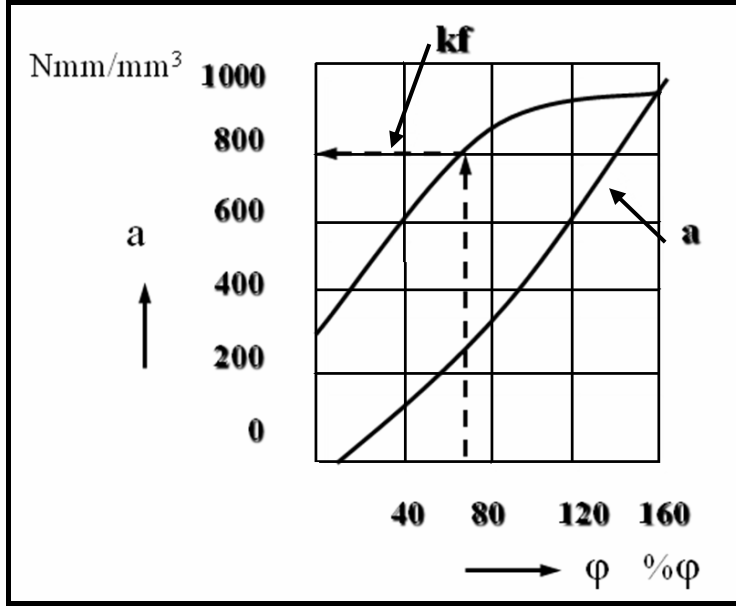
$$\frac{W_{id}}{W_{ger}} = \frac{V.kf_{id} \cdot \varphi}{V.kf_g \cdot \varphi} = \frac{kf_{id}}{kf_g} = \eta \quad \left[\eta = \frac{kf_{id}}{kf_g} \right]$$

$$W = V.kf \cdot \varphi \Rightarrow \left[\frac{W}{V} = kf \cdot \varphi \right]$$

Problem

Yumuşak tavlı C35 (% 0,35 C) çeliğinden çapı $d_0 = 20$ mm olan silindirik parça 10 mm yükseklikten 5 mm' lik yüksekliğe soğuk dövmeyle indirilmektedir. Verim 0,80 kabul edildiğine göre;

- a) $F_{ger} = ?$
 b) $W_{ger} = ?$ (Verilen k_f ve özgül iş diyagramı veriliyor)



ÇÖZÜM

$$F_{ger} = A \cdot k_{f_{ger}}$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (20)^2}{4} \Rightarrow A_0 = 314 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_0 \cdot h_0}{h} = \frac{A \cdot h}{h} \Rightarrow A_0 \frac{h_0}{h} = A$$

$$314 \cdot \left(\frac{10}{5}\right) = A \Rightarrow A = 628 \text{ mm}^2$$

$$\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1} = \ln \frac{10}{5} = \ln 2 \Rightarrow \varphi = 0,693 \Rightarrow \varphi = \% 69,3$$

Diyagramdan takip edilerek % 69,3 deformasyon oranı için $k_f = 800$ N/mm bulunur. Diyagramdan bulunan $k_f = k_{f_{ideal}}$ 'dir.

$$\frac{k_{f_{id}}}{k_{f_{ger}}} = \eta \Rightarrow \frac{800}{k_{f_{ger}}} = 0,80 \Rightarrow k_{f_{ger}} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ger} = 628 \cdot 1000 = 628000 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} b) W_{ger} &= V \cdot k_{f_{ger}} \cdot \varphi \\ &= (A_1 \cdot h_1) \cdot k_{f_{ger}} \cdot \varphi \\ &= (628 \cdot 5) \cdot 1000 \cdot 0,693 = 2176020 \text{ Nmm} \end{aligned}$$